

ASIC

**Association Scientifique
Internationale du Café**

8ème

**COLLOQUE SCIENTIFIQUE
INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ**

8th

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC
COLLOQUIUM ON COFFEE**

8.

**INTERNATIONALES
WISSENSCHAFTLICHES
KOLLOQUIUM ÜBER KAFFEE**

8°

**COLÓQUIO CIENTÍFICO
INTERNACIONAL SOBRE
EL CAFÉ**

Abidjan 28 novembre - 3 décembre 1977

HUITIÈME COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ

Abidjan, 28 novembre - 3 décembre 1977

Liste des participants	6	— Gaschromatographischmassenspektrometrische Untersuchung von Phenolen und Diphenolen in Röstkaffees verschiedener Sorten, R. Tressl.	115
Séance inaugurale		— Liquid chromatographic coffee wax analysis, P. Folstar, W. Pilnik, H. C. van der Plas.	121
— Discours de M. J. Lorougnon Guédé.	11	— Algunos métodos para el estudio del contenido en cafeína de muestras variadas en diferentes condiciones, M. Quijano-Rico, M. T. Acero F., E. Morales, C. Piedrahita.	125
Communications		— Tracer studies on biosynthesis of caffeine in <i>Coffea arabica</i> , T. W. Baumann, H. Wanner.	135
— Aspects scientifiques de la recherche sur le café, K. Heyns.	13	— Caffeine production in tissue cultures of <i>Coffea arabica</i> , P. M. Frischknecht, T. W. Baumann, H. Wanner.	139
Documentation-information		— Detection of trace amounts of methylated uric acids in crude caffeine from different sources, P. S. Citreokso, J. Petermann, H. Wanner, T. W. Baumann.	143
— Recent developments in the chemistry and technology of coffee: a review, R. F. Smith.	21	— Dosage de la vitamine PP ou niacine de <i>Coffea canephora</i> var. <i>robusta</i> par une méthode microbiologique utilisant <i>Lactobacillus arabinosus</i> , A. G. Tchetché.	147
Analyse chimique et composition		— Vergleich der Headspace-Aromaprofile von Arabusta-Kaffee mit Arabica- und Robusta-Sorten, W. Gutmann, P. Werkhoff, M. Barthels, O. G. Vitzthum.	153
— Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert, J. Poisson.	33	Chimie dans ses relations avec la technologie	
— Structure fine du grain de café vert, E. Dentan.	59	— Packaging and marketing of roasted coffee, R. Heiss, R. Radtke, L. Robinson.	163
— Distribution statistique des teneurs en eau entre les grains de café. Incidence sur la répétabilité de la méthode de référence pratique de dosage de l'eau, J. L. Multon.	65	— Estudio de las operaciones cafeteras a través de modelos matemáticos (El desarrollo de una idea), B. Martínez-Villalba.	175
— Les acides carboxyliques du café; mise au point et résultats de différentes déterminations, M. Blanc.	73	— Biochemical, physical and organoleptical changes during raw coffee quality deterioration, H. V. Amorim, A. R. Cruz, A. J. St. Angelo, R. M. Dias, M. Melo <i>et al.</i>	183
— High pressure liquid chromatography of chlorogenic acid isomers in coffee, D. I. Rees, P. D. Theaker.	79	— Progrès dans le traitement et le conditionnement des cafés verts, M. Richard.	187
— Rösteffekte auf die Kaffeezusammensetzung, W. Baltés.	85	— Les opérations unitaires de la technologie du café, M. Loncin.	197
— Über Beobachtungen an schädlingsbefallenen Rohkaffees, J. Wurziger.	97	— Die Herstellung von Kaffee-Extrakt, K. F. Sylla.	203
— Über Arabusta-Roh- und Röstkaffee, J. Wurziger, R. Drews, G. Bundesen.	101		
— A critical comparison of six spectrophotometric methods for measuring chlorogenic acids in green coffee beans, M. N. Clifford, P. S. Staniforth.	109		

— The concentration of coffee extracts to high product concentrations, W. H. J. M. Van Pelt.	211	— Utilisation des ressources génétiques du genre <i>Coffea</i> pour l'amélioration des caféiers cultivés, P. Kammacher.	335
— Torréfaction du café en couche fluidisée gazeuse, J. L. Arjona, G. Rios, H. Gibert, J.-C. Vincent, G. Roche.	217	— Les caféiers spontanés de l'Afrique de l'Ouest, L. Aké Assi.	359
— Nachweismöglichkeiten für bearbeitete Kaffees, H. W. Meyer.	227	— Les prospections des caféiers sauvages et leur mise en collection, J. Berthaud, J.-L. Guillaumet, D. Le Pierres, M. Lourd.	365
— Preservation of aroma components during the drying of extracts, P. J. A. M. Kerkhof.	235	— L'analyse du polymorphisme enzymatique dans le genre <i>Coffea</i> : adaptation d'une méthode d'électrophorèse en série. Premiers résultats, F. Berthou, P. Trouslot.	373
— Criteria for sensory evaluation of coffee beverage, R. M. Pangborn (résumé).	249	— Analyse de la variabilité des populations naturelles des caféiers diploïdes (<i>Coffea</i> sp.). Observations sur la teneur en caféine et sur le polymorphisme enzymatique, J. Berthaud, F. Berthou.	385
— Influence, sur l'amertume d'un café boisson, de quelques paramètres d'extraction, A. Voilley, F. Sauvageot, D. Durand.	251	— Caractéristiques comparées des hybrides interspécifiques tétraploïdes e hexaploïdes <i>Coffea arabica</i> L. × <i>C. canephora</i> Pierre, J. Berthaud.	393
— Etude des techniques d'infusion, G. Pictet, L. Vuataz.	261	— La structure génétique du genre <i>Coffea</i> ; ses conséquences pour l'amélioration des caféiers cultivés, A. Charrier.	399
— Influence de différents traitements technologiques sur les caractéristiques chimiques et organoleptiques des cafés Robusta et Arabusta, J.-C. Vincent, M. C. Guenot, J. J. Perriot, J. Hahn, D. Gueule.	271	— Les hybrides entre <i>Coffea canephora</i> Pierre et <i>C. eugenioides</i> Moore: exemple de croisement entre espèces de <i>Coffea</i> diploïdes africains pour l'amélioration qualitative des cafés produits en « basse altitude », J. Louarn.	407
Effets physiologiques		— Données sur les possibilités de restauration de fertilité d'hybrides interspécifiques entre caféiers malgaches et africains et sur la variabilité observée dans une descendance issue de « back-cross », C. Lanaud.	411
— Molecular and cellular sites of action of caffeine, L. Puglisi, F. Maggi, R. Paoletti.	285	— Le caféier Arabusta, produit de la recherche, et son utilisation pour le développement de la Côte d'Ivoire, IFCC-SAT-MACI.	417
— Die sensorischen und zentralnervösen Wirkungen des coffeinhaltigen und des coffeinfreien Kaffees, W. Müller-Limmroth.	291	— Adaptation studies with selections of <i>Coffea arabica</i> L. and tetraploid interspecific hybrids, with resistance to <i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br., under the conditions of the Central plateau of Angola, A. Mendes Gaspar, A. Jardim Bettencourt, A. Mendes da Ponte.	425
— Die Entspannungsphase nach Kaffeegenuß: Versuch einer Analyse, R. Ulrich.	295	— Les innovations agro-techniques en caféiculture, P. G. Sylvain.	427
— Untersuchungen der Pharmakokinetik von ¹⁴ C-Zimtsäurederivaten an Ratten, G. Czok, J. Westendorf.	297	— Amélioration de la résistance à la verse du caféier à l'aide de la théorie de la résistance des matériaux, Ph. de Reffye, P. Duceau.	439
— Présentation du comité d'études des effets physiologiques du café (P.E.C.), R. Viani.	303	— Clasificación de líneas de <i>Coffea arabica</i> L. mediante un análisis de componentes principales, Ma. T. Cornide, M. Alvarez, S. Montes.	447
— The relationship of coffee drinking to death and cardiovascular disease, H. Emerson Thomas Jr.	305	— Prueba comparativa de dos sustratos para el enraizamiento de esquejes de <i>Coffea arabica</i> L. variedad <i>caturre</i> colectados a la sombra y al sol, S. Montes.	455
— The combined effect of smoking, alcohol and coffee drinking on LDL-HDL (with four tables, A, B, C, D, as preamble for the definition « LDL », « HDL »), S. Heyden, G. Heiss, H. A. Tyroler, Ch. Manegold, G. Cooper, C. Hames.	311		
— Incidence of neoplasms and arteriosclerosis in rats during 2-year feeding of instant coffees, H. P. Würzner, E. Lindström, L. Vuataz, H. Luginbühl.	319		
— Coffee and pregnancy, Ch. Schlatter (résumé).	325		
Agronomie			
— Quelques aspects de l'utilisation de la biologie végétale pour le développement des pays de l'Afrique intertropicale, J. Lorougnon Guédé.	327		

— Estudio de diferentes métodos para la obtención de varios tallos por plantón desde el vivero en <i>Coffea arabica</i> L., S. L. Cortès Hernandez.	459	— Sur la présence en Côte d'Ivoire de la rouille farineuse du caféier <i>Hemileia coffeicola</i> Maubl. et Rog. : répartition géographique et espèces hôtes, M. Lourd, B. Huguenin.	529
— L'irrigation du caféier Robusta en Côte d'Ivoire. I Etude de quelques méthodes d'alerte à l'irrigation. II Aspects économiques des réponses aux engrais et aux apports d'eau, J. Snoeck.	463	— Contribution à l'étude des relations hôte-parasite entre la rouille farineuse (<i>Hemileia coffeicola</i>) et le caféier (<i>Coffea canephora</i> var. <i>robusta</i>) au Cameroun, F. Massaux, C. Misse, C. Tchiendji, M. Lacroix, M. Tarjot.	533
— L'irrigation précoce du caféier Arabica au Cameroun : méthode moderne de contrôle de l'antracnose des baies (<i>Colletotrichum coffeanum</i> Noack <i>sensu</i> Hindorf) intégrée aux pratiques culturales ; assurance pour une production régulière de haut niveau, R. A. Muller.	489	— International co-operation on coffee rust research : a means of approaching nations in a useful common project, C. J. Rodrigues Jr.	537
— Breeding for resistance to coffee berry disease in Kenya, H. A. M. Van der Vossen.	507	Travaux remis pour publication, n'ayant pas donné lieu à un exposé	
— The infection process of <i>Hemileia vastatrix</i> in susceptible and resistant cultivars of <i>Coffea arabica</i> , L. Rijo, C. J. Rodrigues Jr.	509	— Etude sur la présence éventuelle d'aflatoxine, de stérigmatocystine et d'ochratoxine dans le café vert, D. de Palo, G. Gabucci, S. Valussi.	539
— Production of phytoalexin-like substances in <i>Coffea arabica</i> L. leaves inoculated with several rusts not pathogenic to coffee, E. F. Medeiros, C. J. Rodrigues Jr.	511	— Aminoacides libres d'un café vert provenant de l'Huambo (Angola). Séparation et identification par électrophorèse et chromatographie sur couche mince A. Pereira, M. M. Pereira.	545
— Gas exchanges in coffee leaf tissue infected by <i>Hemileia vastatrix</i> B. & Br., M. E. Miranda Guedes, M. A. Nunes.	513	— Statistical risks in the ISO draft standard (New York, June 1976) for the determination of insect-damaged beans, J. Nunes Mexia.	551
— Amélioration de la caféiculture à Timor face à l' <i>Hemileia vastatrix</i> B. & Br., M. Mayer Gonçalves, M. Lima Rodrigues, J. Nunes Mexia, E. Daehnhardt.	515	— La fertilité chez les hybrides « Arabusta ». Méthodes d'estimation, influence du parent Arabica et relation avec le comportement méiotique, M. Grassias.	553
— Field evaluation studies of some selections of <i>Coffea arabica</i> L. and tetraploid interspecific hybrids of <i>C. arabica</i> × <i>Coffea</i> spp. bearing different factors for rust resistance, under the conditions of the Estação Regional do Uíge (Angola), M. F. N. Carneiro, A. J. Bettencourt, D. T. Fernandes.	523	— The present state of coffee industry in Nigeria, G. A. Filani, O. Ajobo.	561
		Rapport de synthèse	567

LISTE DES PARTICIPANTS

Allemagne

- AMMON R. — Physiologisch-Chemisches Institut der Universität des Saarlandes, Emeritus-Abteilung, 665 Homburg/Saar
- BALTES W. — Institut für Lebensmittelchemie der Technische Universität Berlin, Müller-Breslau-Str. 10, Berlin 12
- CULMSEE O. — c/o Coffein Co, Postfach 448130, 2800 Bremen 44
- CZOK G. — Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Martinistr. 52, D-2 Hamburg 20
- FREY A. — Ass. Div. Deutsche Nestlé, Postfach 2849, D-6500 Mainz 1
- GARLOFF H. — General Foods GmbH, Lornsenstrasse, D-2200 Elmshorn
- HEISS R. — Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Schragenhofstrasse 35, 8000 München 50
- HEYNS K. — Institut für organische Chemie der Universität Hamburg, Martin-Luther-King Pl, 6, 2 Hamburg 13
- JANZEN D.
- KOCH H. — Brehmer Strasse o/s 24, Lübeck
- KOHLER T. — c/o Fa Ibenco, Buschwerder Hauptdeich 10, 2102 Hamburg
- LONCIN M. — Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik, Universität Karlsruhe (T. H.), Kaiserstrasse 12, Postfach 6380, 75 Karlsruhe 1
- MANFRED K. — Leiter Zentrallabor, c/o Fa Tchibo, Postfach 603060, D-2000 Hamburg
- MARQUARDT P. — Laufenerstrasse 9, D-7800 Freiburg (Brsg)
- MENTHE J. — Kaffee-Veredelungs-Werk, Postfach 460, 2 Hamburg 74
- MEYER H. W. — Chemisches Laboratorium, Normannenweg 17-21, D-2000 Hamburg 26
- MULLER LIMMROTH W. — Institut für Arbeitsphysiologie der Technische Universität München, Barbarastrasse 16/1, D-8 München 40
- OESTREICH-JANZEN S. — Fine Foods International, Riedelstrasse 17, Berlin 47
- RADTKE R.-M. — Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Schragenhofstrasse 35, D-8000 München 50
- ROTH E. — c/o DEK, Buschwerder Hauptdeich 10, 2102 Hamburg
- RUSCHENBURG U. — Landesuntersuchungsamt, Wohlfarstrasse 24, D-8000 München
- SCHENKE H.
- SCHULTHEISS W. — Arbeitsgemeinschaft der Hersteller von löslichem Kaffee, Kelkheimerstrasse 10, D-6380 Bad-Homburg V.D.H.
- SYLLA K.F. — Hag Ag, Wissenschaftliche Abteilung, Hagstrasse, 2800 Bremen
- TRESSL R. — Technische Universität Berlin, Seestrasse 13, 1 Berlin 65
- TRETTIN D. — Fine Foods International, Riedelstrasse 17, Berlin 47
- ULRICH R. — Hag Ag, Wissenschaftliche Abteilung, Hagstrasse, 2800 Bremen
- VAHLAND T. — c/o Coffein Co, Postfach 448150, 2800 Bremen
- VITZTHUM O. — Hag Ag, Wissenschaftliche Abteilung, Hagstrasse, 2800 Bremen
- WURZIGER J. — Hygienisches Institut, Bredkamp 43 a, 2 Hamburg 55

Angola

- FRANCO A. Rodrigo — Instituto do Café de Angola, Caixa Postal 342, Luanda
- LIMA A. Da Rocha — Instituto do Café de Angola, Caixa Postal 342, Luanda
- MACHADO A. J. — Instituto do Café de Angola, Caixa Postal 342, Luanda
- SANTOS F. J. Cohen Dos — Instituto do Café de Angola, Caixa Postal 342, Luanda

Belgique

- BYRNE J. — General Foods Europe, 14, avenue de l'Astronomie, Box 29, 1030 Bruxelles

Brésil

- AMORIN H. V. — Dept Chemistry (Biochemistry), ESALQ - USP, 13400 Piracicaba, São Paulo
WEINBERGER J.-G. — Cacique, Caixa Postal 1769, Londrina

Cameroun

- BOUHARMONT P. — IFCC, B.P. 2577, Yaoundé
TSOUNGUI A.

Colombie

- MARTINEZ VILLALBA B. — La Constancia, Apartado Aereo 555, Bucaramanga, Santander
OROZCO J. — CENICAFE, Chinchina, Caldas
QUIJANO RICO M. — Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Apartado aereo 3938, Bogotá

Côte d'Ivoire

- ABILE GAL E. — Ets. JAG, B.P. 1798, Abidjan
AKE ASSI L. — Centre national de Floristique, 04 BP 322, Abidjan 04
ALMENDROS F. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
BAMBARA A. — Omnium chimique, B.P. 20666, Abidjan
BANZET J.-P. — Sofaco, B.P. 1215, Abidjan
BERTHAUD J. — ORSTOM, B.P. 434, Man
BERTHOU F. — ORSTOM, B.P. V51, Abidjan
BILLARD F. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
BOLLY J.-L. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
BRAKANON D. — Ministre de l'Agriculture de Côte d'Ivoire, B.P. V82, Abidjan
BRAULT G. — Ets JAG, B.P. 1798, Abidjan
BURGE G. — Buhler Frères S.A., B.P. 1596, Abidjan
CAMINADE J.-L. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
CAPOT J. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
CARLIER A. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
CAUMEL G. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
CHARRIER A. — ORSTOM, B.P. V51, Abidjan
CONSTANS M. — SATMACI, B.P. 74, Yamoussoukro
COUTURON E. — ORSTOM, B.P. V51, Abidjan
DEFGNÉE J. — IFCC, B.P. 176, Divo
DELABARRE M. — Procida, B.P. 1215, Abidjan
DEPREUX — CAPRAL, B.P. 1840, Abidjan
DIABATE K. — Caisse de Stabilisation des Produits Agricoles, B.P. V132, Abidjan
DORFOND J. — SATMACI, B.P. 561, Gagnoa
DOUAN J. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
DUCEAU P. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
FURRER H. — Buhler Frères S.A., B.P. 1596, Abidjan
GAMBOA E. — SATMACI, B.P. 561, Gagnoa
GRASSIAS M. — Faculté des Sciences, Laboratoire de Génétique, Université d'Abidjan
GUESNIER A. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
GUILLAUMET J.-L. — ORSTOM, B.P. V51, Abidjan
GUYOT J.-C. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
HAHN J. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
HOUPHOUET-BOIGNY — Ets JAG, B.P. 1798, Abidjan
HUGUENIN B. — ORSTOM, B.P. V51, Abidjan
IZARD M. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
JADIN P. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
KAAM M. — OIAC, B.P. V210, Abidjan
LANAUD C. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
LAUBHOUET G. — Ets. JAG, B.P. 1798, Abidjan
LECONTE B. — STEPC/SIVEM, B.P. 107, Abidjan
LE LANDAIS A. — IFCC, Cedar, B.P. 225, Soubré
LEMAISTRE R. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
LE PIERRES D. — ORSTOM, B.P. 808, Divo
LOBRY J.-C. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan

- LOHOURY G. — SOFACO, B.P. 1216, Abidjan
 LOROUGNON GUÉDÉ J. — Professeur à l'Université Nationale de Côte d'Ivoire, Ministre de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire, B.P. 2599, Abidjan
- LOUARN J. — ORSTOM, B.P.434, Man
 LOURD M. — ORSTOM, B.P. V51, Abidjan
 MOULO N. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
 N'GUETTA — SATMACI, B.P. 101, Daloa
 NIAGNE AGNIMEL — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
 N'ZI G. — BNETD, B.P. 1556, Abidjan
 OUEZZIN COULIBALY D. — B.P. V132, Abidjan
 PARVAIS J.-P. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
 PHILIPPE J. — SATMACI, B.P. 561, Gagnoa
 de REFFYE Ph. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
 SASPORTA H. — Présidence de la République, B.P. 1354, Abidjan
 SEMAVOINE N. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
 SNOECK J. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
 SOLERY J.-C.
 STESSELS L.-H. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
 TANO EHOUE L. — Ets JAG, B.P. 1798, Abidjan
 TARJOT M. — IFCC, 01 B.P. 1827, Abidjan 01
 TCHE TCHE A.-G. — Faculté des Sciences d'Abidjan, B.P. 4322, Abidjan
 TEBELE SERI A. — SATMACI, B.P. 1565, Abidjan
 TOSTAIN S. — ORSTOM, B.P. 434, Man
 WORKU A. — SG IACO, B.P. 210, Abidjan

Costa Rica

- SYLVAIN P. G. — Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba

Cuba

- CORNIDE M.-T. — Carretera Tapasta, Km 3 1/2, San José de las Lajas, La Habana
 MARTIN J.-C. — Carretera Tapasta, Km 3 1/2, San José de las Lajas, La Habana
 MORALES D. — Carretera Tapasta, Km 3 1/2, San José de las Lajas, La Habana

Danemark

- ETTRUP PETERSON E. — A/S Atlas, 154 Baltorpvej, 2750 Ballerup, Copenhague

Etats-Unis

- CLINTON M. — General Foods Corporation, 250 North Street, White Plains, N. Y. 10625
 EMERSON-THOMAS H. — Boston University Medical Center, School of Medecine, 80 East Concord Street, Boston, Mass. 02118
 HEYDEN S. — Duke University, Medical Center, Durham, NC 27704
 PANGBORN R. M. — University of California, Davis, Calif. 95616
 ROMIG W. — General Foods Corporation, 250 North Street, White Plains, N. Y. 10625
 STROBEL R. — Procter & Gamble, 6210 Center Hill Road, Cincinnati, Ohio 45224
 WHITELAW A. — Folger Coffee Co, 6071 Center Hill Road, Cincinnati, Ohio 45224
 WILHELM C. — General Foods Corp., 590 Adams Court, Pearl River, N. Y. 10965

France

- BOULON R. — SOPAD, 17-19, Quai Paul-Doumer, 92400 Courbevoie
 BRAUDEAU J. — IFCC, 34, rue des Renaudes, 75017 Paris
 CALMETTES G. — 12, rue Berteaux-Dumas, 92200 Neuilly
 CAMBRONY H. R. — IFCC, 34, rue des Renaudes, 75017 Paris
 CHASSEVENT F. — Chambre Syndicale Nationale des Chocolatiers, 194, rue de Rivoli, 75001 Paris
 COLLOT J. — IFCC, 34, rue des Renaudes, 75017 Paris
 COLOMB J.-C. — 13, rue Vivier, 94130 Nogent-sur-Marne
 COSTE R. — IFCC, 34, rue des Renaudes, 75017 Paris
 DELAPORTE G. — Marchés Tropicaux, 190, boulevard Haussmann, 75008 Paris

- JOBIN — Ets P. Jobin, B.P. 95, 76050 Le Havre Cedex
 KAMMACHER J. — Faculté des Sciences, UER Sciences biologiques Université de Nancy, case officielle 140, 54037 Nancy Cedex
 LANFRANCHI J. — GERDAT, 42, rue Scheffer, 75016 Paris
 LAVABRE E. M. — IFCC, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex
 MARCADET R. — Syndicat National de l'Industrie et du Commerce du Café, 12, rue du 4 septembre, 75002 Paris
 MONNET G. — 2, rue d'Ulm, 75005 Paris
 MULLER R.-A. — IFCC, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex
 NAVELLIER Eva. — 84, rue Claude Bernard, 75005 Paris
 PERNES J. — CNRS, 91190 Gif-sur-Yvette
 POISSON J. — Université de Paris-Sud, Centre d'études pharmaceutiques de Châtenay-Malabry, rue Jean-Baptiste Clément, 92290 Châtenay-Malabry
 RICHARD M. — IFCC, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex
 RIZET G. — Faculté des Sciences, 91400 Orsay
 VINCENT J.-C. — IFCC, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex
 VOILLEY A. — Université de Dijon, Ecole Nationale Supérieure de Biologie Appliquée à la Nutrition et à l'Alimentation, 21000 Dijon

Ghana

- ADU A. K. — Ministry of Cocoa Affairs, P.O. Box 933, Accra
 GYASI E. K. — Ministry of Cocoa Affairs, P.O. Box 933, Accra
 MARTINSON V. — Cocoa Research Institute, P.O. Box 8, Tafo
 OFORI F. — Ministry of Cocoa Affairs, P.O. Box 933, Accra

Grande-Bretagne

- CLARKE J. R. — General Foods Ltd, Banbury, Oxon
 CLIFFORD M. N. — University of Surrey, Guildford, Surrey GU2 5XH
 MACE J. E. G. — Sol Café, 377-347, Oldfield Lane, Greenford, Middlesex
 REES D. I. — Lyons Central Laboratories, 149, Hammersmith Road, London W 14 OQU

Italie

- ILLY E. — ILLYCAFFE SpA, Zona Industriale, 34147 Trieste
 LUCCI A. — Crippa e Berger, Via Laurentina, Km 7, Pomezia Roma
 PUGLISI L. — Università di Milano, Via A. del Sarto, 21, 20129 Milan
 SCHOUTEN H. — Crippa e Berger, Via Laurentina, Km 7, Pomezia Roma

Kenya

- ARUNGA R. — Coffee Board of Kenya, P.O. Box 30650, Nairobi
 KIARA J. — Coffee Research Station, P.O. Box 4, Ruiru
 VAN DER VOSSEN H. — Coffee Research Station, P.O. Box 4, Ruiru
 WALYARO D. — Coffee Research Station, P.O. Box 4, Ruiru

Nigeria

- FILANI G. A. — CRIN, PMB 5244, Ibadan

Pays-Bas

- DE HEUS — D.E.J. Int. Res. Co, P.O. Box 2, Utrecht
 DOUQUE M. — Proxy/Coffex B.V., Joan Muyskenweg, 19, Amsterdam
 FOLSTAR P. — Agricultural University, Department of Food Science, De Dreijen, 12, Wageningen
 KERKHOF P. J. A. M. — Netherlands Institute for Dairy Research (NIZO), Kernhemseweg, 2, Ede
 SAMSON J. — Landb. Hogeschool, B.P. 341, Wageningen
 VAN DER STEGEN — D.E.J. Int. Res. Co, P.O. Box 2, Utrecht
 VAN PELT W. H. J. M. — Grenco bv, P.O. Box 304, Hertogenbosch
 VERHAAR G. — Bongart, 9, 1082 BB Amsterdam

Portugal

RODRIGUES C. J. — Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro, P2780 Oeiras

Suisse

BAUMANN T. W. — Institut für Pflanzenbiologie, Zollikerstrasse 107, 8008 Zurich
BLANC M. — Laboratoire Linor, Sté d'Assistance Technique pour Produits Nestlé S.A.,
1350 Orbe
CITROREKSOKO P. S. — Institut für Pflanzenbiologie, Zollikerstrasse 107, 8008 Zurich
DENTAN E. — Sté d'Assistance Technique pour Produits Nestlé S.A., Case Postale 1009,
1001 Lausanne
FRISCHKNECHT P. M. — Institut für Pflanzenbiologie, Zollikerstrasse 107, 8008 Zurich
HARRY BONNE
KUMMER P. — Coffex A.G., CH-8201 Schaffhausen
PETERMANN J. — Institut für Pflanzenbiologie, Zollikerstrasse 107, 8008 Zurich
PICTET G. — Laboratoire Linor, Sté d'Assistance Technique pour Produits Nestlé S.A.,
1350 Orbe
REYMOND D. — Sté d'Assistance Technique pour Produits Nestlé, S.A., Case postale 88, CH
1814 La Tour de Peilz
SCHLATTER M. C. — Université Technique et Fédérale de Zurich, Schorenstrasse 16, 8603
Schwerzenbach
VIANI R. — Sté d'Assistance Technique pour Produits Nestlé S.A., C.P. 88, CH 1814 La
Tour de Peilz
WANNER H. — Institut für Pflanzenbiologie, Zollikerstrasse 107, 8008 Zurich
WURZNER H. P. — Laboratoire Linor, Sté d'Assistance Technique pour Produits Nestlé S.A.,
1350 Orbe

Tanzanie

KONDEZA J. — B.P. 3004, Moshi

Togo

AGBODJAN A. K. — IFCC, B.P. 90, Kpalimé
DEUSS J. — SRCC, B.P. 2289, Lomé
DURIS D. — SRCC, B.P. 2289, Lomé
FOFANA DEZI D. — Ministre des Finances, Lomé
GNOROUFOUN — Ministre du Développement Rural, Lomé
NOMEDJI K. — OPAT, B.P. 1334, Lomé
PARTIOT M. — IFCC, B.P. 90, Kpalimé

Zaire

BISUTA BIETO — Concession ONC, Kinshasa Limelo
BOZEWE — Echangeur n° 2, Lemba N'bey
DACOULY-TABLEY
NOUSCHI M.
DREWS R.

SÉANCE INAUGURALE

Prof. Jean LOROUGNON GUÉDÉ

Ministre de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire

Monsieur le Président de la République,
Monsieur le Président de l'Assemblée Nationale,
Monsieur le Président du Conseil Economique et Social,
Monsieur le Président de la Cour Suprême,
Monsieur le Grand Chancelier de l'Ordre National,
Messieurs les Ministres,
Messieurs les Parlementaires,
Excellences Messieurs les Ambassadeurs,
Honorables Délégués,
Mesdames, Messieurs,

Mes premiers mots seront de remerciements et de gratitude. De remerciements et de gratitude, tout d'abord, à votre endroit, Monsieur le Président de la République, vous qui, malgré vos délicates et lourdes tâches, avez accepté, en compagnie de vos fidèles collaborateurs de toujours, d'honorer de votre prestigieuse présence la séance d'ouverture du VIII^{ème} Colloque de l'Association Scientifique Internationale du Café, lui donnant, ainsi, un éclat tout particulier. Le Conseil d'administration de l'ASIC, qui est à l'origine du choix d'Abidjan, partage, j'en suis convaincu, notre sentiment de respectueuse reconnaissance.

Mais, Monsieur le Président de la République, votre présence parmi nous, ce matin, n'est-elle pas, en fait, le corollaire logique du grand intérêt que vous avez toujours porté à une activité agricole dont vivent au moins 70 % de la population ivoirienne ? Cette présence n'est-elle pas aussi la conséquence du soutien constant, dont depuis deux ans vous avez assuré l'organisation de ce colloque ?

C'est, en effet, grâce à votre volonté, aux moyens très importants que vous avez mis à la disposition du Comité d'Organisation, aux instructions que vous avez personnellement données, aux invitations que vous avez faites aux pays producteurs d'Afrique, d'Amérique et d'Asie que cette manifestation a pu dépasser le cadre de la simple réunion technique, pour prendre les dimensions d'un événement par lequel sera consacré, une fois de plus, un des aspects les plus marquants de la brillante réussite économique et sociale d'un homme qui, depuis plus de quarante ans, n'a cessé d'avoir pour souci majeur la mise en place, dans son pays, d'une politique dynamique et réaliste de promotion de la culture du **caféier**. Planteur lui-même jusqu'à ce qu'il cède, tout récemment, ses plantations à la Nation ivoirienne, cet homme devait personnellement participer au développement de toutes les techniques modernes, qui font du **café** ivoirien un produit apprécié : je pense, notamment, à la technique du triage colorimétrique, je pense au développement de l'**Arabusta**, hybride

interspécifique, comme je pense à la promotion d'une législation phytosanitaire rigoureuse.

Monsieur le Président de la République, au nom du Conseil d'administration de l'ASIC, au nom du Comité d'organisation du Colloque, je vous dis, tout simplement, merci ! Merci pour votre action en faveur du développement de la culture du caféier, merci pour votre hospitalité, merci pour l'aide inestimable que vous avez bien voulu accorder à notre association.

Honorables délégués, c'est avec une très grande joie et une profonde fierté que la Côte d'Ivoire, pays hospitalier par tradition et par sentiment, accueille, aujourd'hui, le VIII^{ème} Colloque de l'ASIC. Il m'est donc très agréable, au nom du Chef de l'Etat, d'ajouter à ceux du premier magistrat de la ville d'Abidjan, tous mes souhaits de bienvenue et tous mes vœux pour le succès de ce grand rendez-vous du donner et du recevoir, qui marquera, incontestablement, nos mémoires.

Vous le devinez, nous avons tous été très sensibles au double choix qui a été fait et d'Abidjan, pour abriter cette réunion, et de la Côte d'Ivoire, pour assurer la présidence de l'Association Scientifique Internationale du Café, pour la période 1976-1977. Aussi, conscients des grandes responsabilités que nous assumons en acceptant ces honneurs, nous sommes-nous efforcés, dans la préparation de ce colloque, de mériter votre confiance et celle de vos pays respectifs. Soyez donc assez bons pour nous signaler tous les défauts et lacunes de notre organisation. Car, le principal mérite de ce pays, qui vous offre son hospitalité, c'est de vouloir activement être un pays de dialogue.

Je remercie toutes les délégations venues des trois continents et dont la diversité d'origine constitue une fidèle expression de notre commune préoccupation dans le domaine de la promotion du café. Je salue, tout particulièrement, les délégations des pays producteurs d'Amérique et d'Afrique, qui nous ont fait l'amitié de participer à ce colloque.

Permettez-moi de vous remercier, Messieurs les Ministres de l'Agriculture et de la Recherche Scientifique des pays producteurs, vous qui, malgré les nombreux devoirs de votre charge, avez voulu honorer de votre participation les travaux du colloque d'Abidjan, témoignant ainsi, non seulement de l'excellence des relations qui existent entre la Côte d'Ivoire et vos pays respectifs, mais aussi de l'intérêt que vos départements ministériels portent à la culture du caféier et à la qualité du breuvage qu'il produit.

Je suis persuadé que la contribution de chacun à nos travaux sera déterminante et que les échanges d'idées et d'expériences que nous aurons ensemble seront de nature à sauvegarder, tout à la fois, les intérêts de la consommation, de l'industrie, du négoce et de la production.

Enfin, je ne saurais oublier d'adresser une mention toute particulière à toutes les organisations qui, spontanément, par leur aide matérielle, ont contribué au succès de ce colloque : j'ai nommé la Société UNIDAF du Havre, la Société CAPRAL, la Société ABILE GAL, la NOUVELLE SIFCA et les Sociétés du groupe.

L'occasion me paraît rêvée pour saluer tous les professionnels du café, dont la venue à ce colloque sera, pour eux, l'occasion, plus que jamais, de constater les multiples soins particulièrement attentifs qu'exige la préparation du noble produit qu'ils sont chargés d'usiner, de distribuer et de faire consommer.

Monsieur le Président de la République, Messieurs les Présidents, Messieurs les Ministres, honorables délégués, Mesdames et Messieurs, à présent, je voudrais, très rapidement, vous présenter l'ASIC, avant de vous dire un mot au sujet des travaux du colloque.

L'Association Scientifique Internationale du Café, qui pour la première fois organise son colloque sur le sol africain, a été créée en 1966. Son action vise deux objectifs principaux, à savoir : d'une part, établir un inventaire permanent des connaissances scientifiques et technologiques disponibles dans le monde, en matière de café et, d'autre part, promouvoir des recherches susceptibles de contribuer à une meilleure exploitation et à l'amélioration de la qualité du café et de ses dérivés.

Depuis 1967, cette Association tient, périodiquement, tous les deux ans, un Colloque International qui fait le point des connaissances acquises, concernant le café, dans les disciplines telles que l'agronomie, la chimie, la physiologie, la technologie.... Ainsi, cinq rencontres ont déjà eu lieu à Trieste, à Amsterdam, à Lisbonne, à Bogotà et à Hambourg. Ce fut au cours de la réunion de Hambourg que notre pays a été chargé, il y a deux ans, avec l'accord du Président de la République, d'abriter la présente manifestation.

Telle se présente, Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs, l'Association Scientifique Internationale du Café dont les travaux sont caractérisés par leur très haut niveau scientifique et dont l'expérience positive devrait amener les pays producteurs à souhaiter, dans un proche avenir, la création d'une ASIC-Cacao.

En effet, si le Comité Scientifique de l'Alliance des Pays Producteurs de Cacao peut valablement intervenir pour résoudre les problèmes liés au développement (notamment dans le domaine de la formation, de la vulgarisation, voire de la pré-vulgarisation), le réalisme devrait nous inciter à reconnaître que ce même Comité se trouve, à l'heure actuelle, souvent désarmé, faute d'avoir été organisé dans ce sens, lorsqu'il s'agit de tirer le plus grand profit des disciplines fondamentales telles que la génétique, la cryptogamie, la physiologie, l'agronomie, voire la technologie.

Je pense, par conséquent, qu'il est actuellement possible de créer, dans ces domaines, une complémentarité entre nos propres efforts et ceux des pays consommateurs industrialisés, dont, en réalité, les intérêts ne sont pas toujours opposés aux nôtres. Ainsi, le Comité Scientifique de l'Alliance, tout en jouant son rôle, au niveau du développement, pourrait définir, orienter ou faire s'infléchir « la politique scientifique »,

en matière de cacao, que l'Association Scientifique serait chargée de traduire dans le concret.

Honorables délégués, comme vous le savez, les travaux du colloque mettront un accent tout particulier sur l'étude des cafés autres que les Arabica. Les deux groupes de réflexion que le Conseil d'Administration et le Comité Scientifique ont mis en place, au début de l'année 1976, nous ont permis de préciser les principaux thèmes qui seront traités au colloque, en agronomie, en chimie, en physiologie et en technologie.

La réunion se tenant dans un pays producteur, il nous a semblé naturel et logique de privilégier l'agronomie, non seulement par simple courtoisie, mais aussi et surtout pour attirer, au maximum, les chercheurs de tous les pays producteurs. Concernant donc cette matière, deux thèmes principaux ont été retenus :

Le premier thème est **l'économie en eau des caféiers**, dans ses rapports avec la physiologie du développement végétatif, de la floraison, de la fructification et avec la nutrition minérale. Ce thème présente le triple avantage de poser le problème fondamental de l'augmentation du rendement, d'intéresser tous les pays producteurs et de toucher à un problème majeur de la physiologie des végétaux arbustifs en milieu tropical.

Le deuxième thème général choisi, en agronomie, est **le maintien et l'enrichissement de la variabilité génétique des caféiers**, le but recherché étant l'amélioration, tout à la fois de la productivité, de la qualité et de la résistance aux aléas climatiques et parasitaires, un accent tout particulier devant être mis, comme je l'ai déjà dit, sur l'étude des caféiers diploïdes et des caféiers hybrides interspécifiques. Ce thème intéresse non seulement les pays africains mais aussi l'Inde et l'ensemble des pays producteurs d'Amérique tropicale.

Pour la **chimie, la physiologie et la technologie**, les thèmes généraux retenus sont : l'étude des constituants aromatiques du café vert, l'influence de la caféine sur le métabolisme des acides gras et les techniques de préparation du café, qu'il s'agisse du café au stade primaire ou du café vert.

Enfin, comme vous le savez, en rapport avec l'ensemble des thèmes généraux que je viens d'évoquer, des conférences magistrales devant faire le point de la situation, au niveau des diverses disciplines, seront prononcées par des auteurs particulièrement qualifiés dans leurs domaines.

Honorables délégués, dans ce monde où les voraces et les égoïstes n'hésitent pas à user de tous les moyens, y compris les moyens les plus démagogiques, pour décourager la consommation des produits naturels, au profit des produits de substitution de leurs usines, la Côte d'Ivoire et son Président vénéré sont convaincus que l'Association Scientifique Internationale du Café, qui s'honore de la participation d'éminents spécialistes, saura garder une position objective qui sera un élément précieux de dissuasion contre les abus.

Mesdames et Messieurs, puisse le colloque d'Abidjan se dérouler dans un climat de dialogue constructif et dans cette objectivité qui caractérise les travaux de l'ASIC ! Le premier à s'en réjouir serait, assurément, le Président Félix Houphouët-Boigny, qui vous accueille fraternellement, les bras et le cœur ouverts.

ASPECTS SCIENTIFIQUES DE LA RECHERCHE SUR LE CAFÉ

K. HEYNS

Institut de chimie organique et de biochimie
de l'Université de Hambourg

Le café en tant que boisson s'est largement et régulièrement répandu dans le monde entier au cours des derniers siècles ; dès lors, les plantations de caféiers se sont multipliées dans diverses régions du globe et le fruit de cet arbre passe par tous les stades de la production, du transport, de la transformation et de la torréfaction avant de fumer dans la tasse, mais aussi de servir dans une large mesure d'ingrédient pour la fabrication du chocolat, de la pâtisserie, des boissons alcoolisées, etc. Si on demande quelles sont les qualités par lesquelles le café se doit d'être si répandu et apprécié, il faut mentionner en premier lieu son arôme spécifique — parfum et saveur — ainsi que l'effet physiologique et remarquablement stimulant propre à cette denrée. On pourrait ajouter sa couleur originale, la température à laquelle on le boit, sans parler de la satisfaction qu'on éprouve à déguster ce liquide après presque chaque repas.

Si cette appréciation des vertus du café est certainement fondée à l'origine sur des expériences empiriques, le profane — c'est-à-dire la grande masse des consommateurs — se contentera de savoir que le café est récolté, grillé, moulu et qu'on le fait infuser, et de demander quels sont les problèmes que la recherche scientifique doit résoudre et qui exigent que les résultats des travaux scientifiques soient présentés et examinés à des symposiums tels que ceux tenus par l'« Association Scientifique Internationale du Café ». Je suis persuadé que cette question est également posée par de nombreux représentants du commerce du café, qui ne sont pas confrontés aux problèmes découlant des domaines de la biologie, de l'agronomie, de la chimie, de la physiologie, de la toxicologie, de la pharmacologie, de la médecine et de la technologie.

Il convient de constater tout d'abord que la production et la qualité du café n'auraient pas atteint le niveau actuel si de vastes recherches scientifiques sur le café n'avaient pas été poursuivies avec succès dans chacun des domaines spécifiques intéressés, dans le passé et jusqu'à nos jours. Le présent rapport montrera, en s'aidant d'une série d'exemples, que les recherches actuelles sur le café se situent dans une pratique interdisciplinaire comportant de nombreux problèmes essentiels d'actualité, susceptibles d'être résolus dans le cadre du développement général des connaissances et des méthodes de la recherche fondamentale, et aussi des exigences de notre existence sociale — et qui seront discutées au cours du 8^{ème} Colloque réuni cette semaine à Abidjan pour faire le point des découvertes scientifiques.

Dans le cadre des recherches sur le café, le principal sujet de discussion est naturellement la question des



éléments constitutifs du café. Une autre question importante est celle de savoir ce que la consommation du café apporte de substantiel à l'organisme humain. Il s'agit tout d'abord d'effectuer la recherche analytique de la composition du café vert en vue de saisir autant que possible l'ensemble des composants définis chimiquement et leur variabilité en fonction de l'origine botanique et géographique, du degré de maturité, de l'influence du traitement préalable et des modifications suivant les différentes conditions de stockage dans chaque cas. La question de la contamination par des substances étrangères, dont la présence est intentionnelle ou accidentelle, peut déjà se poser à ce stade : par exemple, l'emploi ou la présence de produits chimiques pour la fertilisation et la lutte contre les parasites.

Les problèmes qui se posent à propos de l'étude analytique de la composition et du classement en composés chimiques nettement structurés du café vert surgissent de nouveau sous une forme analogue et encore beaucoup plus complexe en ce qui concerne le café torréfié. Des techniques de plus en plus fines et des méthodes souvent très coûteuses ont permis de mettre en évidence un spectre de près de mille composés chimiques différents dans le café torréfié. Ces composés résultent de réactions chimiques profondes, en partie conditionnées par la pyrolyse et l'autocatalyse, et de transformations découlant du mélange de substances existant dans le café vert, qui dépendent à leur tour de la courbe température-temps observée lors du processus de torréfaction. Ce processus de transformation chimique extrêmement compliqué, qui conduit au développement de l'arôme, de la couleur et d'une solubilité dans l'eau partiellement liée à ces facteurs, dépend en fin de compte de la qualité du café vert d'une part — c'est-à-dire de la composition quantita-

tive des éléments constitutifs — et de la technique utilisée dans chaque cas pour la torréfaction d'autre part. Là encore, les procédés analytiques ont pour but de concrétiser et d'optimiser ce dernier processus chimique en mettant en évidence les facteurs déterminants pour l'arôme du café et de les concilier avec l'analyse sensorielle. C'est là un problème de recherche capital et qui est essentiel en raison du fait que plusieurs centaines de composants contribuent à définir la qualité de l'arôme. Il s'agit en l'occurrence de dégager quelques substances primordiales déterminantes, et d'une importance spécifique pour le café, d'un ensemble de substances accessoires, d'importance secondaire pour l'arôme, et de les soumettre à une analyse courante.

Dans ce domaine, la recherche est confrontée à la tâche importante qui consiste à déterminer, sur la base de mesures objectives, quelles sont les qualités caractéristiques donnant leur valeur à des cafés de provenances diverses qui se concilient avec l'appréciation sensorielle après la torréfaction. On obtiendrait ainsi une base fondamentale pour la mise au point des mélanges habituels de diverses sortes de cafés, qui permettrait de tenir compte des goûts préférés des consommateurs. L'état de la recherche expérimentale est encore très éloigné de ce but.

Les transformations chimiques qui accompagnent le passage du café vert au café torréfié ne peuvent s'expliquer que par les progrès de la connaissance dans la recherche fondamentale de la chimie organique dans le domaine des hydrates de carbone, des protéines et des lipides, ainsi que dans celui des substances naturelles de bas et haut poids moléculaires, au prix d'investigations incessantes et détaillées et d'essais s'inspirant de modèles orientés vers un objectif désigné. Le but d'investigations de ce genre est finalement d'obtenir une vue exacte des processus de réaction embrassant à la fois la cinétique et la thermodynamique, afin de déterminer à l'avenir, par exemple, les conditions technologiques optimales permettant à la torréfaction de dégager un arôme optimal sur la base des facteurs « qualité » de la matière première utilisée. Dans ce domaine, il faudra encore poursuivre les travaux de recherche d'une manière intensive avant que les réactions qui se produisent lors de la torréfaction reposent sur une base scientifique sûre.

Les bases indispensables en matière de chimie organique — chimie des structures moléculaires et stéréochimie comprises — pour la réalisation de tels projets dans le domaine de la chimie des corps naturels remonte à la seconde moitié du 19^{ème} siècle. La chimie structurale et la stéréochimie de la molécule, en partie très compliquée, qui provient du domaine des substances naturelles organiques, n'ont été, fondamentalement et dans une large mesure, mises en lumière que depuis le début de ce siècle ; leur étude s'est poursuivie jusqu'au cours des dernières décennies et n'est pas près d'être achevée. Les connaissances fondamentales sur les mécanismes typiques qui se déclenchent lors de transformations chimiques entre les éléments de la réaction résultent de réactions organiques et chimiques suivant des modèles récents, et exigent encore d'autres travaux de recherche intensifs pour permettre de

reconnaître clairement la réaction compliquée de mélanges complexes de substances naturelles et de les orienter finalement dans la direction souhaitée par des mesures appropriées. Il s'agit en l'occurrence notamment, lors de la préparation du café torréfié à partir du café vert, des processus chimiques qui se manifestent lors du dégagement des substances aromatiques qui donnent le parfum et la sapidité, ainsi que de l'apparition des substances caramélisantes, qui confèrent au café sa couleur et apparaissent sans nul doute en même temps que l'arôme. Les deux phénomènes sont — nous le savons — associés dans certaines phases de la réaction chimique, notamment au début des phases de réchauffement.

Les modifications substantielles qui se produisent sous l'effet thermique et qui conduisent aux produits de caramélisation, tels qu'on les trouve dans les extraits de café torréfié aqueux ainsi que dans le déchet, le marc de café, résultent de deux modes de réaction différents qui reposent essentiellement sur la participation des fractions d'hydrates de carbone ainsi que d'éléments constitutifs liés aux groupes amines et protéinogènes. Ce sont les réactions du type caramélisation et du type réaction de Maillard. La caramélisation consiste — en simplifiant énormément — essentiellement dans la transformation thermo-pyrolytique de mono, di, oligo et polysaccharides, sous déshydratation, en produits intermédiaires très réactifs — principalement du type furanne — qui se transforment à leur tour en produits solubles de poids moléculaire plus élevé et en produits non solubles de couleur caramel et de poids moléculaire élevé. Ces produits contribuent indubitablement eux aussi au dégagement de l'arôme et de la saveur. La réaction de Maillard — sous une forme également quelque peu simplifiée — concerne la réaction d'échange entre les sucres réducteurs et les amino-acides dans le domaine des bas poids moléculaires. Elle conduit aussi à l'activation de la réaction de la part d'hydrates de carbone — et simultanément à la naissance de fractions de couleur caramel solubles d'une structure manifestement différente — mais en même temps à l'incorporation d'azote et de soufre dans les produits de décomposition avec dégagement d'hétérocycles dotés d'une activité relativement forte en matière de parfum et de goût du type pyrrole, oxazole, thiazole, pyridine, pyrazine et de nombreux composés carbonyles, ainsi que d'acides. Ces composés apparaissent en partie en quantités extrêmement réduites et ne peuvent être détectés analytiquement que par la combinaison de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse. Les recherches sur ces éléments constitutifs fondamentaux pour l'évaluation de la qualité du café torréfié vont bon train et donneront lieu à des informations au cours du présent congrès.

C'est ici le lieu d'indiquer que des réactions semblables comportant des mélanges de produits analogues se déroulent d'une manière similaire dans la croûte dorée du pain, dans les produits de remplacement du café à base de céréales, à la surface de la viande rôtie, dans les sauces cuites, les pommes de terre grillées, le caramel, etc. Ce phénomène présente de l'importance pour l'évaluation — dont nous parlerons plus loin — des effets physiologiques sur l'organisme humain.

La réaction de Maillard et la réaction de caramélisation, qui se produisent aux températures habituelles de torréfaction de 180 à 220° dans le procédé thermopyrolytique et que l'on peut observer extérieurement, ont une importance déterminante pour le dégagement de l'arôme et l'apparition de la couleur ; cependant, il ne faut pas sous-estimer la participation de la plupart des autres éléments constitutifs normaux du café. Les acides végétaux, les lipides, les terpènes et les substances minérales, la valeur du pH et le potentiel d'oxydo-réduction contribuent certainement, dans le substrat du café, au caractère particulier de l'infusion, notamment en cas de préparation préalable différente. On peut être sûr qu'une large gamme de variations apparaîtra nécessairement en ce qui concerne l'arôme et la couleur, selon que la torréfaction du café vert est plus ou moins poussée et que le spectre des produits de réaction qui en résultent peut se modifier dans une large mesure.

C'est surtout pendant les deux dernières décennies que nos connaissances sur les éléments constitutifs du café ont fait un bond considérable. Toutefois, les recherches à venir permettront à coup sûr de découvrir encore dans le café de nombreuses substances importantes du point de vue sensoriel et d'autres qui le seront moins.

La méthode analytique, la recherche des structures chimiques et de la composition quantitative des éléments constitutifs du café vert et du café torréfié ne représentent pas seulement le fondement de la compréhension substantielle de la qualité du café touchant l'arôme et la couleur, mais aussi, bien entendu, celui de l'appréciation particulière du café en fonction de ses effets stimulants. On sait que le principe pharmacologique actif du café, la caféine, a été isolé dès 1820, comme substance pure, par le chimiste Ferdinand Runge. Mais c'est Emil Fischer qui a confirmé en 1895 seulement, par voie de synthèse, la formule de sa structure établie en 1875. Une abondante littérature a consigné un nombre incalculable d'investigations pharmacologiques sur le mode d'action de la caféine sur l'organisme animal et humain, notamment en relation avec l'utilisation de la caféine dans de nombreux produits pharmaceutiques. Nous reviendrons plus loin sur les effets secondaires qui peuvent être attribués à l'ensemble des éléments constitutifs de la tasse de café, c'est-à-dire à d'autres substances qui, indépendamment de la caféine, peuvent avoir certains effets sur l'organisme humain. Auparavant, il convient d'exposer encore quelques aspects scientifiques importants liés à la qualité du café et au contrôle analytique de ses composants déterminants et qui font l'objet de la recherche.

Nous considérons la consommation quotidienne d'environ deux tasses de café comme « faible », de trois ou quatre tasses comme « normale », de quatre à six tasses, comme « moyenne », et au-delà de six tasses, comme « forte ». Si l'on considère qu'une tasse de café contient en moyenne environ 80 mg de caféine, cela signifie un apport journalier de 250 à 350 mg de caféine dans le groupe des consommateurs « normaux », et de plus de 500 mg pour les forts buveurs de café — et au maximum de 1 g par jour. Il est compréhensible que l'alcaloïde pur qu'est la caféine, et qui

constitue qualitativement et quantitativement le principe actif substantiel le plus important du café, ait fait l'objet de recherches particulièrement intensives dans les domaines de la pharmacologie et de la toxicologie, ainsi que dans celui des effets physiologiques sur l'homme. C'est à la caféine qu'est attribué à juste titre l'effet stimulant du café. Si on jette un regard critique attentif sur les nombreux travaux existants dans ces domaines ainsi que sur les travaux récents effectués avec les méthodes d'investigation les plus modernes et visant des buts analogues, ou encore sur les publications, on se rend compte que l'on se trouve confronté à une problématique complexe, au sein de laquelle les résultats sont diversement interprétés et même contreversés. Cela est dû au fait que l'effet dit « stimulant » est lié dans une large mesure à des valeurs subjectives, compte tenu de points de départ très différents selon les individus. Des facteurs tels que l'euphorie, la fatigue, l'amélioration des performances, l'affabilité, la sensibilité, la nervosité, l'excitation jouent un rôle. D'autre part, l'âge, le sexe, les habitudes de vie et l'environnement, l'usage de l'alcool et du tabac, les états pathologiques latents, aigus ou chroniques, ainsi que les états d'âme et les ennuis psychologiques constituent des facteurs d'influence qui peuvent conduire très souvent à des résultats contradictoires. Il est superflu de mentionner que la dose exerce aussi sans aucun doute une influence, une seule tasse de café ne faisant pas le même effet que trois ou quatre tasses ingurgitées presque coup sur coup.

Il faut ajouter en outre qu'à côté de la caféine — qui n'est pratiquement pas affectée par la torréfaction — il existe encore une série d'autres éléments constitutifs spécifiques parmi lesquels nous ne mentionnerons brièvement que la trigonelline et les acides chlorogéniques ainsi qu'un groupe de substances rangées sous le nom spécifique des « irritants de la torréfaction ». Ces dernières substances, qui n'ont pas encore été jusqu'ici clairement définies du point de vue chimique, se caractérisent par des « phénomènes d'irritation » au niveau de l'estomac, de l'intestin et de la vésicule biliaire. Dans le domaine des substances secondaires spécifiques du café, il faudrait citer encore bien entendu le mélange de plusieurs centaines de substances (dont on ne trouve que des traces) résultant de la combinaison déjà mentionnée de la caramélisation et de la réaction de Maillard. Il est vraisemblable que ces hétérocycles renferment aussi une série de produits chimiques — entre guillemets — possédant des propriétés toxicologiques dangereuses, à hautes doses. Rappelons cependant à ce propos un aphorisme de Paracelse (né en 1493 à Einsiedeln, Suisse), qui a gardé toute sa valeur et sur lequel on ne saurait jamais assez insister :

- « Tout est poison
- « Et rien n'est sans poison
- « Seule la dose
- « Fait qu'une chose
- « N'est pas un poison

(Cité dans la revue « Toxicologie », 1975, de l'Association allemande de recherche, *Deutsche Forschungsgemeinschaft*).

On comprend tout de suite que ces rapports dose/effet doivent absolument faire l'objet de travaux de recherche intensifs également en ce qui concerne les éléments constitutifs de l'infusion de café, afin que l'on puisse démontrer que les substances en question et les concentrations normalement utilisées ne présentent aucun caractère nocif du point de vue toxicologique et, par conséquent, ne constituent pas de facteurs dangereux pour la santé. Une expérience de plusieurs décennies nous a permis de constater que l'usage du café ne comporte aucun risque toxicologique pour l'être humain. De plus, je sais qu'au cours des dernières années, des essais à moyen et à long terme effectués en plusieurs endroits sur des animaux sous un contrôle très strict, ainsi que d'autres tests toujours en cours, n'ont révélé aucun effet négatif résultant de l'administration d'extraits de café décaféiné, parfois à haute dose. Certaines investigations — dont certaines durent encore — menées dans divers instituts avec des produits caramélisés n'ont donné jusqu'ici aucun résultat inquiétant. Les produits de caramélisation ou de la réaction de Maillard qui résultent de la torréfaction thermolytique sont, nous l'avons dit, analogues aux composés chimiques caramélisés, si répandus dans l'alimentation par suite de l'action des processus thermiques sur les aliments rôtis, cuits, séchés ou grillés.

Là encore, la recherche se heurte à un important problème qui consiste à déterminer pour les différentes catégories de produits des mécanismes de réaction communs ou divergents et à en tirer le cas échéant des conclusions pour modifier les technologies. Dans cet ordre d'idées, une question qui se pose est celle de savoir dans quelle mesure les techniques utilisées dans la pratique pour la torréfaction du café vert garantissent ou doivent garantir pour chaque grain de café un processus temps-température autant que possible uniforme, ou s'il y a lieu de préférer, selon la répartition préconisée par Gauss, une torréfaction de tout l'ensemble pour obtenir un meilleur arôme.

L'arôme du café — parfum et saveur — est incontestablement le premier critère de la qualité et du jugement du consommateur ; c'est pourquoi la recherche a encore beaucoup à faire pour déceler la multiplicité d'éléments constitutifs existant dans le café torréfié et déterminer leur développement optimal au cours du processus de torréfaction. Par opposition avec le café vert, qui peut être stocké pendant un à trois ans selon la provenance, le café torréfié présenté dans les emballages normaux du commerce ne se conserve « frais » que pendant huit à dix semaines environ. Le café moulu perd déjà son arôme au bout de quelques jours. Comme beaucoup d'autres produits alimentaires ou denrées de luxe, le café est également susceptible d'un « vieillissement », caractérisé par une qualité spécifique du parfum et du goût. Ce processus est accéléré sous l'effet de l'oxygène, de l'humidité et de la chaleur. On ne sait encore que peu de choses sur les transformations chimiques de ce phénomène. Les investigations touchant la déformation des profils de l'arôme du café torréfié due au vieillissement, qui permettront de déterminer quels sont les composants particulièrement sensibles du point de vue chimique qui se transforment, dans certaines conditions, en agents de vieillissement

caractérisés, constituent un secteur important de la recherche. Sans essais judicieux effectués sur la base de modèles appropriés, on ne fera aucun progrès dans ce domaine, d'autant plus qu'il s'agit en même temps de rechercher les mesures qui permettraient d'inhiber des réactions aussi fâcheuses.

Cette question — extrêmement importante pour la qualité du café — d'une stabilisation aussi poussée que possible de l'odeur et de la saveur est en même temps le sujet principal de la recherche en matière d'emballage. C'est précisément dans ce domaine que se révèle extrêmement utile la combinaison de l'utilisation des méthodes d'analyse chimique et des connaissances touchant la sensibilité du point de vue organique et chimique des facteurs substantiels intéressés des produits torréfiés, avec l'élaboration de modes d'emballage assurant une préservation efficace de l'arôme. Au cours des Colloques internationaux de l'ASIC, ces importants sujets ont également été examinés en détail, et ont déjà été traités avec beaucoup de succès. Des rapports seront également présentés à Abidjan sur cette question.

En outre, les recherches actuelles sur le café portent principalement sur trois projets différents relatifs à une transformation technologique du café, qui concernent la fabrication de produits spéciaux :

1. La fabrication d'extraits secs de café torréfié soluble instantané.
2. La fabrication de café décaféiné.
3. Le traitement préalable du café vert en vue de la séparation de certains éléments constitutifs particuliers.

Il n'y a pas lieu d'exposer en détail à cet auditoire la signification ni le domaine d'utilisation spécifique de ces trois catégories de produits. Il est incontestable qu'il s'agit en l'occurrence de produits que nous devons à des recherches intensives et impressionnantes en matière de café. Toutefois, touchant ce genre de transformations, tous les problèmes sont loin d'être résolus, d'autant plus que la rentabilité revêt une importance déterminante en ce qui concerne la réalisation des mesures indispensables dans chaque cas du point de vue technique.

Le jugement critique que le consommateur porte sur la qualité de la « tasse de café » s'applique cette fois encore aux trois catégories de produits. Aussi bien le café en poudre, l'extrait de café ou le café instantané — produit « commode », nécessité des temps modernes — que le café décaféiné destiné à une catégorie particulière d'amateurs de café doivent être relativement comparables à un café « normal » de qualité supérieure quant à l'odeur, la saveur, l'aspect et le mode de préparation. Là encore, à côté de l'appréciation sensorielle, il s'agit de nouveau de la mise en évidence des éléments constitutifs par l'analyse chimique, du profil de l'arôme, des processus d'altération modifiés le cas échéant par l'évolution de la technologie et de la composition, d'un mode d'emballage adapté. De même, il convient d'étudier systématiquement l'aptitude au mélange de cafés de provenances déterminées, compte tenu du degré de qualité.

Quoi qu'il en soit, chacune des trois catégories de produits précitées pose des problèmes spécifiques liés

aux nécessités technologiques et doit être traitée par une méthode scientifique.

C'est ainsi que l'extrait de café pose encore des points d'interrogation aigus en ce qui concerne la nature et l'étendue de la solubilité du café, la conservation des éléments fugaces de l'arôme par une séparation et une réincorporation éventuelles appropriées, le mode de déshydratation par pré-évaporation, le séchage par atomisation ou par congélation, l'aspect extérieur et la manipulation pratique par le consommateur.

Lors de la séparation de la caféine du café vert, la tâche qui incombe actuellement à la recherche scientifique réside dans le choix du meilleur moyen de séparer autant que possible l'alcaloïde spécifique du café. Le solvant doit être rentable et en même temps ininflammable et non explosif, permettre des rapports température appropriés lors de l'extraction, favoriser le recyclage, faciliter l'observation d'une limite résiduelle en ppm assez basse pour le café torréfié, avoir une sensibilité chimique suffisamment faible pour ne pas susciter de réaction chimique lors de la séparation de la caféine, ou lors du processus de torréfaction, entre les résidus de solvant et certains éléments du café. Il va de soi que le solvant ne doit en aucune manière atténuer ou modifier l'arôme, la saveur ou l'aspect du café. Au cours des dernières années, on a formulé des objections du point de vue de la santé contre l'utilisation de plusieurs solvants du type des hydrocarbures chlorés, objections qui ont conduit par exemple à l'élimination du trichloréthylène. Le dichlorométhane et le 1,2-dichloréthane font actuellement l'objet de tests poussés. Les résultats qui sont déjà connus pour le dichlorométhane n'ont suscité jusqu'ici aucune crainte à l'égard de ce solvant, utilisé également dans d'autres domaines de la technique alimentaire. Mais la recherche explore aujourd'hui également d'autres possibilités qui, grâce à l'emploi de solvants manifestement inertes, en sont déjà au stade des essais techniques et permettent d'éviter l'utilisation de solvants contenant du chlore.

Jetons encore un coup d'œil rapide sur la troisième catégorie de café, mentionnée plus haut, qui fait l'objet de transformations technologiques spécifiques ; il s'agit en l'occurrence d'un procédé destiné à éliminer, avant la torréfaction, certains éléments constitutifs du café en grains afin d'éviter l'apparition d'une partie au moins des « produits irritants », qui se développent normalement lors du processus de torréfaction. Le besoin de la recherche et de la fabrication de ces produits transformés du café est né du fait que, après l'extension de la consommation du café au cours du siècle, le nombre des personnes qui constatent des symptômes d'intolérance au niveau de l'estomac, de l'intestin et de la vésicule biliaire à la suite de la consommation du café en grains normal s'est accru. Ces procédés ont pour but de réduire les produits de la thermolyse ou de la pyrolyse résultant de la torréfaction et qui entraînent un effet d'irritation. De même, on s'efforce de diminuer ou de supprimer les cires et les depsides du café en supposant que ces substances ont une relation avec la tolérance du café chez certaines personnes. Etant donné qu'il s'agit pour une partie de

ces substances, séparées par exemple par un traitement à la vapeur d'eau ou au bioxyde de carbone, de fractions parfois quantitativement insignifiantes d'éléments constitutifs, non seulement la recherche se trouve confrontée à des problèmes d'analyse, mais elle est particulièrement orientée vers des essais biologiques et physiologiques et des examens cliniques. Là encore il s'agit d'un secteur de recherches sur le café qui devra être poussé à l'avenir en vue d'élargir autant que possible le cercle des amateurs de café.

Nous sommes ainsi parvenus sans nous en apercevoir dans le domaine de la recherche et des méthodes de tests scientifiques touchant les effets du café sur l'organisme humain. Une foule de publications répondent à de multiples interrogations concernant de nombreuses espèces animales, de l'homme bien portant et de l'homme malade, des différentes classes d'âge et des différences observées en fonction du sexe, du mode de vie et des contraintes dans de nombreux milieux, de sport et de tension d'esprit, des différentes heures de la journée et des influences climatiques, mais aussi des différentes dispositions psychiques. Il convient de se demander à cet égard s'il s'agit d'examen portant sur la caféine, sur d'autres éléments constitutifs définis du café, de certaines infusions ou d'extraits de café. Nombre de ces travaux ont été effectués sur la base de critères irréprochables et d'une méthodologie sûre, de déclarations soigneusement vérifiées sur le plan statistique ou selon des techniques de mesure susceptibles d'être contrôlées après coup. Maintes publications déjà dépassées fournissent encore aujourd'hui des renseignements fiables. Toutefois, de nombreux autres travaux ne résistent pas à un jugement critique — notamment dans le cas de travaux cliniques, qui n'embrassent bien souvent qu'un nombre restreint de sujets et s'appuient la plupart du temps sur des renseignements liés à des impressions et à des sentiments personnels. A cet égard, il convient d'accueillir avec la réserve la plus extrême des notions aussi mal définies et aussi vagues que les concepts d'« acceptation » et de « tolérance », qui ne correspondent pas toujours au même contenu dans les langues étrangères. Il est parfaitement compréhensible que les déclarations et les conclusions tirées de ces publications donnent lieu à de fréquentes controverses. On fait de son mieux pour les oublier. Pour fixer en l'occurrence un critère, nous renvoyons à l'exposé du Prof. D^r K. Pawlik au 7^{ème} Colloque de l'ASIC, à Hambourg, en 1975, sur le sujet suivant : « Etude, du point de vue psychologique, des effets du café dans la pratique. »

En ce qui concerne les recherches touchant les effets du café sur l'être humain, il faut exiger d'établir une référence non équivoque au substrat utilisé et, autant que possible, à des composants définis. De ce point de vue, on voit bien l'importance fondamentale que revêt une connaissance exacte de la composition et de la nature chimique des substances contenues dans le café et de leurs concentrations. Il faudra faire encore beaucoup de recherches scientifiques dans ces domaines avant d'obtenir des résultats en tout point fiables sur les effets du café du point de vue physiologique.

En citant le tableau systématique qui ressort de la monographie d'Oskar Eichler intitulée « Kaffee und

Coffein », 2^{ème} édition, 1976, nous nous bornerons à présenter ici brièvement en quelques mots les secteurs essentiels qui ont été inclus dans la recherche sur les effets du café et de la caféine :

1. *Les effets centraux*

sur les organes des sens, les fonctions du cerveau, la moelle épinière, la relation entre la caféine et le sommeil, la caféine et l'alcool, etc.

2. *Les performances physiques*

par rapport à l'appareil musculaire, par rapport à divers organes.

3. *Le cœur et la circulation du sang*

par rapport à la pression sanguine et au système vasculaire, par rapport aux coronaires et au problème de l'infarctus du myocarde.

4. *Les effets sur la respiration*

5. *Les reins et la fonction rénale*

6. *Le métabolisme de divers organes*

système nerveux central, appareil musculaire, cœur, foie, pancréas.

7. *Le métabolisme des hydrates de carbone, le métabolisme des graisses*

8. *Le système endocrinien*

9. *Les organes de la digestion*

10. *La toxicité*

sur les souris, les rats, les autres animaux de laboratoire, les êtres humains.

11. *La mutagenèse, la tératogenèse, les troubles de l'évolution*

dans les cellules végétales, bactéries, levures, champignons, cultures de cellules, chez la drosophile, les souris, les rats, les lapins et les chiens.

12. *Le café et le cancer*

caféine et produits torréfiés.

En relation avec le sujet de mon rapport, cette liste a pour but d'indiquer l'énorme volume des recherches entreprises sur les effets du café touchant la perturbation éventuelle des fonctions organiques, du métabolisme, des fonctions hormonales et du comportement psychique en extrapolant vers l'être humain, ou concernant une agression directe de l'homme ; de plus, il faudra à l'avenir élucider de nombreuses questions restées sans réponse en utilisant les méthodes de recherche et les instruments de mesure les plus modernes, afin de reconnaître à cette boisson largement répandue dans les masses qu'est devenu le café le caractère d'une denrée « inoffensive » et, le cas échéant, de tracer en toute connaissance de cause les limites d'une intolérance — fût-elle à peine sensible —

que la description d'états physiques ou psychologiques pourrait permettre de déceler. Là encore, il faut en revenir au problème du dosage, de même que l'état général, la constitution d'un homme, les déficits possibles résultant d'affections chroniques, l'alcool, le tabac, les produits pharmaceutiques, etc. doivent être pris en considération. Ici, à Abidjan, nous écouterons et examinerons aussi des rapports détaillés sur les « effets de la consommation du café-boisson sur l'homme ».

Permettez-moi de présenter encore brièvement, à titre d'exemples, après les catégories de problèmes que nous venons d'évoquer, quelques thèmes actuels de la recherche, qui mettent en évidence la variété des questions soulevées, notamment par l'étude du café.

Relevons tout d'abord l'importance qui s'est attachée à l'utilisation de composés marqués aux isotopes pour suivre le cheminement d'une substance introduite dans l'organisme par voie orale ou intraveineuse. On peut évaluer de la sorte le temps nécessaire au corps pour éliminer une substance, et dans quelle proportion ; de plus, on peut constater si la substance est enrichie dans certains organismes, si elle est intégrée dans les mécanismes du métabolisme, si certaines parties de la molécule se retrouvent dans le métabolisme de la croissance ou dans la réaction d'échange énergétique, s'il y a élimination par les urines moyennant le déclenchement de mécanismes dits de « désintoxication » comme la sulfatation ou l'action de la glucuronidase. Si les recherches sur la pharmacocinétique de la caféine et des acides chlorogéniques jouent ici un rôle essentiel, les produits engendrés par la réaction de Maillard et la caramélisation ont également leur importance. Après avoir constaté que de nombreuses substances administrées par voie orale peuvent être transformées par des réactions enzymatiques dans l'organisme humain en molécules chimiquement modifiées, qui sont ensuite responsables au premier chef d'effets pharmacotoxicologiques déterminés, il est apparu que de telles recherches sont également indispensables dans le secteur des éléments constitutifs spécifiques du café. Cela concerne aussi bien la pharmacocinétique des purines, principalement de la méthylxanthine, mais aussi les autres éléments constitutifs spécifiques du café. Ces recherches intéressent aussi l'étude des effets qui sont liés, par exemple, à l'utilisation simultanée de produits pharmaceutiques et à la consommation d'alcool et de cigarettes.

Une série d'autres interrogations a trait au rapport « café-cancer ». Disons-le d'emblée : il n'existe pour l'instant aucune raison fondée de soupçonner que l'un quelconque des éléments constitutifs de la « tasse de café » est générateur d'un risque de cancer. Les analyses complètes et les expériences réalisées sur des animaux de laboratoire dans le groupe des hydrocarbures polycycliques cancérigènes, notamment avec le benzopyrène, n'ont révélé que des valeurs d'un ordre inférieur à 1 µ/kg, ce qui correspond à des quantités de l'ordre du nanogramme par litre de café. Ces valeurs sont inférieures à celles qu'on a décelées généralement dans d'autres denrées alimentaires, notamment le pain et les légumes, et peuvent être considérées comme totalement inoffensives. Cependant, il conviendrait

d'éviter de pousser excessivement la torréfaction du café, car les pourcentages des composés polycycliques ont tendance à augmenter avec les très hautes températures.

Au cours des dernières années, le groupe de substances connues en chimie organique sous le nom de nitrosamines a été dénoncé comme l'un des plus puissants agents cancérigènes contenus dans les aliments. Certaines publications d'instituts norvégiens et australiens avaient tout d'abord prétendu que les réactions de Maillard engendraient toute une série de nitrosamines. Nous avons pu, à Hambourg, démontrer clairement que ces auteurs avaient mal interprété les résultats d'une analyse non spécifique au moyen d'une polarographie : au lieu de nitrosamines, ceux-ci avaient découvert et mesuré des homologues de la pyrazine, engendrés par la réaction de Maillard et également présents dans le café torréfié. Après quoi, nous n'avons pas été en mesure d'attester la présence de nitrosamines, dans le café vert, ou le café torréfié, fût-ce en quantité de l'ordre du nanogramme. D'autres recherches effectuées avec le « Thermal Energy Analyzer » dans la région des picomoles sont actuellement en cours. Toutefois, nous avons pu prouver également que la réaction de Maillard peut effectivement engendrer des nitrosamines — par exemple de la N-nitrosopyrrolidine à partir de l'acide proline — en présence de nitrite. Dans une publication qui vient de paraître [*J. Agric. Food Chem.*, 25, 959 (1977)], Amorim et ses collaborateurs ont montré que le café contient aussi des traces de polyamines, qui peuvent conduire à la formation de nitrosamines en présence de nitrite. On a montré également qu'on ne pouvait pas attester la présence de nitrite dans une limite de 75 µg/100 g, bien que le café en grains contienne du nitrate. Cette constatation impose elle aussi la nécessité de ne pas torréfier à de très hautes températures ou d'éviter les techniques qui conduisent, pour certaines qualités de café en grains, à la calcination et partant à une réduction possible du nitrate en nitrite. Toutes les recherches sur les nitrosamines effectuées dans le secteur du café permettent de constater qu'il n'existe jusqu'ici aucun facteur de danger dans un sens cancérigène.

Le problème des nitrosamines est également lié au fait que les composés de la chimie organique du type des phénols accélèrent *in vitro* la vitesse de réaction de l'apparition des nitrosamines en présence d'amines et d'agents de nitrosation. Etant donné que les acides chlorogéniques contenus dans le café appartiennent à la classe des phénols, on peut présumer que les effets de ces éléments constitutifs du café seront analogues *in vivo*. Cependant, on ignore quel sera le cours d'une nitrosation concurrente en milieu gastrique acide en présence de produits de digestion complexes, d'autant plus qu'il peut exister aussi des agents inhibiteurs de réaction tels que l'acide ascorbique. En outre, les structures phénoliques et les acides chlorogéniques sont très répandus dans les substances naturelles et les aliments.

Un autre problème scientifique se pose avec une acuité particulière : il s'agit de préciser l'importance qu'il convient d'attribuer aux résultats des tests biolo-

giques — par exemple, du test S. Ames, pour l'appréciation des déclarations touchant la mutagenèse et la cancérogenèse.

Un autre sujet d'actualité vient également d'être étudié depuis peu de temps dans un rapport de recherche publié en 1977 par la Société allemande de recherche sous le titre « Evolution de la grossesse et développement de l'enfant ». Cette étude prospective d'une ampleur considérable, dont la réalisation a demandé plus de dix années à partir de 1964 et qui a porté sur environ 15.000 femmes et 8.000 nouveau-nés, avait pour but de préciser si l'administration de médicaments pendant la grossesse constitue un danger pour le développement de l'enfant. Ces enquêtes ont également comporté des sondages sur d'autres habitudes de vie et de consommation et ont été interprétées statistiquement avec cinq cents variables pour un dépistage systématique des associations. L'étude contient la phrase suivante : « Les statistiques montrent qu'une forte consommation de café des femmes enceintes est associée, dans une proportion qui ne saurait être due au hasard, à une insuffisance pondérale des nouveau-nés (7,5 % au lieu de 4,7 % des enfants dont le poids à la naissance est inférieur à 2.500 g), notamment dans les classes d'âge moyenne et élevée. » Etant donné que ni le thé, ni le coca-cola n'ont montré des effets analogues, il faut supposer qu'il ne peut s'agir d'une influence de la caféine ou des substances caramélisantes. Soulignons cependant qu'il est indispensable de mener des enquêtes approfondies avant de pouvoir déterminer la causalité. Quoiqu'il en soit, jusqu'à plus ample informé, l'étude met les femmes enceintes en garde contre une « très forte consommation de café ». Faisons remarquer à ce propos que ces chiffres n'ont pas été définis avec précision. Dans tous les cas, malgré le luxe de données rassemblées dans l'étude, on ne sait pas très bien — comme nous l'expliquons plus loin — si ce sont la consommation-même de café ou d'autres facteurs associés au café, mais non comptabilisés, qui sont responsables des effets constatés, d'autant plus que des effets additionnels consécutifs à une forte consommation de tabac ont été mis en évidence. Les recherches ultérieures devront donc là aussi répondre à de nombreuses questions, auxquelles on ne pourra donner finalement une solution concrète qu'en revenant à certains éléments constitutifs du café.

La recherche scientifique sur le café s'interroge également, comme dans ce dernier exemple, sur les effets du café sur les personnes qui sont en dehors du cercle des consommateurs normaux sains. Lorsque notre conviction nous pousse à affirmer, sur la base des recherches sur le café entreprises jusqu'ici, que le « café n'est pas nocif », nous énonçons cette déclaration en nous référant en premier lieu à l'adulte en bonne santé qui consomme quatre à six tasses de café par jour. Comment se présente la situation chez les jeunes, les personnes âgées, les femmes enceintes, les personnes atteintes de maladies aiguës ou chroniques, les instables psychiques, en cas de troubles vasculaires ou d'insuffisances organiques, chez les alcooliques, les victimes du tabagisme, c'est-à-dire dans tous les cas qui s'écartent de l'état normal ? La recherche sur le café s'est toujours particulièrement soucieuse d'évaluer

avec précision l'influence du café sur les différents états morbides, les modifications du métabolisme ou les perturbations spécifiques, afin de pouvoir formuler une recommandation judicieuse dans chacun de ces cas et en se conformant au principe intangible de l'innocuité et de la sécurité en matière de santé. Nous sommes pour ainsi dire en présence de problèmes permanents de la recherche, qui doivent être constamment adaptés aux progrès généraux des connaissances scientifiques et de la méthodologie.

Ces remarques valent également pour le perfectionnement ultérieur des procédés technologiques utilisés dans le domaine de la production et de la transformation du café, dont il a déjà été question à plusieurs reprises. Sans entrer dans les détails, qu'il me soit permis de souligner que, à côté de leur rentabilité, les améliorations des technologies dues aux efforts de la science se mesurent toujours nécessairement par la qualité objective et mesurable des éléments constitutifs déterminants qui influencent les qualités sensorielles du café-boisson.

Le fait que les colloques internationaux de l'ASIC à partir du 7^{ème} Colloque de Hambourg aient accordé une place particulière aux problèmes et aux développements de la recherche en agronomie atteste la grande importance attribuée aux progrès réalisés dans ce domaine. Au pays de l'Arabusta, il est inutile d'insister davantage sur la génétique, les problèmes d'élevage, les épiphyties, la robustesse des plantes, l'utilisation des déchets lors de la séparation du café en grains, les problèmes de fermentation, le conditionnement et le stockage du café vert — pour ne citer que les problèmes les plus importants. Nous renoncerons également

à expliquer en détail que c'est dès le stade de la cueillette qu'il convient d'étudier la composition du café vert, du point de vue tant qualitatif que quantitatif, afin de recueillir autant que possible les éléments qui permettront de juger de la qualité du café torréfié. C'est là que l'on retrouve en quelque sorte le point de jonction de l'évaluation scientifique du produit final et des qualités spécifiques initiales du caféier.

Je viens d'essayer d'esquisser à grands traits, à l'aide de quelques exemples appropriés, un aperçu de l'ampleur et de la diversité extraordinaires qui caractérisent — et doivent caractériser — la recherche sur le café, recherche à laquelle le 8^{ème} Colloque scientifique international sur le café tenu à Abidjan confèrera une actualité particulière.

Les aspects scientifiques de la recherche sur le café montrent de multiples facettes dans un champ d'action où de nombreux secteurs techniques sont à l'œuvre sur une base interdisciplinaire et dans un esprit de compréhension mutuelle. Il s'agit en définitive, grâce à la science du café, de garantir au consommateur mondial une haute qualité des produits dérivés du café et d'attester en même temps l'innocuité de la « tasse de café » en matière de santé.

La Science avance à pas de géants, de nouvelles interrogations se font jour. Aujourd'hui et dans les jours qui viennent, chacun pourra avoir un aperçu des aspects scientifiques des disciplines voisines et des résultats obtenus dans ces disciplines.

Je ne voudrais pas terminer sans adresser mes vifs remerciements à M. le Professeur Reymond, Secrétaire scientifique de l'ASIC, qui a bien voulu se charger de traduire en français le texte allemand de mon rapport.

HEYNS (K.). — **Aspects scientifiques de la recherche sur le café.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 13-20.

Les domaines de recherche sur le café sont passés en revue tels qu'ils sont abordés dans les conférences et les communications données dans le cadre des colloques de l'ASIC.

Le 8^{ème} Colloque d'Abidjan groupe des exposés sur de nombreux problèmes scientifiques, dont les sujets et les disciplines sont souvent très éloignés les uns des autres. Le caractère interdisciplinaire des colloques de l'ASIC est donc un trait caractéristique de ces rencontres.

De nombreux problèmes fondamentaux traitent des divers aspects de la recherche sur le café passant du café vert au café torréfié et aboutissant au café-boisson prisé par le consommateur. Des exemples illustrent l'importance primordiale de la qualité du produit de départ, des opérations technologiques, de la composition de la fève de café vert, des modifications apportées par la torréfaction ; si l'on ajoute les études sur l'effet physiologique du café-boisson sur l'organisme humain sain et son incidence sur la santé de personnes malades, on conçoit l'importance scientifique des colloques de l'ASIC pour définir les connaissances scientifiques sur le café-boisson, qui constitue lui-même la boisson stimulante aromatique la plus consommée dans le monde.

HEYNS (K.). — **Scientific aspects of research on coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 13-20.

A survey is given of the overall framework within which scientific research on coffee is carried out and which, therefore, is the subject of the lectures and discussions at the colloquia organized by ASIC.

These lectures as they will again take place at the 8th Colloquium in Abidjan are devoted to numerous major scientific problems selected from a large number of research disciplines whose subjects and objectives are frequently widely divergent. This imparts to the colloquia of ASIC a distinct interdisciplinary character.

A number of fundamental scientific problems are discussed which have been selected from different fields of study ranging from the green coffee bean over roast coffee to the cup of coffee in the hand of the consumer. By reference to examples illustrating the importance of the raw product quality, the technological steps, the composition of the coffee bean and the changes to which it is subjected as well as, finally, the effects of coffee under physiological and pathological conditions of the human organism, it is demonstrated how important are the international scientific colloquia of ASIC as a platform for presenting the state of current knowledge about coffee which is one of the major aromatic and stimulant beverages in the world.

RECENT DEVELOPMENTS IN THE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF COFFEE : A REVIEW

R.F. Smith

London, England*

INTRODUCTION

This review gives an account of the reports on the chemistry and technology of coffee received in the 2 1/2 year interval since the last colloquium, in Hamburg in 1975, and will, I hope, give an indication of the developments in that period and act as an introduction to the present colloquium. It is difficult to give a connected account of the progress of research on a variety of topics, but I will attempt to deal with them in turn under the headings: raw beans, roasting and roasted beans, aroma, beverage (including physiological effects), instant coffee and methods of analysis,

topics about which we will be hearing more in the course of this week. Particular attention has been given to the composition and treatment of the raw beans as they affect the quality of the final product, and to the physiological effects of the constituents of the beverage, in view of the increasing interest in recent years on the beneficial and possible harmful effects of coffee. My references to patents are by no means comprehensive, but I hope that they will give sufficient indication of recent trends in the development of coffee technology.

RAW COFFEE

To start with the coffee plant, reports have been received on the effects of mineral nutrition on beverage quality (1) and on seasonal changes in the mineral contents of different organs of the plant (2). The effects of various factors on the germination of the seeds (3), the application of tissue culture to the improvement of coffee (5), a comparison of the composition of the unsaponifiable matter of the lipids of isolated cell cultures (6) and the caffeine and chlorogenic acid contents of cell cultures (7) have been reported. The effects of the application of phosphonates on ripening (8) and of the growth regulator ethrel on the ascorbic acid content of the fruits (9) were reported. The effects of defects in the beans on beverage quality again confirm the need for the removal of defective beans (10, 11); the elimination of over-fermented beans (stinkers) by mechanical sorting was reported by Gibson *et al.* from East Africa (12). The development of a new coffee hybrid (*Coffea arabusta*) here in the Ivory Coast, first mentioned in Hamburg, should be mentioned (13).

Further processes have been patented (P1-P7) for the extraction of the waxy outer layer containing 5-hydroxytryptamides of carboxylic acids, which have previously been shown by Wurziger to have undesirable effects in the beverage, also for their destruction during roasting (P8). The changes in composition of coffee beans during steam treatment for the removal of irritating substances have been examined (14).

Further processes for the decaffeination of coffee have been patented, *viz.* by extraction with halogenated solvents (P9, P10), with diethyl succinate (P11), with corn oil (P12) and with liquid carbon dioxide (P13, P14) and by adsorption on resins (P15). Changes in composition during the decaffeination process have been investigated (15). Incidentally, dichloromethane is now generally used for decaffeination, in place of trichloroethane, which is suspected of having toxic effects (171).

With regard to the composition of the raw beans in relation to beverage quality, there have been further reports from Amorim and his co-workers on Brazilian beans (16-21). Variations in the caffeine contents of coffee varieties from Egypt (22), Madagascar, Ivory Coast and Cameroons (23), and in the proteins in

(*) 58 Elmwood Road, Chiswick, London W4 3DZ

varieties from Brazil (24) have been examined. The chemical and technological characteristics of Mozambique *Racemosa* coffee (25), the composition of the polysaccharides (pectin and pectic acid) (26, 27), the total chlorogenic acid contents (28), the lipid contents of Egyptian coffee (29), the composition of the lipids, including unsaponifiable matter (30, 31) and tocopherols (32), and the distribution of ascorbic acid in the ripe fruits (33, 34) have been reported. Past and present work on coffee purity has been reviewed (35). Studies of the composition of the leaf waxes (36) and the isolation of some unusual purines in the leaves (37) have been reported. There have been further reports on the structure of the bitter diterpene glycoside, mascaroside, isolated from *Coffea vianneyi* in the IFCC laboratories; its structure has finally been established (38-40). Also further reports on the coffee atractylosides (41), first announced before the Hamburg colloquium, and of related compounds (42-44) have been made.

There have been reports on the isolation and investigation of the properties, including the effects on beverage quality, of the enzymes of the coffee bean, namely polyphenol oxidase (44-48), α -galactosidase (49-51), nitrate reductase (52) and pectic lyase (53).

Tolerances for pesticide residues have been established in the USA, under the Federal Food, Drug and Cosmetic Act, for 2-isopropyl-4-methyl-6-pyrimidinyl phosphorothionate (54) and for carbofuran (55). After application to the soil, carbofuran was not found in harvested beans, but metabolites were found (56). Likewise, no residues of dieldrin and endosulphan could be detected in beans (57), and residues of HCH were considerably reduced in amount, with a conversion to DDT and DDD during roasting (58).

There have been reports on studies in changes in quality (59), in particular on the effects of humidity (60, 61) and of Maillard reactions (62) during storage of raw coffee. A technique for the determination of equilibrium humidity in particulate foods, including parchment coffee, has been described (63).

There have been investigations on changes in chemical composition of waste coffee pulp by alkaline treatment (64) and by ensilage (65), on the digestibility of the pulp (66), on the use of wastes as animal feeds (67) as a source of pectin (68), and on the treatment of waste waters with fungi (69, 70). Urethane coatings have been prepared from coffee-meal and rice-bran oils (71).

ROASTING AND ROASTED COFFEE

Accounts have been given on developments in the sphere of roasted coffee and coffee extracts by Mohr (72), by Clarke (73) on coffee manufacturing process, and by Clifford (74) on changes in chemical composition during roasting. A study of the roasting process by Quijano-Rico and co-workers by means of differential-thermal analysis and mass spectrometry, reported at the Hamburg colloquium, has been published (75). The effects of roasting on changes in carboxylic acids, including chlorogenic acids (76, 77), on nutrients (123), on galactomannan polysaccharide complexes (78, 79) by Thaler and co-workers, and on the production of brown pigments (80) have been studied. Various types of proteins have been shown to be precursors of bitter flavour on roasting (81). Further evidence has been

obtained that ochratoxin A (82) and aflatoxin B₁ (83) are largely destroyed by roasting. The influence of infra-red roasting on quality (84) and the effects of gamma-radiation during roasting (85) have been studied. The effects of roasting on HCH pesticide residues have already been mentioned (58).

The use of cardamoms (86) and of *Cassia occidentalis* (87) as coffee substitutes in the Near East has been reported, and the detection of the adulteration of coffee with cashew-nut shells has been described (88). The use of roasted wheat and chicory (P16) and of roasted carrot roots (P17) as coffee substitutes, and the elimination of bitter flavour by the addition of a polypeptide (P18) have been patented.

AROMA

Vitzthum and Werkoff have continued their investigations on the aroma constituents of coffee, and reported on the presence of new compounds in the neutral fraction (89) and of new cycloalkylpyrazines (90); they have also published a review on coffee

aroma (91). Other workers have reported on the analysis of volatile substances (92), in particular on the pyrazines (93), acetaldehyde (94), functional groups (95) and lactones (96), also on the application of chemical analysis to flavour analysis (97). The use of

the « aroma value », *i.e.*, the ratio of the concentration on an aroma compound to the threshold concentration, has been reviewed (98). The development of flavours during the manufacture of tea and coffee have been compared (99).

From Japan the synthesis of several coffee flavour compounds, *viz.* cyclotene and related compounds, have been reported (100, 101). As a result of the extensive investigation, previously reported, on the composition of coffee aroma in their laboratories, the Firmenich Company have issued a series of patents, in which more than four hundred compounds are evalua-

ted as flavouring agents (P19, P20), with particular reference to phenolic compounds (P19, P21, P22), alkyl naphthalenes (P23), diketones (P24), furfuryl compounds (P25, P26), pyridine derivatives (P27), pyrazines (P28), thioethers (P29) and thiophenes (P20, P30-P32). General Foods also have patented processes for aromatising coffee extracts with aroma constituents (P33-P35) and coffee-grinder gases (P36-P38). Proctor and Gamble have patented a process for producing a stable concentrate of coffee (or tea) aroma (P39), and Nestlé for stripping coffee volatiles (P40).

COFFEE BEVERAGE

A popular article was published in a German magazine (103) on the consumption, enjoyment and present economics of coffee. The application of taste preferences in relation to brew strength and characteristics of the coffee used has been reported (104). A simple method has been given for the domestic softening of the water used for preparing the beverage (105). Reports have been made on the caffeine content of coffee products (106) and of the beverage as consumed (107, 108). Feeding tests on chicks suggest that nicotinamide is more effective on growth rates than nicotinic acid (109). Adverse effects on colour by the dietary fortification of cane sugar with iron in India are reported, but they can be avoided by the addition of the iron in the form of orthophosphate (110), and the precipitation of the casein of milk by coffee components or Maillard products is reported from Germany (111).

There have been reports on the extraction of lead and cadmium from coffee makers and earthenware vessels (112-114), and on the inhibition of the absorption of zinc from foods such as coffee (115).

Patent applications have been made for the production of a carbonated coffee beverage (P41) and for the use of caffeic acid derivatives for the induction of a sweet taste in non-sweet foods (P42).

There has been an increasing interest in recent years on the physiological effects of coffee consumption, in particular in relation to its most important constituent, caffeine, but it is considered that, in moderation, caffeine cannot be considered as a drug and can do no harm (116-121). The stimulating effects of caffeine have been demonstrated by EEG analysis (122), and the effects of roasting on the nutrients of coffee made in restaurants have been examined (123). A correlation between sensitivity to the taste of phenylthiourea and the bitter flavour of black coffee was reported (124). It is interesting to note that in a two-year feeding study on rats fed with instant coffee (at a rate equivalent to a human consumption of seventy to eighty cups per day) that there were no toxic effects (125), also that smoking and coffee consumption by Copenhagen males had no effect on the occurrence of gout (126). The cancer mortality in the predominantly Mormon state of Utah is the lowest for the entire USA (127) but since the Mormons abstain from the consumption of tobacco and alcohol, in addition to coffee and tea, it is more likely that tobacco is the deciding factor. Correlations between cancer mortality and consumption of foods (including tea and coffee) have been studied elsewhere (128). A hearing is to be held in the USA on the safety (GRAS) of certain food ingredients, including caffeine (129).

INSTANT COFFEE

There have been reports from South Africa on the manufacture and packing of instant coffee (130), from the USSR on the dry-substance balance in manufacture (131), and on the need for establishing an extraction limit in Germany (132). There have also been reports on the chemical and sensory evaluation of instant coffee from Brazil (133), on the effects of conditions of freeze-drying on the volatile components and flavour (134) and on the effects of the pH value (135). Thaler

and his co-workers have published two further reports on the extraction of polysaccharides from roasted coffee (136, 137).

Processes have been patented for the fractionation of coffee solubles (P43), for the treatment of the extract with peroxidase to destroy chlorogenic acid (P44), for the production of freeze-dried extract (P45, P46) and for the fortification with iron (as pyrophosphate) after removal of iron-reactive compounds (P47).

Methods for the development of flavouring agents (P19-P32) and for the isolation of aroma from roasted coffee (P33-P40) have already been mentioned.

The treatment of waste products from instant coffee manufacture (138), the use of coffee grounds as animal

feeds (139-141) and the production of humus from them (142) have been investigated; processes have been patented for the carbonation of coffee grounds (P48) and for the manufacture of purified coffee oil (P49).

ANALYSIS

By far the largest number of papers devoted to analysis were on methods for the determination of caffeine and other methylxanthines in coffee and coffee-containing products. These comprise: spectrophotometric methods (143-147), a comparison of spectrophotometric and GLC methods (148), GLC (149), TLC (150-154), liquid chromatography (155, 156), gel chromatography (157) and high-pressure liquid chromatography (HPLC) (158-162). In addition, there are methods for the determination of caffeine in pharmaceutical products (163-165), also in caffeine-containing soft drinks by spectrophotometry (166), TLC (167, 168), GLC (167, 169) and HPLC (170, 171). Caffeine has also been determined by biamperometric titration (172) and, in human plasma, by radioimmunoassay (173). The mechanism of the colour reaction with hypochlorous acid and pyridine has been studied (174). The separating funnel is said to be an imperfect apparatus for, e.g., the extraction of caffeine (175); and a report on the extraction of caffeine with dichloromethane from aqueous solution came from the USSR (176). A method for the determination of trichloroethylene and dichloromethane residues in decaffeinated coffee has been published (177).

The use of isoniazid as a structure-specific reagent for phenolic compounds (178) and the results of the determination of «tannins» in some alcoholic and

non-alcoholic beverages have been reported (179). Methods have been published for the determination of chlorogenic acids (181-183) and other caffeic and ferulic acid esters (184, 185), and for the use of chlorogenic acid contents for calculation of the coffee content of instant coffee containing substitutes (186).

Methods for the determination of aflatoxin B₁ in roasted maize (83) and for the determination of 5-hydroxytryptamides in coffee (189) and the results of a collaborative study on a method for the determination of ochratoxin A (190) have been reported, and the radioimmunoassay of ochratoxin A has been investigated (191). Refractometric and conductimetric methods have been used to determine the extract content of coffee decoctions (192), and the enzymatic determination of fructose has been applied to the determination of the chicory content of coffee — chicory mixtures (193). Adulteration of coffee with cashew-nut shell has been detected microscopically (88). The application of infra-red spectrometry to the analysis of foods, including coffee, has been reviewed (194). The effect of particle size on the extraction of oil for its determination in green coffee beans was examined by de Heus *et al.* (195). Atomic-absorption spectrophotometry has been used for an investigation on the lead contents of beverages such as coffee (113).

BIBLIOGRAPHY

Raw coffee

1. H.V. AMORIM, M.E. TEIXEIRA, R.S. MORAES, A.J. REIS, F.P. GOMES, E. MALAVOLTA. — Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilisation on macro- and micro-nutrients content in the bean and the quality of the coffee beverage. *An. Esc. Super. Agric.*, «Luiz de Queiroz», Univ. São Paulo, 1973, **30**, 323-333 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 95464e.
2. V.H. DA SILVA E SOUZA, M. MAESTRI, J.M. BRAGA, J.R.P. CHAVES. — Variations in the level of some mineral elements in leaves and beans of coffee (*Coffea arabica* L. var. «Mundo Novo»). *Rev. Ceres*, 1975, **22** (123), 318-331 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 19825z.
3. I.F.M. VALIO. — Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* cv. Mundo Novo). *J. Exp. Bot.*, 1976, **27** (100), 983-991.
4. H. RICHTER, H. OBERMANN, G. SPITELLER. — New kauren-18-oic acid glycopyranosyl ester from green coffee beans. *Chem. Ber.*, 1977, **110** (5), 1963-1970 (German).
5. L.C. MONACO, M.R. SONDAHL, A. CARVALHO, O.J. CROCOMO, W. R. SHARP. — Applications of tissue culture in the improvement of coffee. *Appl. Fundam. Aspects Plant Cell, Tissue, Organ Cult.*, 1977, 109-129, 207-248; *Chem. Abstr.*, 1977, **86**, 136273z.
6. F. VAN DER VOORT, P.M. TOWNSLEY. — Comparison of the unsaponifiable lipids isolated from coffee cell cultures and from green coffee beans. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1975, **8** (4), 199-201.

7. E. BUCKLAND, P. TOWNSLEY. — Coffee suspension culture. Caffeine and chlorogenic acid content. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1975, **8** (3), 164-165.
8. G. SARIN, F. SCHUITMAKER. — Regulating the ripening and development of coffee beans. *Braz. Pedido PI* 74 02,326 (02.12.1975).
9. N.H. GOPAL, N. VASUDEVA. — Effect of ethrel on ascorbic acid of coffee fruits. *Curr. Sci.*, 1975, **44** (11), 397.
10. E.E. MIYA, R.S. GARRUTI, M.A. CHAIB, E. ANGE-LUCI, I.B. FIGUEIREDO, I. SHIROSE. — Defects of coffee and beverage quality. *Colet. Inst. Technol. Aliment.*, 1973 (Publ. 1974), **5**, 417-432 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 130227d.
11. M. BAREL, F. CHALLOT, J.-C. VINCENT. — Contribution to the study of defective beans. *Café Cacao Thé*, 1976, **20** (2), 129-134 (French).
12. A. GIBSON, M. BUTTY, B.A. MWINGRA. — Coffee processing research. *Ann. Rep. East Afr. Ind. Res. Org.*, 1974-1975, Appendix C, 49-83.
13. J. CAPOT, L. AKE ASSI. — New coffee hybrid from the Ivory Coast. *Bull. Inst. Fondam. Afr. Noire, Sér. A, Sci. Nat.*, 1974, **36** (4), 900-901 (French).
14. S. GAL, P. WINDERMANN, E. BAUMGARTNER. — Study of reactions of coffee beans during steam treatment. *Chimia*, 1976, **30** (2), 68-71 (German).
15. L. GOLDONI, I. MILOSTIC, V. JOVIC. — Additional knowledge on decaffeinated coffee. *Prehrambeno-Tehno. Rev.*, 1976, **14** (3-4), 5-8 (Croat); *Chem. Abstr.*, 1977, **87**, 4257h.
16. H. FONSECA, L.E. GUTIERREZ, A.A. TEIXEIRA. — Total nitrogen in green coffee samples of different kinds of beverage. *Ann. Esc. Super. Agric. « Luiz de Queiroz » Univ. São Paulo*, 1974, **31**, 491-494 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 107636u.
17. H.V. AMORIM, R.V. JOSEPHSON. — Water-soluble protein and non-protein components of Brazilian green coffee beans. *J. Food Sci.*, 1975, **40** (6), 1179-1184.
18. H.V. AMORIM, A.A. TEIXEIRA, M. MELO, V.F. CRUZ, E. MALAVOLTA. — Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. IV. Electrophoresis of proteins on agar gel and its interaction with chlorogenic acids. *Turrialba*, 1975, **25** (1), 18-24; *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 7514t.
19. H.V. AMORIM, V.F. CRUZ, A.A. TEIXEIRA, E. MALAVOLTA. — Chemistry of Brazilian green coffee and quality of the beverage. V. Multiple linear regression analysis. *Turrialba*, 1975, **25** (1), 25-28; *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 7515u.
20. H.V. AMORIM, M.G. LEGENDRE, V.L. AMORIM, A.J. ST. ANGELO, R.L. ORY. — Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. *Turrialba*, 1976, **26** (2), 193-195; *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 141536w.
21. H. FONSECA, L.E. GUTIERREZ, A.A. TEIXEIRA. — Properties and composition of the lipid fractions in green coffee samples of different kinds of beverage. *Ann. Esc. Super. Agric. « Luiz de Queiroz », Univ. São Paulo*, 1974, **31**, 495-507 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 107637v.
22. S.I. BALBAA, S.M. ABDEL WAHAB, M.Y. HAGGAG. — Study of *Coffea arabica* cultivated in Egypt. *Bull. Fac. Pharm., Cairo Univ.*, 1973 (Publ. 1975), **12** (1), 83-89; *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 30658t.
23. A. CHARRIER, J. BERTHAUD. — Variation of the caffeine content of the *Coffea* genus. *Café Cacao Thé*, 1975, **19** (4), 251-264 (French).
24. R.C. PAYNE. — Disc-electrophoretic research of seed proteins from ten sub-specific taxa of cultivated *Coffea arabica* grown in Brazil. *Diss. Abstr. Int. B*, 1975, **35** (10), 4782; *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 40196p.
25. M.H.C. LOPES. — Chemical and technological characteristics of Mozambique *Racemosa* coffees. *Café Cacao Thé*, 1974, **18** (4), 263-276 (French).
26. J.B.C. CORREA, S. ODEBRECHT, J.D. FONTANA. — Polysaccharides from the epicarp and mesocarp of coffee beans. II. Fractionation and partial acid hydrolysis of water-soluble pectin. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 1974, **46** (2), 349-356 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 203760j.
27. J.B.C. CORREA, E.O. COELHO, J.D. FONTANA. — Polysaccharides from the epicarp and mesocarp of coffee beans. III. Structural features of pectic acid. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 1974, **46** (2), 357-360.
28. M.L.C. CARELLI, C.R. LOPES, L.C. MONACO. — Chlorogenic acid content of species of *Coffea* and selections of *Coffea arabica*. *Turrialba*, 1974, **24** (4), 398-401, *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 121633k.
29. M.Y. HAGGAG. — Lipid content of *Coffea arabica* seeds. *Pharmazie*, 1975, **30** (6), 409.
30. P. FOLSTAR, W. PILNIK, J.G. DE HEUS, H.C. VAN DER PLAS. — Composition of the fatty acids in coffee oil and coffee wax. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 1975, **8** (6), 286-288.
31. P. FOLSTAR. — Composition of wax and oil in green coffee beans. *Versl. Landbouwk. Onderz.*, 1976, 854, 65 pp.; *Chem. Abstr.*, 1977, **86**, 28574q.
32. P. FOLSTAR, H.C. VAN DER PLAS, W. PILNIK, J.G. DE HEUS. — Tocopherols in the unsaponifiable matter of coffee-bean oil. *J. Agric. Food Chem.*, 1977, **25** (2), 283-285.
33. N. VASUDEVA, N.H. GOPAL. — Studies on ascorbic acid in coffee plants. II. Distribution in ripe fruits and its relation with coffee quality. *J. Coffee Res.*, 1974, **4** (2), 25-28.
34. N.H. GOPAL, N. VASUDEVA. — Ascorbic acid in coffee plants. III. Distribution in pulp and pulp water of ripe fruits. *J. Coffee Res.*, 1974, **4** (4), 121-122.
35. L.A.B. FERREIRA, E.F. OLIVEIRA, H.D. VILLAR. — Contribution to the identification of coffee purity. *Garcia Orta, Ser. Estud. Agron.*, 1973 (1975), **1** (1), 35-40 (Portuguese); *Biol. Abstr.*, 1976, **61**, 31297.
36. H. STOCKER, H. WANNER. — Long-chain alkanes and alcohols from leaf waxes of different *Coffea* species. *Z. Naturforsch., Teil C: Biosci.*, **32C** (3-4), 288 (German); *Chem. Abstr.*, 1977, **86**, 185975p.
37. H. WANNER *et al.* — 0 (2), 1, 9-Trimethyluric acid and 1, 3, 7, 9-tetramethyluric acid in leaves of different *Coffea* species. *Phytochemistry*, 1975, **14** (3), 747-750.
38. M. HAMONNIÈRE. — Crystallised bitter principle isolated from *Coffea vianneyi* grains. *Café Cacao Thé*, 1974, **18** (4), 277-278 (French).
39. A. DUCRUIX, C. PASCARD-BILLY, M. HAMONNIÈRE, J. POISSON. — X-ray structure of mascaroside, a new bitter glycoside from coffee beans. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1975, (10), 396.
40. A. DUCRUIX, M. HAMONNIÈRE, C. PASCARD, J. POISSON. — Structure of mascaroside, a diterpenic heteroside from *Coffea vianneyi*. *Café Cacao Thé*, 1975, **19** (1), 57-58 (French).
41. H. OBERMANN, G. SPITELLER. — Structure of the « coffee atractylosides ». *Chem. Ber.*, 1976, **109** (10), 3450-3461 (German).

42. H. OBERMANN, G. SPITELLER. — 16, 17-Dihydroxy-9(11)-kauren-18-oic acid. Compound of roasted coffee. *Chem. Ber.*, 1975, **108** (4), 1093-1100 (German).
43. I. WAHLBERG, C.R. ENZELL, J.W. ROWE. — ent-16-Kauren-19-ol from coffee. *Phytochemistry*, 1975, **14** (7), 1677.
44. J. ARCILA-PULGARIN, G. VALENCIA-ARISTIZABAL. — Relation between polyphenol oxidase activity and quality of coffee beverage. *Cenicafé*, 1975, **26** (2), 55-71 (Spanish).
45. B. GRIFFIN, T. STONIER. — Auxin protectors and polyphenol oxidase in developing coffee fruit. *Physiol. Plant.*, 1975, **33** (2), 157-160.
46. J.C. OLIVEIRA, D.M. SILVA, H.V. AMORIM, A.A. TEIXEIRA. — Effect of the combination of crude coffee bean extracts with low and high polyphenol oxidase activity on 3,4-dihydroxyphenylalanine. *Científica*, 1975, **3** (2), 332-336 (Portuguese).
47. J.C. OLIVEIRA, H.V. AMORIM, D.M. SILVA, A.A. TEIXEIRA. — Polyphenol oxidase activity of four species of coffee beans during storage. *Científica*, 1976, **4** (2), 114-119 (Portuguese).
48. L. DOS SANTOS DRAETTA, D.C. DE LIMA. — Isolation and characterisation of coffee polyphenol oxidase. *Colet. Inst. Tecnol. Aliment.*, 1976, **7** (1), 13-28 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1977, **86**, 116524d.
49. H. CARCHON, C.K. DE BRUYNE. — Purification and preparation of coffee-bean α -D-galactosidase. *Carbohydr. Res.*, 1975, **41** (4), 175-189.
50. O.P. MALHOTRA, H. SINGH. — Enzymic hydrolysis of α -galactosides. *Indian J. Biochem. Biophys.*, 1976, **13** (3), 208-212.
51. O.P. MALHOTRA, H. SINGH. — Effect of kinetic parameters and inhibitors on α -galactosidase of coffee beans. *Indian J. Biochem. Biophys.*, 1976, **13** (4), 316-320.
52. J. BIASI, P.A. PEDROSO, I.B. AGUIAR, A.A. CASAGRANDE, D.S. CORDIERO, R.A. SANTOS. — Determination of the nitrate reductase activity as an index of nitrogen deficiency in coffee seedlings (*Coffea arabica* L., cv. *Mundo novo*). *Científica*, 1976, **4** (1), 14-17 (Portuguese).
53. J.M. CASTELEN, W. PILNIK. — Properties of the pectin lyase produced by *Erwinia dissolvens*, a coffee fermenting organism. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 1976, **9** (5), 277-283.
54. Diethyl (2-isopropyl-4-methyl-6-pyrimidinyl) phosphorothioate. Tolerance for residues. *Fed. Regist.*, 11 Jul. 1974, **39** (134), 25487-8.
55. Carbofuran. Tolerance for residues. *Fed. Regist.*, 27 Mar. 1975, **40** (60), 13500-1.
56. G.H. VENKATARAMAIAH, M.B.D. SINGH. — Carbofuran residue in coffee bean. *J. Coffee Res.*, 1976, **6** (2), 40-46.
57. C. RIBAS, P. PIGATI, P.R. DE ALMEIDA. — Residues of dieldrin and endosulfan in coffee. *Biológico*, 1974, **40** (4), 120-122 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 56155q.
58. A. BLUMENTHAL, M. CERNY. — Organochlorine pesticide residues in tea and coffee. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, 1976, **67** (4), 515-520 (German).
59. GYORGYNE, HALMAI. — Study of quality of raw and roasted coffee beans. *Edesipar*, 1976, **27** (2), 53-57 (Hungarian).
60. J.L. MULTON, B. CAHAGNIER, M. BAREL, J. POISSON, D. HAHN, A. CORTE DOS SANTOS. — Development of various characteristics of a *Coffea arabica* during experimental storage at five different relative humidities and four different temperatures. *Rep. Inst. Café, Angola*, 1973, 20 pp. (French).
61. T. Ya. SOLOV'eva. — Study of moist coffee. *Sb. Tr. Leningr. Inst. Sov. Torg.*, 1976, (56), 99-100 (Russian).
62. J. POKORNY, NGUYEN-HUY CON, E. SMIDRKA-LOVA, G. JANICEK. — Non-enzymic browning. XII. Maillard reaction in green coffee beans on storage. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1975, **158** (2), 87-92.
63. M.C. GOUGH. — Simple technique for the determination of equilibrium humidity in particulate foods. *J. Stored Prod. Res.*, 1975, **11** (314), 161-166.
64. B. MURILLO, M. T. CABEZAS, R. BRESSANI. — Coffee pulp and hull. X. Changes in the chemical composition of coffee hulls as effects of different alkaline treatments. *Turrialba*, 1975, **25** (2), 179-182 (Spanish).
65. B. MURILLO, L. DAQUI, M.T. CABEZAS, R. BRESSANI. — Coffee pulp and hull. XI. Chemical composition of ensilaged pulp alone with Napier grass and maize fodder. — *Arch. Latinoam. Nutr.*, 1976, **26** (1), 33-45.
66. U.J. RUBIO, M.J. PINEDA. — Chemical composition and *in vitro* digestibility of coffee pulp. *Rev. Inst. Colomb. Agropecu.*, 1974, **9** (4), 489-498 (Spanish); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 19391e.
67. R. BRESSANI, M.T. CABEZAS, R. JARQUIN, B. MURILLO. — Use of coffee processing waste as animal feed. — *Proc. Conf. Anim. Feeds Trop. Subtrop. Origin*, 1974 (Pub. 1975), 107-117; *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 72848q.
68. G.S. RAO. — Pectins as potential by-products of coffee waste. *J. Coffee Res.*, 1975, **5** (1-2), 29-35.
69. F. AGUIRRE, O. MALDONADO, C. ROLZ, J.F. MENCHU, R. ESPINOSA, S. DE CABERA. — Protein from waste. Growing fungi on coffee waste. *CHEMTECH.*, 1976, **6** (10), 636-642; *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 19092v.
70. O. MALDONADO, L. CORDERO, H. MAYORGA, R. ESPINOSA, J.F. MENCHU, S. SCHNEIDER, C. ROLZ, B. CHURCH. — Growth of *Aspergillus oryzae* on coffee benefaction waste-waters. *Rev. Microbiol.*, 1975, **6** (2), 27-34 (Spanish); *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 72624p.
71. I.S. GUPTA, M. SINGH, P. SINGH, K. SINGH. — Urethane coatings from glycerinated rice-bran oil and coffee-meal oil. *Res. Ind.*, 1976, **20** (2), 63-65; *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 22829j.

Roasting and roasted coffee

- E. MOHR. — Development in the sphere of roasted coffee and coffee extract. *Mitt. Lebensmittelchem. Ger. Chem.*, 1975, **29** (7), 233-235 (German).
73. R.J. CLARKE. — Food engineering and coffee. *Chem. Ind. (London)*, 1976, 362-365.
74. M.N. CLIFFORD. — Composition of green and roasted coffee beans. *Process Biochem.*, 1975, **10** (2), 20-23; 1975, **10** (4), 13-16.
75. M. QUIJANO-RICO, R.E. BAUTISTA, B.F. CHAPARRO, G.V. ZAMUDIO, P.A. ORTIZ, J. VON HELDEN. — Combined technique for the study of thermal effects on coffee beans by mass spectrometry using selective ion monitoring. *Adv. Mass Spectrom. Biochem. Med.*, 1977, **2**, 207-214.
76. L. GOLDONI, V. JOVIC, I. MILOSTIC. — Some changes during the roasting of coffee. *Prehrambeno-Tehno. Rev.*, 1974, **12** (3-4), 31-34 (Croat.); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 191018z.

77. T. NAKABAYASHI, S. MANO. — Chemical methods for the quality of coffee. III. Qualitative changes of chlorogenic acids in the course of roast. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkai-shi*, 1975, **22** (11), 549-553.
78. M. ASANTE, H. THALER. — Investigations on coffee and coffee substitutes. XVII. Behaviour of polysaccharide complexes of *Robusta* coffee during roasting. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1975, **159** (2), 93-96 (German).
79. V. ARA, H. THALER. — Studies on coffee and coffee substitutes. XVIII. Dependence of the quality and composition of a high-polymer galactomannan on the coffee species and the degree of roasting. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1976, **161** (2), 143-150 (German).
80. T. NAKABAYASHI. — Chemical studies of the quality of coffee. I. Production and change of brown pigment by roast. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkai-shi*, 1975, **22** (10), 507-512 (Japanese).
81. H. JUGEL, H. WIESER, H.D. BELITZ. — Occurrence of bitter taste after roasting of proteins. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1976, **161** (3), 267-269 (German).
82. L. GALLAZ, R. STALDER. — Ochratoxin in coffee. *Chem., Mikrobiol., Technol. Lebensm.*, 1976, **4** (5), 147-149 (German).
83. G.M. SHANNON, O.L. SHOTWELL. — Quantitative method for determination of aflatoxin B₁ in roasted maize. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1975, **58** (4), 743-745.
84. T. Ya. SOLOV'EVA, V.N. SIMONOVA. — Influence of method of roasting on the quality of different kinds of coffee. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Pishch. Tekhnol.*, 1976, (5), 165-166 (Russian).
85. S.N. DESHPANDE, A.A. AGUILAR. — Effects of roasting temperature and gamma irradiation on the content of chlorogenic acid, caffeic acid and soluble carbohydrates of coffee. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 1975, **26** (11), 656-661.
86. P. RIVALS, A.H. MANSOUR. — Cardamoms: their introduction and employment for the aromatisation of coffee in the Arab lands of the Near East. *J. Agric. Trop. Bot. Appl.*, 1974, **21** (1-3), 37-43.
87. Y.M. HASSAN, S. EL-HINDAWY, S. BASSIONY, M.A. ABD ALLA. — *Cassia occidentalis* as coffee substitute in Egypt. *Egypt J. Hort.*, 1974, **1** (2), 137-142; *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 169012j.
88. P.K. BOSE, T.K. CHATTERJEE, S.P. DAS, B.R. ROY. — Detection of cashew nut shells admixed in tea, coffee and chicory. *J. Indian Acad. Forensic Sci.*, 1976, **15** (2), 42-44; *Chem. Abstr.*, 1977, **86**, 184037x.

Aroma

89. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — Steam-volatile aroma constituents of roasted coffee. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1976, **160**, 277-291; (German).
90. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — Cycloalkylpyrazines in coffee aroma. *J. Agric. Food Chem.*, 1975, **23**, 510-516.
91. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — Volatile constituents of roasted coffee. *Ann. Falsif. Expert. Chim.*, 1976, **69** (746), 725-735 (French).
92. B.V. ARTEM'EV, N.E. ARKHIPTSEV. — Capillary gas chromatography of volatile substances from foods. Analysis of the gas phase of natural roasted coffee. *Tovarov. Pishch. Produktov*, 1974, (3), 63-72 (Russian); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 56832d.
93. A. CARBALLIDO, ESTEVEZ, L. VILLANUA, M.T. VALDEHITA DE VICENTE, M.A. ROBISCO. — Quantitative determination of pyrazines in food. *An. Bromatol.*, 1974, **26** (4), 391-419 (Spanish).
94. I.B. FIGUEREREDO. — Quantitative variations of acetaldehyde in ground coffee after different times of roasting at 220°. *Colet. Inst. Tecnol. Aliment.*, 1975, **6** (2), 361-377 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 122040p.
95. A. LATIF, A.G. SALIB. — Odour and constitution of some natural productions, odour of roasted coffee beans. I. Chemical nature, functional groups and odour precursors. *Alexandria J. Agric. Res.*, 1975, **23** (1), 113-120; *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 178482f.
96. A. LATIF, A.G. SALIB. — II. Lactones separated from coffee odour constituents. *Alexandria J. Agric. Res.*, 1975, **23** (1), 121-130; *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 178483g.
97. H.R. MOSKOWITZ. — Towards a resolution of dual approaches in flavour analysis. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 1975, **8** (5), 237-242.
98. M. ROTHE. — Aroma values — a useful concept? *Nahrung*, 1976, **20** (3), 259-266.
99. ANON. — Flavour of tea — comparison with coffee. *Br. Food J.*, 1977, **79** (876), 6-8.
100. Y. NAOSHIMA, M. YAMAGUCHI, I. ICHIMOTO, H. UEDA. — Synthesis of cyclotene and its related compounds by the acyloin condensation. *Agric. Biol. Chem.*, 1974, **38** (11), 2273-2274.
101. K. SATO, S. INOUE, M. OHASHI. — New synthesis of 3-alkyl-2-hydroxy-2-cyclohexen-1-ones. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 1974, **47** (10), 2519-2522; *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 124848v.

Coffee beverage

103. S. LUECKE-DAVID. — Cantata of beloved coffee. *ZEITmagazin*, 1977, Feb. (10/25), 36, 37, 40, 42.
104. R.A. BRADLEY, B.A. EL-HELBAWY. — Treatment contrasts in paired comparisons: Basic procedures with application to factorials. *Biometrika*, 1976, **63** (2), 255-262.
105. H. EYER. — Softening of water for tea and coffee or similar tannin-containing hot beverages. — *Ernaehr.-Umsch.*, 1975, **22** (6), 167-169 (German).
106. I.N. VOL'PER, T. Ya. SOLOV'EVA. — Caffeine content of coffee products. *Lebensm. Ind.*, 1976, **23** (6), 257-258 (German).
107. R.M. GILBERT, J.A. MARSHAM, M. SCHWEIDER, R. BERG. — Caffeine content of beverages as consumed. *Can. Med. Assoc. J.*, 1976, **114** (3), 205-208.
108. M. MIRONESCU. — Implications of the consumption of some alkaloids. *Rev. Fiz. Chim., Ser. A.*, 1974, **11** (6), 218-225 (Romanian); *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 84684e.
109. D.H. BAKER, J.T. YEN, A.H. JENSEN, R.G. TEE-TER, E.N. MICHEL, J.H. BURNS. — Niacin activity in niacinamide and coffee. *Nutr. Rep. Int.*, 1976, **14** (1), 115-120.
110. P.B. DISLER, S.R. LYNCH, R.W. CHARLTON, T.H. BOTHWELL, R.B. WALKER, F. MAYET. — Studies on the fortification of cane sugar with iron and ascorbic acid. *Br. J. Nutr.*, 1975, **34** (1), 141-152.
111. H.G. MAIER, B. SANDER. — Influence of food components on the precipitation of casein by acid. *Chem. Mikrobiol., Technol. Lebensm.*, 1975, **3** (6), 164-168 (German); *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 169079m.

112. T. STENSTROM, M. VAHTER. — Cadmium and lead in brewed coffee. *Var Foeda*, 1975, **27** (3), 150-156 (Swedish).
113. D. GEGIOU, M. BOTSIVALI. — Atomic-absorption spectrophotometric determination of lead in beverages and fruit juices, and of lead extracted by their action on glazed ceramic surfaces. *Analyst (London)*, 1975, **100**, 234-237.
114. I. BECKMAN, H. GUTHENBERG. — Lead content in foods stored in earthenware. *Var Foeda*, 1974, **26** (9-10), 242-247 (Swedish).
115. A. PECOUD, P. DNZEL, J.L. SCHELLING. — Effect of foods on the absorption of zinc sulphate. *Clin. Pharmacol. Ther.*, 1975, **17** (4), 469-474.
116. L.T. KOZLOWSKI. — Effect of caffeine on coffee drinking. *Nature (London)*, 1976, **264** (5584), 354-355.
117. R.M. GILBERT. — Caffeine as a drug of abuse. *Res. Adv. Alcohol Drug Probl.*, 1976, **3**, 49-176.
118. H.L. ABRAMS Jr. — Caffeine, a paradigm of subliminal cultural drug habituation. *J. Appl. Nutr.*, 1976, **28** (2-3), 33-40.
119. T. NIEDERAUER. — Caffeine and health. *Riechst., Aromen, Kosmet.*, 1977, **27** (2), 44-45 (German).
120. Caffeine in the «sundown syndrome». *J. Gerontol.*, 1976, **31** (4), 419-420.
121. J. ATKINSON, M. ENSLEN. — Self-administration of caffeine by the rat. *Arzneim.-Forsch.*, 1976, **26** (11), 2059-2061.
122. H. KUENKEL. — EEG spectral analysis of coffee effects. *Arzneim.-Forsch.*, 1976, **26** (3), 462-465 (German).
123. M. ASTIER-DUMAS, H. GOUNELLE DE PONTANEL. — Nutritive effects of coffee. *Arch. Sci. Med.*, 1974, **131** (1), 18-23 (French).
124. M.J. HALL, L.M. BARTOSHUK, W.S. CAIN, J.C. STEVENS. — Phenylthiourea taste-blindness and the taste of caffeine. *Nature (London)*, 1975, **253** (5491), 442-443.
125. R.P. WÜRZNER, E. LINDSTROM, L. VUATAZ, H. LUGINBUEHL. — Two-year feeding study of instant coffee in rats. I. Body weight, food consumption, haematological parameters and plasma chemistry. *Food Cosmet. Toxicol.*, 1977, **15** (1), 7-16.
126. O.B.S. DE MUCKADELL, F. GYNTELBERG. — Occurrence of gout in Copenhagen males aged 40-59. *Int. J. Epidemiol.*, 1976, **5** (2), 153-158.
127. J.E. ENSTROM. — Cancer mortality among Mormans. *Cancer (Philadelphia)*, 1975, **36** (3), 825-841.
128. G.N. SCHRANZER. — Cancer mortality correlation studies. II. Regional association of mortalities with the consumption of foods and other commodities. *Med. Hypothesis*, 1976, **2** (2), 39-45.
129. *Fed. Regist.*, 1977, **42** (63), 17526-9. Safety of certain food ingredients.

Instant coffee powder

130. A. WOOLLEN. — Making and packaging instant beverages. *Food Ind. S. Afr.*, 1976, (April), 16-17.
131. E.T. DMITRIEVA, F.G. NAKHMEDOV, R.N. KHU-DOMINSKAYA, G.V. KNYAZEVA. — Dry substance balance in the manufacture of soluble coffee. *Konservn. Ovoshchesush. Prom-st.*, 1976, (6), 15-16. (Russian).
132. F. GEERDS. — The need for establishing a modified extraction limit in the manufacture of coffee extract. *Dtsch. Lebensm.-Rundsch.*, 1976, **72** (2), 54-60 (German).
133. E. ANGELUCCI, *et al.* — Chemical and sensory evaluation of the main Brazilian instant coffees. *Colet. Inst. Tecnol., Aliment.*, 1973 (Pub. 1974), **5**, 281-304 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 130225b.
134. A.J. COLOMBO, E. AQUARONE, R. BARUFFALDI. — Influence of the conditions of freeze-drying coffee processing on volatile components and organoleptic characteristics of soluble coffee. *Revta Bras. Technol.*, 1975, **6** (1), 17-25 (Portuguese).
135. A.J. COLOMBO, E. AQUARONE, R. BARUFFALDI. — Effect of moisture on the pH of freeze-dried coffee. *Rev. Farm. Bioquim. Univ. São Paulo*, 1974, **12** (1), 63-73 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 95089m.
136. M. ASANTE, H. THALER. — Investigation on coffee and coffee substitutes. XVI. Polysaccharides in extracts of a Robusta coffee. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 1975, **4** (4), 110-116 (German).
137. V. ARA, H. THALER. — Studies on coffee and coffee substitutes. XIX. Dependence of the quantity of a highly polymerised galactomannan on the degree of extraction of coffee extracts. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1977, **164** (1), 8-10 (German).
138. I.N. VOL'PER, T.Ya. SOLOV'EVA, T.N. IL'ENKO-PETROVSKAYA, E.N. LAZAREV. — Wastes from the production of instant coffee. *Konserv. Ovoshchesush. Prom-st.*, 1975, (9), 36-37 (Russian); *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 184472n.
139. T.F. BALOGUN, B.A. KOCH. — Coffee grounds replacing sorghum grains in pig rations. *Trop. Agric.*, 1975, **52** (3), 243-250.
140. T.W. CAMPBELL, E.E. BARTLEY, R.M. BECHTLE, A.D. DAYTON. — Effect of coffee grounds on ration digestibility and diuresis in cattle, or *in vitro* rumen fermentation and on rat growth. *J. Dairy Sci.*, 1976, **59** (8), 1452-1460.
141. M. McNIVEN, P. FLIPOT, J.D. SUMMERS, C.S. LEESON. — Feeding value of spent coffee grounds for ruminants. *Nutr. Rep. Int.*, 1977, **15** (1), 99-103.
142. V. SCHATZ, A. SCHATZ. — How to make a culture of nematodes. *Miss. Nac. Hist. Not. Mens. (Santiago)*, 1974, **17** (200), 7-8 (Spanish); *Biol. Abstr.*, 1975, **60**, 20914.

Analysis

143. H. 149. H. KWASNY. — Experience in the performance of an international ring-test : determination of caffeine in caffeine-containing and caffeine-free coffee by the Levine method. *Mitt. Lebensmittelchem. Ger. Chem.*, 1975, **29** (7), 233 (German).
144. H.V. AMORIM, J.G. CORTEZ. — Methods of organic analysis of coffee. II. Comparison of methods of caffeine determination in green coffee. *An. Esc. Super. Agric. «Luiz de Queiroz», Univ. São Paulo*, 1973, **30**, 317-320 (Portuguese); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 112457z.
145. I.N. VOL'NER, T.Ya. SOLOV'EVA. — Caffeine content of coffee products. *Vopr. Pitan.*, 1975, (3), 77-78 (Russian); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 77097h.
146. O. SOMORIN. — Spectrophotometric determination of caffeine in Nigerian kola nuts. *J. Food Sci.*, 1974, **38** (5), 911-912.
147. O. SOMORIN. — Spectrophotometric determination of theobromine in *T. cacao*, *C. acuminata* and *C. arabica*. *J. Food Sci.*, 1976, **41** (2), 458-460.

148. N.R. STRAHL, H. LEWIS, R. FARGEN. — Comparison of gas-chromatographic and spectrophotometric methods for caffeine in coffees and teas. *J. Agric. Food Chem.*, 1977, **25** (2), 233-235.
149. Y. ONO, S. SATO, S. TANAKA. — Direct determination of caffeine in crude caffeine by gas chromatography. *Bunseki Kagaku*, 1976, **25** (5), 323-327 (Japanese).
150. S. EBEL, G. HEROLD. — Evaluation of thin-layer chromatograms with internal standards. III. Dual-wavelength determination using zig-zag scans. *Arch. Pharm. (Weinheim, Ger.)*, 1976, **309** (8), 660-663 (German).
151. E. STAHL, W. SCHILZ. — Extraction with supercritical gases in coupling with thin-layer chromatography. I. Instrumentation, operation and applications. *Fresenius' Z. Anal. Chem.*, 1976, **280** (2), 99-104.
152. M.A.F. JALAL, H.A. COLLIN. — Estimation of caffeine, theophylline and theobromine in plant material. *New Phytol.*, 1976, **76** (2), 277-281.
153. A.G. TCHETCHE, J.A. BRAU. — Determination of caffeine in *Coffea canephora* var. *Robusta* by thin-layer chromatography. *Ann. Univ., Abidjan, Ser. C*, 1972, **8** (2), 163-169 (French); *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 132139w.
154. T.H. JUPILLE. — Programmed multiple development: high-performance thin-layer chromatography. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1977, **54** (4), 179-182.
155. E.O. MURGIA. — Liquid chromatography of xanthines, analgesic drugs and coffee. *Diss. Abstr. Int., B*, 1976, **36** (8), 3911-3912; *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 147071s.
156. V. QUERCIA, B.T. BUCCI, A.R. LA TEGOLA. — Application of liquid-liquid chromatography to research in the determination of small quantities of alkaloids and xanthine derivatives. *Fitoterapia*, 1975, **46** (1), 3-8 (French).
157. S. POKORNY, J. COUPEK, PHAN-TRONG TAI, J. POKORNY. — Determination of caffeine by gel chromatography. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1975, **159** (1), 43-46 (German).
158. R. BATTAGLIA. — High-pressure liquid chromatography in food analysis. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, 1977, **68** (1), 28-35 (German).
159. B.L. MADISON, W.J. KOZAREK, C.P. DAMO. — High-pressure liquid chromatography of caffeine in coffee. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1976, **59** (6), 1258-1261.
160. W. WILDANGER. — Separation of caffeine, theophylline and theobromine using high-pressure liquid chromatography. *J. Chromatogr.*, 1975, **114** (2), 480-482 (German).
161. W. WILDANGER. — Determination of caffeine, theophylline, and theobromine by means of high-pressure liquid chromatography. *Dtsch. Lebensm.-Rundsch.*, 1976, **72** (5), 160-161 (German).
162. M. ATTINA, G. CIRANNI. — Rapid determination of caffeine in coffee and decaffeinated coffee by high-pressure liquid chromatography. *Farmaco, Ed. Prat.*, 1976, **31** (12), 650-656 (Italian).
163. E. STANISLAS, I. FOURASTE. — Determination of caffeine in pharmaceutical raw material. *J. Pharm. Belg.*, 1976, **31** (6), 599-606 (French).
164. M.R. STEVENS. — Gas-liquid chromatographic analysis of caffeine and codeine phosphate in pharmaceutical preparations. *J. Pharm. Sci.*, 1975, **64** (10), 1686-1687.
165. P. DEPOVERE, M. PIRAUX, T. ADZET. — Selective characterisation of methylxanthines theophylline, theobromine and caffeine. *Cir. Farm.*, 1975, **33** (249), 623-624 (Spanish); *Chem. Abstr.*, 1976, **84**, 155730w.
166. G. RUICK, M. SCHMIDT. — Caffeine determination in alcohol-free drinks. *Lebensm.-Ind.*, 1976, **23** (3), 131-132 (German).
167. A. ITO, N. SEKIYAMA, H. ISHII, Y. KIMURA. — Detection and determination of caffeine in soft drinks. *Tokyo Toritsu Eisei Kenkyusho Kenkyo Nempo*, 1974, **25**, 265-270 (Japanese); *Chem. Abstr.*, 1975, **82**, 153881f.
168. P. SENGUPTA, A. MONDAL, A.R. SEN, B.R. ROY. — Quantitative determination of caffeine in cola-type drinks by thin-layer chromatography and densitometry. *Int. Flavours Food Addit.*, 1975, **6** (6), 340.
169. F. BANDION. — Measurement of caffeine and quinine in beverages. *Mitt. Hoheren Bundeslehr-Versuchsanst. Wein-Obstbau, Klosterneuberg*, 1975, **25** (2), 107-114 (German).
170. C.G. FRISCHKORN, H.E. FRISCHKORN. — Determination of caffeine in soft drinks and caffeine-containing food preparations. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1975, **158** (5), 295-299 (German).
171. D.S. SMYLY, B.B. WOODWARD, E.C. CONRAD. — Determination of saccharin, sodium benzoate and caffeine in beverages. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1976, **59** (1), 14-19.
172. L.J. BJELICA, V.S. VAJGAND, D.L. VELIMIROVIC. — Coulometric biamperometric titration of bases and their mixtures in acetic anhydride in the presence of two pretreated metal (gold, palladium)-quinhydrone electrodes. *Microchim. Acta*, 1976, **2** (3-4), 241-246.
173. C.E. COOKE. — Caffeine in plasma and saliva by radioimmunoassay procedure. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 1976, **199** (3), 679-686.
174. K. KIGASAWA, K. OHKUBO, T. KOHAGISAWA, H. SHIMIZU, S. SAITOH, T. KAMETANI. — Colour reaction of caffeine by hypochlorous acid - pyridine method. *Yakugaku Zasshi*, 1977, **97** (1), 18-23 (Japan).
175. H. HADORN, K. ZUERCHER. — The separating funnel: an imperfect apparatus in analytical work. *Gordian*, 1973, **73** (5), 198-204.
176. L.S. ROZANOV. — Study of caffeine extraction from aqueous solutions with dichloromethane using column extractor with vibrating-plate packing. *Sb. Tr. Vses. Nauchno-Issled. Khim.-Farm. Inst.*, 1974, (4), 136-143 (Russian); *Chem. Abstr.*, 1976, **85**, 10402b.
177. B.D. PAGE, C.F. CHARBONNEAU. — Gas-chromatographic determination of residual dichloromethane and trichloroethylene in decaffeinated instant coffee and ground coffee with electrolytic-conductivity and electron-capture detection. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1977, **60** (3), 710-715.
178. K.L. BAJAJ, M.S. BHATIA. — Structure-specific reagents for the detection of phenolic compounds. *J. Chromatogr.*, **117** (2), 445-448.
179. E. POLIDORI, G. MONTEDERO, P. FANTOZZI. — Determination of tannins in some alcoholic and non-alcoholic beverages. *Sci. Tecnol. Alimenti*, 1974, **4** (3), 157-160 (Italian).
180. S.M. MINASYAN, G.A. KHODZHUMAYAN. — Rapid method for determining chlorogenic acid. *Izv. S-kh. Nauk*, 1976, **19** (12), 31-34 (Armenian); *Chem. Abstr.*, 1977, **86**, 152250v.
181. W. MEISSNER, H. PODKOWINSKA, A. WALKOWSKI. — Determination of chlorogenic acid in green coffee. *Zesz. Nauk.-Akad. Ekon. Poznaniu, Ser. 1*, 1974, **58**, 71-76 (Polish); *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 56812x.
182. H.V. AMORIM, M.A. GUERCIO, J.G. CORTEZ, E. MALAVOLTA. — Methods of organic analysis of coffee.

I. Comparison of methods of chlorogenic acid determination. *An. Esc. Super. Agric.*, « Luiz de Queiroz », Univ. São Paulo, 1973, **30**, 281-289 (Portuguese); *chem. Abstr.*, 1975, **83**, 112456y.

183. T. NAKABAYASHI, S. MANO. — Chemical studies of the quality of coffee. II. New method for the determination of chlorogenic acids. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkai-shi*, 1975, **22** (11), 545-548 (Japanese); *Anal. Abstr.*, 1977, **32**, 3F26.

184. M.N. CLIFFORD, J. WIGHT. — Measurement of feruloylquinic acids and caffeoylquinic acid in coffee beans. Development of the technique and its preliminary application to green coffee beans. *J. Sci. Food Agric.*, 1976, **27**, 73-84.

185. M. HANEFELD. — Quantitative determination of caffeic acid ester by direct evaluation on thin-layer chromatograms. *Mitt. Lebensmittelchem. Ger. Chem.*, 1975, **29** (7), 235-236 (German).

186. H.D. VILAR, L.A.B. FERREIRA. — Chlorogenic acid in coffee. Contribution of chlorogenic acid for the estimation of coffee contents in instant coffee containing substitutes. *Garcia de Orta, Ser. Estud. Agron.*, 1973 (1975), **1** (1), 41-48 (Portuguese); *Biol. Abstr.*, 1976, **61**, 31298.

187. P. KUMMER, E. BUERGIN. — Quantitative determination of 5-hydroxytryptamides of carboxylic acids in coffee. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, 1976, **67** (2), 212-225 (German).

188. O. CULMSEE. — Method for the determination of 5-hydroxytryptamides of carboxylic acids in coffee. *Dtsch. Lebensm.-Rundsch.*, 1975, **71** (12), 425-427 (German).

189. H.R. HUNZIKER, A. MIZEREZ. — Determination of 5-hydroxytryptamides in coffee by high-pressure liquid chromatography. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, 1977, **68**, 267 (German).

190. C.P. LEVI. — Collaborative study of a method for the determination of ochratoxin A in green coffee. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1975, **58** (2), 258-262.

191. O. AALUND, K. BRUNFELDT, B. HALD, P. KROGH, K. POULSEN. — Radioimmunoassay for ochratoxin A. Preliminary investigation. *Acta Pathol. Microbiol. Scand., Sec. C*, 1975, **83C**, (5), 390-392; *Chem. Abstr.*, 1975, **83**, 160277n.

192. M. CZECHOWSKA, T. GOLOBIOWSKI, W. PIECZONKA, A. SOLARY. — Use of refractometric and conductimetric methods for the determination of extract in coffee decoctions. *Lebensm. Ind.*, 1976, **23** (6), 258-260 (German).

193. J. PROMAYON, H. BAREL, G. FOURNY, J.-C. VINCENT. — Determination of the chicory content of soluble mixtures of coffee and chicory. *Café Cacao Thé*, 1976, **20** (3), 209-218 (French).

194. A. CARBALLIDO, R. GARCIA OLMEDA, M.P. SOUSA DEL ARCO. — Application of infra-red spectrometry in the analysis of foods. *An. Bromatol.*, 1974, (1975), **26** (4), 293-336 (Spanish).

195. P. FOLSTAR, W. PILNIK, J.G. DE HEUS, H.C. VAN DER PLAS. — Analysis of oil in green coffee beans. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, 1975, **66**, 502-506.

Patents

P 1. S. GAL, E. JENNY. — Extraction of irritating substances from crude coffee. *Swiss* 568,719 (14.11.1975).

P 2. E. MOHR, A. SEILER. — Isolation of natural antioxidants. *Ger. Offen.*, 2,426,259 (4.12.1975).

P 3. Coffein Co. Erich SCHEELE — Method of extracting waxy material containing carboxylic acid 5-hydroxytryptamides from raw coffee beans. *Dutch* 148,488 (15.07.1976).

P 4. G.H.D. VAN DER STEGEN. — Treatment of green coffee beans. *Ger. Offen.* 2,618,545 (18.11.1976).

P 5. P. HIRSBRUNNER, E. BRAMBILLA. — Separation of serotonin from coffee wax. *Ger. Offen.*, 2,532,308 (02.12.1976).

P 6. E. BUERGIN. — Lowering the carboxylic acid 5-hydroxytryptamide content of unroasted coffee beans. *Ger. Offen.* 2,429,233 (23.01.1975).

P 7. E. MOHR, A. SEILER. — Removal of outer layers harmful to health from kernels serving as food. *Ger. Offen.* 2,455,591 (26.05.1976).

P 8 Coffex A.G. — Reduction of the content of 5-hydroxytryptamides in coffee beans. *Swiss* 579,876 (30.09.1976).

P 9. H.P. PANZER, R.S. YARE, M.R. FORBER. — Green (coffee) bean decaffeination employing fluorinated hydrocarbons. *U.S.* 3,769,033 (30.10.1973).

P 10. H. DALLINGA. — Decaffeination of coffee. *Ger. Offen.* 2,450,978 (29.04.1976).

P 11. G.V. JONES, J.F. COOGAN. — III - Removing caffeine from coffee. *Ger. Offen.* 2,641,146 (31.03.1977).

P 12. F.A. PAGLIARO, J.G. FRANKLIN, R.J. GASSER. — Decaffeination of coffee and tea. *Ger. Offen.* 2,548,916 (12.08.1976).

P 13. O. VITZTHUM, P. HUBERT, W. SIRTIL. — Decaffeination of crude coffee. *Ger. Offen.* 2,357,590 (28.05.1975).

P 14. G.H.D. VAN DER STEGEN, H.D. GERRIT. — Removal of caffeine from coffee. *Ger. Offen.* 2,638,383 (03.03.1977).

P 15. G. MARGOLIS, D.F. RUSHMORE, R.T.S. LUI. — Decaffeination process. *Ger. Offen.* 2,600,492 (15.07.1976).

P 16. Z. PAZOLA, Z. PORDAB, A. SWIERCZYNSKI, J. MICHALUK, J. SZUMALA. — Wheat-based powdered extract as a coffee substitute. *Fr. Demande* 2,117,895 (01.09.1972).

P 17. R.A. WORKMAN. — Coffee substitute. *U.S.* 3,966,995 (29.06.1976).

P 18. General Foods Corp. — Low quality coffee with added polypeptide. *Fr.* 2,275,159 (16.01.1976).

P 19. M. WINTER, F. GAUTSCHI, I. FLAMENT, M. STOLL, I.M. GOLDMAN. — Flavouring agent. *U.S.* 3,924,015 (02.12.1975).

P 20. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,943,260 (09.03.1976).

P 21. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,947,603 (30.03.1976).

P 22. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,949,100 (06.04.1976).

P 23. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,961,095 (01.06.1976).

P 24. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,950,566 (13.07.1976).

P 25. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,922,366 (25.11.1975).

P 26. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,978,241 (31.08.1976).

P 27. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 4,005,227 (25.01.1977).

- P 28. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,917,872 (04.11.1975).
- P 29. WINTER *et al.* — Flavouring agents from pyrrole sulphur compounds. *U.S.* 3,985,906 (12.10.1976).
- P 30. WINTER *et al.* — Thiophene-containing sulphide flavouring agents. *U.S.* 3,976,802 (24.08.1976).
- P 31. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 4,000,328 (28.12.1976).
- P 32. WINTER *et al.* — Flavouring agent. *U.S.* 3,968,264 (06.07.1976).
- P 33. P. DIETRICH, A.F. THOMAS, W.P. CLINTON, T.H. PARLIMENT. — Flavour composition based on 2,5,5-trimethylhepta-2,6-dienal and its acetals. *U.S.* 3,922,310 (25.11.1975).
- P 34. J.P. MAHLMANN. — Aromatising coffee. *U.S.* 3,873,746 (25.03.1975).
- P 35. T.H. PARLIMENT, W.P. CLINTON, R. SCARPELLINO, R.J. SOUKUP, M.F. EPSTEIN. — Enhancement of coffee flavour. *U.S.* 3,962,321 (08.06.1976).
- P 36. F.A. WINTER, D.E. DWYER. — Aromatisation of soluble, dried coffee extract. *Ger. Offen.* 2,345,525 (16.01.1975).
- P 37. D.T. SIEDLECKI, J. MEINHOLD, S.N. KATZ, J.P. MAHLMANN. — Coffee aroma material. *Ger. Offen.* 2,521,318 (20.05.1974).
- P 38. T. KUNG JO-FEN, W.P. CLINTON, R.J. SOUKUP. — Stabilising coffee grinder gas aroma. *U.S.* 4,008,340 (15.02.1977).
- P 39. R.G.K. STROBEL. — Process for producing a stable concentrated flavourful aromatic product. *Brit.* 1,424,263 (11.02.1976).
- P 40. P. CAZENAVE. — Isolation of an aroma fraction from coffee. *Belg.* 834,164 (05.04.1976).
- P 41. Art Coffee Co., Ltd. — Carbonated coffee beverage. *Fr. Demande* 2,244,405 (18.04.1975).
- P 42. LEE, CHI-HANG, R.J. SCARPELLINO, M.M. MURTAGH. — Sweetness inducer. *U.S. Publ. Pat. Appl. B.* 332,527.
- P 43. H.H. FRIEDMAN. — Molecular fractionation by pulsed centrifugation. *Can.* 979,817 (16.12.1975).
- P 44. G.W. SANDERSON, P.C. SIMONS, P. COGGON. — Instant coffee. *Ger. Offen.* 2,425,592 (19.12.1974).
- P 45. S.N. KATZ, D.E. DWYER jun. — Process for freezing coffee extract. *U.S.* 3,966,979 (29.06.1976).
- P 46. S.N. KATZ, D.E. DWYER, L.L. FORNOFF. — Instant coffee. *Ger. Offen.* 2,422,178 (28.11.1974).
- P 47. S.L. KLUG, F.J. PATRIZIO, W.J. EINSTMAN. — Iron-fortified soluble coffee. *U.S. Publ. Pat. Appl. B.* 333,838 (23.03.1976).
- P 48. H. OKAMOTO, S. WATANABE. — Carbonising and activating coffee sludge to yield active carbon. *Japan. Kokai*, 76 17,198 (10.02.1976).
- P 49. M. HAMEL, R. SIMS Jr, J.R. FELDMAN. — Stable, purified coffee oil. *Ger. Offen.* 2,630,580 (20.01.1977).

SMITH (R.F.). — **Revue des développements récents dans les domaines de la chimie et de la technologie du café.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1978, p. 21-31, réf.

L'auteur présente et discute les publications sur la chimie des cafés vert et torréfié et sur l'évolution de la technologie du café, relevées au cours des deux années et demie écoulées depuis le dernier colloque de l'ASIC (1975-1977). 244 références sont citées.

SMITH (R.F.). — **Recent developments in the chemistry and technology of coffee : a review.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1978, p. 21-31, réf.

A bibliography of publications on the chemistry of raw and roasted coffee, and on developments in the technology of coffee, recorded during the 2 1/2 years (1975-1977) since the last ASIC Colloquium is presented and discussed (244 references are included).

ASPECTS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DE LA COMPOSITION DU CAFÉ VERT

J. POISSON

Centre d'Etudes Pharmaceutiques de l'Université de Paris-Sud
F - 92290 - Châtenay-Malabry



Le café est apprécié en fonction de l'agrément ou des effets stimulants qu'il procure au dégustateur. De telles qualités procèdent directement de la composition de la boisson, elle-même résultat de la suite d'opérations qui s'est déroulée depuis la mise en culture des caféiers jusqu'à l'extraction du café torréfié.

La composition du café vert apparaît donc comme un des facteurs intervenant dans la valeur du café consommable et sa connaissance n'est pas non plus dépourvue d'intérêt dans la mesure où elle permet d'orienter la production et la technologie caféière.

D'un autre côté, l'analyse des processus biogénétiques par lesquels s'élaborent au sein des tissus les différents constituants des *Coffea* doit stimuler la recherche des nouvelles variétés de caféiers et, en tous cas, conduire à mieux appréhender les facteurs biochimiques de la qualité du café.

I — LES CONSTITUANTS DES FRUITS DU CAFÉIER

L'établissement d'un bilan correct de la composition chimique du café vert n'est pas très aisé pour plusieurs raisons : le grain de café frais est un matériel vivant éminemment variable ; les méthodes analytiques sont encore imprécises dans certains domaines malgré les progrès réalisés ; certaines catégories de constituants de structure complexe se révèlent difficilement séparables (substances à haut poids moléculaire : protéines, polypeptides) ; d'autres enfin sont peu connues ou insoupçonnées. De ce fait, l'inventaire systématique de la composition des cafés est encore fragmentaire, de nombreuses espèces n'ayant fait jusqu'ici l'objet d'aucune investigation chimique, sans doute parce qu'elles n'apparaissent pas exploitables. La présente

mise au point n'a pas la prétention d'être exhaustive et s'attachera plutôt aux résultats récents souvent les plus significatifs (*).

On sait que des nombreuses espèces de *Coffea* recensées, seules *C. arabica* et *C. canephora* (var. *robusta*) ont une importance économique. Aussi n'est-il pas étonnant que les études chimiques et biochimiques ne concernent que ces deux-là. Encore convient-il d'observer que la connaissance du « Robusta » n'est pas aussi avancée que celle de l'« Arabica », dont pratiquement tous les constituants sont connus (4,5). Les travaux consacrés aux autres espèces présentent au moins un intérêt chimiotaxonomique et méritent à ce titre d'être évoqués.

Seul le café sain sera considéré, mais on ne peut tenir pour négligeables les substances résultant d'altérations biologiques [produits d'oxydation des acides gras, fèves puantes (6), toxines fongiques (7)] ou de pollutions par les pesticides.

(*) Les références plus anciennes sont consignées dans les mises au point de P. Navellier (1) et dans le compendium de Wehmer (2). La plupart des composés cités ici sont également répertoriés par Vitzthum (3).

GRAINES

En raison de la variabilité des caféiers et aussi de fluctuations dans la précision des méthodes analytiques, les teneurs des grains de café vert en leurs divers constituants oscillent souvent dans de larges limites. Le tableau I n'est qu'une vue d'ensemble pondérée, à valeur uniquement indicative (1). Divers auteurs ont, de leur côté, publié des chiffres plus ou moins différents, résultat de leurs propres mesures sur des variétés choisies (3, 5, 8, 9).

Tableau I. — Composition moyenne du café vert [d'après P. Navellier (1)]

Composants	Teneur % de café sec	Totaux %
Sucres		
sucres réducteurs	1,0	
saccharose	7,0	
pectines	2,0	
amidon	10,0	
pentosanes	5,0	
hémicelluloses	15,0	
holocelluloses	18,0	58
Lignine	2,0	2
Lipides	13,0	13
Protéines (N total x 6,25)	13,0	13
Cendres (en oxydes)	4,0	4
Acides non volatils		
acides chlorogéniques	7,0	
acide oxalique	0,2	
acide citrique	0,3	
acide malique	0,3	
acide tartrique	0,4	8
Trigonelline	1,0	1
Caféine	1-2	1
		100

1. Glucides

Les glucides représentent plus de 50 % de la matière sèche du café vert. Leur étude se heurte aux difficultés d'isolement connues pour ce groupe de produits, ainsi qu'à la texture particulière des tissus du grain de café peu perméables à l'eau. Les processus d'extraction s'en trouvent allongés et les risques d'hydrolyse enzymatique ou même chimique ne sont pas négligeables,

d'où des chiffres erronés sur la répartition des diverses catégories de sucres. Aussi a-t-il été proposé des extractions à chaud qui ont l'avantage d'accélérer la diffusion et de bloquer les réactions fermentaires (10), l'emploi d'éthanol dilué, ou l'adjonction de sels mercuriques (8).

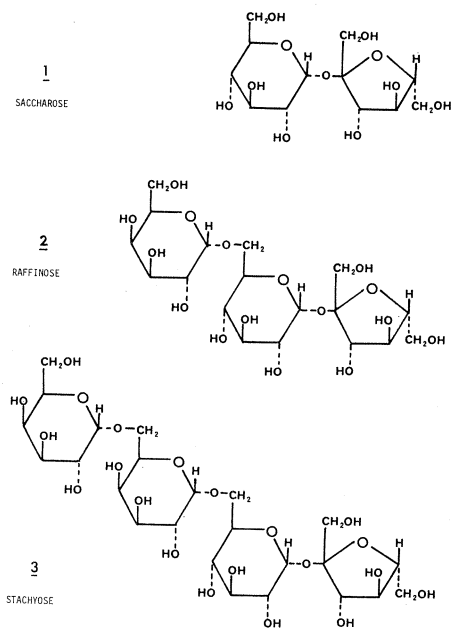
Monosaccharides

La teneur réelle en monosaccharides doit être très basse et les valeurs de 1 % avancées par plusieurs auteurs apparaissent excessives (1). Elles sont certainement liées à des hydrolyses de saccharides plus condensés.

Des déterminations récentes effectuées avec soin en ramènent les chiffres à 0,02-0,4 % (11), le produit majoritaire étant le glucose, accompagné de traces de fructose. L'absence d'arabinose et de galactose libres sont caractéristiques, étant donné leur proportion dans les polysaccharides, et constitue un indice de qualité.

Oligosaccharides

La proportion des oligosaccharides oscille de 1,8 à 5,3 % (12) et peut atteindre 10 % (10) suivant les variétés. On peut les extraire assez sélectivement par l'eau à 80° (10). Dans *C. robusta* le saccharose 1 est de loin le plus abondant (97,5 % du total), accompagné d'un peu de raffinose 2 (triholoside galactose-glucose-fructose, 1 %) et de stachyose 3 (tétrasaccharide galactose-galactose-glucose-fructose, 1,5 %) (12). De ce fait les teneurs en saccharose sont très variables (8, 13).



Polysaccharides

La répartition des polysaccharides n'est pas encore établie d'une façon définitive en raison des difficultés de leur séparation bien qu'ils représentent la majeure partie des glucides du café. Leur hydrolyse complète fournit les sucres suivants : D-glucose, D-mannose, D-galactose, L-arabinose, D-xylose, D-fructose et L-rhamnose, à côté d'un peu d'acides uroniques.

L'amidon est présent, mais n'a pas été particulièrement étudié.

Les travaux de Wolfrom (13 à 16) ont abouti à distinguer deux grandes catégories de produits :

- une holocellulose, soluble dans la potasse diluée contenant essentiellement rhamnose, xylose, arabinose et galactose.
- une holocellulose insoluble dans la potasse, constituée de rhamnose, galactose, glucose et mannose dans les proportions relatives 1-2-2-6.

Trois motifs de polysaccharides assez bien définis ont pu être mis en évidence dans la seconde catégorie :

- un mannane (Poly- β -D (1 \rightarrow 4) mannopyranose), à environ quarante-cinq unités de mannose, avec un peu de galactose (2 %), qui représente la fraction la plus importante.
- un arabinogalactane avec un rapport : arabinose/galactose = 0,4. Il serait constitué d'une chaîne fondamentale poly- β -D (1 \rightarrow 3) galactopyranose avec des rameaux de poly-L-arabinofuranose et -glucopyranose greffés en 6.
- une cellulose liée au mannane, mais minoritaire (5 %).

Ces résultats sont recoupsés, au moins partiellement, par d'autres études fondées sur des fractionnements par solubilisation différentielle, notamment celles de Hashimoto (18, 19, 20), qui sépare trois catégories de polysaccharides sur un total de 46,8 à 59,2 % du poids des graines :

- une hydrosoluble (7,5-8,9 %) contenant galactose, arabinose et mannose
- une alcalinosoluble (2,1-4,8 %) qui est un mannane presque homogène avec un peu de galactose
- une insoluble (36,2-45,6 %) composée de galactose (17 % de la fraction), d'arabinose (2 %), de glucose (20 %) et surtout de mannose (61 %).

Ils sont également compatibles avec les travaux de Thaler (17, 21), décrivant deux arabinogalactanes et une holocellulose riche en mannose, ceux de Courtois (12), qui isole un glucogalactomannane et une hémicellulose à arabinogalactane contenant aussi un dixième d'acides uroniques, et enfin de Pictet (10) (tableau II).

Les polysaccharides acidosolubles de Shadaksharaswamy (22) paraissent moins bien définis et recourent les fractions précédentes. Leur composition, déterminée par hydrolyse, comporte en effet du rhamnose, de l'arabinose, du galactose et du mannose dans les proportions relatives 10-3-3-2.

Il est probable que ce complexe polysaccharidique implique des liaisons plus ou moins lâches entre ses constituants, ainsi qu'avec les protéines et les acides-phénols (16). Ceci peut expliquer que certaines fractions sont solubilisées après traitement par l'oxyde de chlore ou des protéases (16, 21).

La composition et les propriétés des polysaccharides des cafés Arabica et Robusta n'apparaissent pas significativement différentes (21).

Hormis la cellulose, les glucides sont partiellement détruits lors de la torréfaction : les oligosaccharides et les arabanes disparaissent presque totalement, les galactanes sont très dégradés, mais les mannanes sont relativement résistants (21, 23). Les glucides jouent de ce fait un rôle important dans la coloration et l'arôme du café torréfié. Les monosaccharides, conjointement avec les aminoacides et les amines sont à l'origine des mélanoïdines (24), des pyrazines (25) et participent aux réactions de Maillard et Strecker (24). D'autre part, les furannes issus de la pyrolyse des sucres conduisent à

Tableau II. — Polysaccharides

HEMICELLULOSES :	(insolubles dans l'eau, solubles dans les alcalis dilués)
Courtois :	arabinogalactane + ac. uronique
HOLOCELLULOSES :	(Insolubles dans l'eau et les alcalis dilués)
Courtois :	glucogalactomannane
Wolfrom :	mannane : poly- β -(1 \rightarrow 4) D-mannopyranose arabinogalactane : poly- β -(1 \rightarrow 3) D-galactopyranose ; + (1 \rightarrow 6) L-arabinofuranose et D-gluco-pyranose glucane = cellulose : poly- β -(1 \rightarrow 4) D-gluco-pyranose
AMIDON :	poly- α -(1 \rightarrow 4)(1 \rightarrow 6) D-gluco-pyranose
GOMMES ET MUCILAGES :	acide polyuronique + chaînes polysaccharidiques
PECTINES =	esters méthyliques d'ac. polyuroniques + chaînes polysaccharidiques
Mésocarpe :	acide poly- α -(1 \rightarrow 4) D-galacturonique + (1 \rightarrow 6) L-arabinofuranose et D-gluco-pyranose

des polymères colorés (24). On peut rappeler que la réaction de Maillard est susceptible de s'amorcer dans des cafés verts stockés à température élevée et en milieu humide, provoquant leur brunissement. Elle est ensuite entretenue par de nouvelles quantités de sucres et d'acides aminés simultanément libérées par des réactions d'hydrolyse (26).

Néanmoins, il ne paraît pas y avoir de corrélation entre la composition en glucides des grains de café et la qualité de la boisson, dans la mesure où les traitements ont été correctement réalisés (27).

2. Lipides, stéroïdes, terpénoïdes

Les lipides, les stéroïdes et les terpénoïdes représentent le second groupe des constituants du café par ses proportions, sa variété et son intérêt chimique. Rappelons dès maintenant que cet ensemble est biogénétiquement homogène, car il dérive en définitive d'une polycondensation d'unités d'acide acétique par deux grandes voies dont l'une aboutit aux acides gras, l'autre aux divers enchaînements polyisopréniques dont relèvent les terpènes et les stéroïdes, via l'acide mévalonique.

Les teneurs en lipides totaux, mises en parallèle pour les trois principales espèces de *Coffea* (tableau III), diffèrent assez sensiblement selon les méthodes de dosage, mais également, à l'intérieur de chaque série de déterminations, en fonction des variétés analysées. Dans le groupe des *Mascarocoffea* les variations sont encore plus considérables (33). L'hybride Arabusta a une composition intermédiaire entre celles de ses parents (66). Une analyse a été faite sur *C. racemosa* (34).

La composition de l'« huile de café » telle qu'elle est extraite par divers solvants organiques (*) a été déter-

(*) Une cause de confusion réside dans les diverses acceptions du terme « huile de café », qui s'applique suivant les cas à des huiles de café vert, obtenues industriellement par extraction à l'aide de solvants lors d'opérations de décaféination ou d'amélioration de la digestibilité, et à des extraits préparés au laboratoire à des fins analytiques.

Tableau III. — Lipides totaux (*)

	Wilbaux	Kröpplien	Hadorn	Streuli	Folstar	Clifford	Carisano	Kaufmann
<i>C. arabica</i>	13-14,7	14,2-17,0	16,0-16,4	16	12-18	16,2	9-13	6,6-7,0
<i>C. robusta</i>	10,6-12,6	7,2-11	10,9	10	9-13	-	-	-
<i>C. liberica</i>	11,0-12,0	-	-	11,5	-	-	-	-
Ref.	28	30	8	4	29	31	32	35

(*) Tableau non exhaustif : les valeurs sont données à titre d'exemple.

minée par de nombreux auteurs. Un récent travail de Folstar (29), qui décrit une nouvelle méthode de fractionnement de l'ensemble des lipides du café Arabica, constitue une intéressante mise au point et met l'accent, en particulier, sur l'importance du choix des solvants.

Les lipides du café peuvent être regroupés en trois catégories :

- les acides gras et leurs dérivés, glycérides et phospholipides,
- les constituants de l'insaponifiable : carbures, stéroïdes, di- et triterpènes, tocophérols,
- les constituants de la cire externe des grains.

A titre indicatif, le tableau IV donne des chiffres moyens pour les proportions des divers types de constituants.

Les diterpènes libres ou conjugués (hétérosides) trouvés en dehors du totum lipidique seront également examinés ici, l'ensemble des diterpènes du café étant homogène et très significatif.

Tableau IV. — Composition moyenne des lipides en % du total [d'après Kaufmann (35)]

	A	B
Triglycérides	78,74 %	75,2 %
Esters diterpéniques	15,0	18,0
Esters triterpéniques, stéroïdiques et méthylstéroïdiques	1,8	1,4
Diterpènes libres	0,12	1,2
Triterpènes et stéroïdes libres	0,34	-
Phosphatides	-	4,2
Divers (Carbures, etc.)	4,0	-
	100,00	100,0

A. Acides gras, glycérides, phospholipides

Les acides gras présents dans le café sont assez nombreux, mais les acides palmitique et linoléique en représentent la majeure partie (tableau V). On notera là aussi la dispersion des valeurs.

Tableau V. — Répartition des acides gras en % du total

nC	Δ	Nom	Huiles de Café (29)	Esters diterpéniques (35)	Cire de Café (29)
14	0	myristique	traces	-	1,5
16	0	palmitique	31,1	42,5	24,9
18	0	stéarique	9,6	17,5	6,5
18	1	oléique	9,6	11,0	4,8
18	2	linoléique	43,1	20,5	23,8
18	3	linoléinique	1,8	-	traces
20	0	arachidique	4,1	6,0	14,1
22	0	gadoléique	0,9	2,5	21,0
24	0	béhénique	traces	-	3,7

La composition des glycérides a été déterminée, en dernier lieu par Folstar (29) (tableau VI).

Les acides gras sont également présents dans d'autres dérivés : les stérols et les terpènes de l'insaponifiable sont en majorité estérifiés par des acides saturés, tandis que les cires contiennent une variété d'acides comparable à celle des glycérides (29, 35).

Les phospholipides, peu abondants, n'ont pratiquement pas été étudiés (36).

Tableau VI. — Composition des triglycérides en % du total [P. Folstar, 1976 (29)]

	Huile de café	Cire de café
C ₄₈	traces	0,1
C ₅₀	31,5	32,2
C ₅₂	49,8	44,7
C ₅₄	18,1	19,4
C ₅₆	0,6	3,6

B. Carbures, stérols et triterpènes

Seule la composition de *C. arabica* paraît avoir été envisagée jusqu'ici. Elle n'a d'ailleurs été élucidée que récemment à la suite des travaux de Nagasampagi (37), Itoh (38) et Barbier (39), qui n'ont pas permis de retrouver le cofféastérol, le lanostérol 19 et le dihydro-lanostérol antérieurement décrits (40). La liste des produits actuellement connus figure dans les tableaux VII-1, VII-2, VII-3.

Ils proviennent de l'insaponifiable de l'huile qui représente 0,5 à 12 % de celle-ci suivant les auteurs et les échantillons (29, 37, 38, 41, 42).

Le grand intérêt chimique de ces produits réside dans l'existence d'une série de méthyl-4 stérols, intermédiaires biogénétiques entre les triterpènes et les stérols. Mieux encore, l'ensemble représente une grande partie

Tableau VII-1. — Stérols de *Coffea arabica*

Formule	% de l'insaponifiable	Références
10 Sitostérol	53	
11 Campestérol	11	
12a Stigmastérol	21	
12b Δ -7 stigmastérol	traces	
13 Cholestérol		
14 Brassicastérol		
15a Δ -7 avénastérol		
15b Δ -5 avénastérol		
16 Stigmastanol	0,4	
17 Campestanol	0,1	

Tableau VII-2. — Carbures et triterpènes de *Coffea arabica*

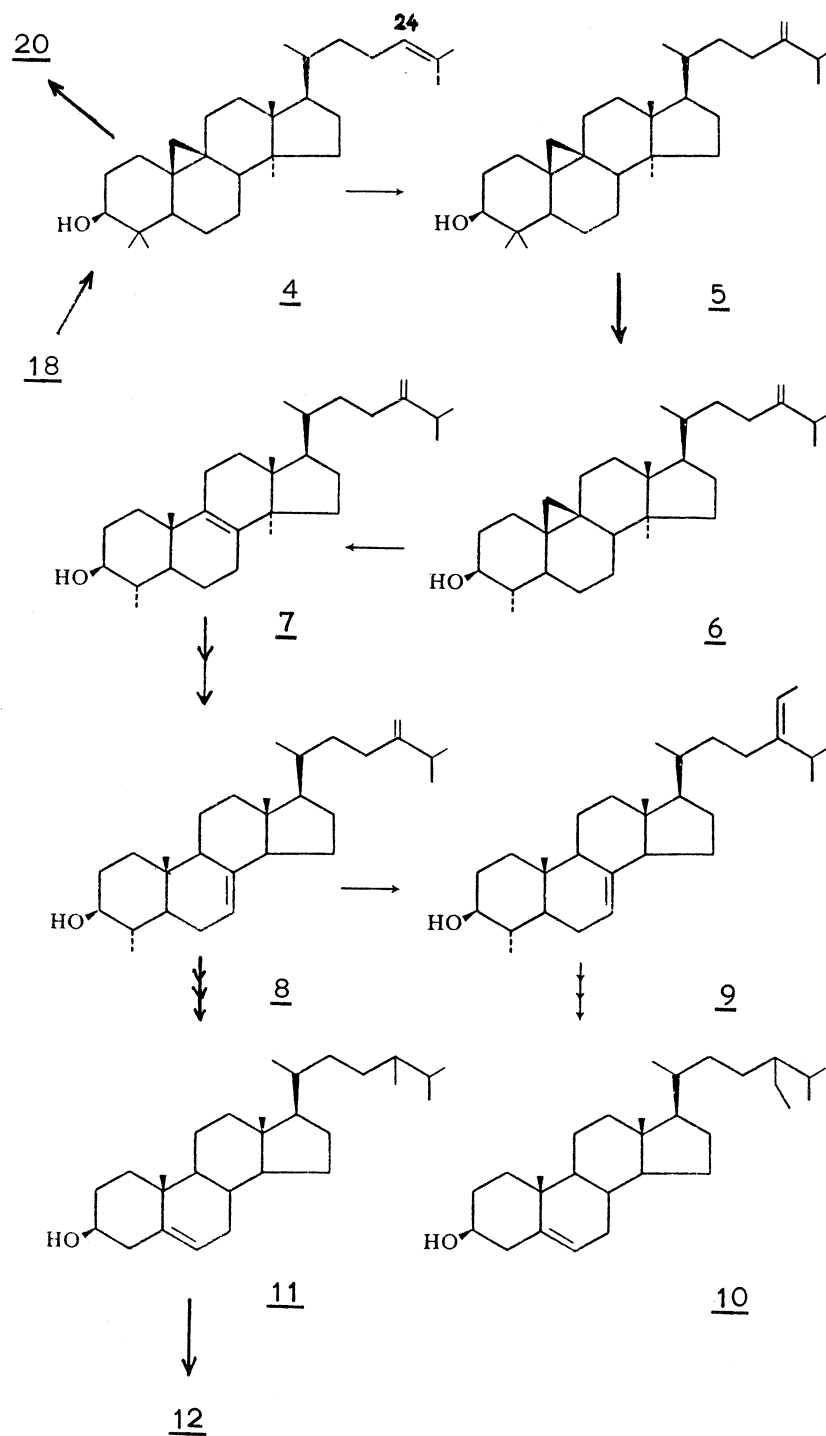
Formule	% de l'insaponifiable	Références
Alkanes C ₁₆ à C ₂₈		
Nonacosane C ₂₉ H ₆₀		
18 Squalène		
20 β -amyrine	traces	
4 Cycloartérol	8	
Cycloartanol	traces	
5 Méthylène-24 cycloartanol	4	
Méthyl-24 cycloartanol (Cyclobranol)	traces	

Tableau VII-3. — Méthyl-4 stérols de *Coffea arabica*

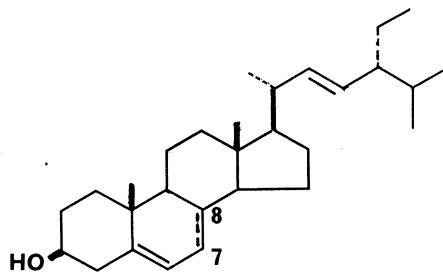
Formule	% de l'insaponifiable	Références
6 Cycloeucaalérol	< 1	
7 Obtusifoliol	< 1	
8 Gramistérol (méthylène-24 lophérol)	< 1	
9 Citrostadiérol	1	
Diméthyl-4 α ,24R 5 α -cholestène-8-ol-3 β	traces	
Diméthyl-4 α ,24R 5 α -cholestène-7-ol-3 β		
Méthyl-4 α 5 α -stigmastène-7-ol-3 β		

des maillons de la chaîne biosynthétique des phytostérols à partir du squalène 18 (tableau VIII, p. 38) et apporte une assise expérimentale sérieuse à des hypothèses biogénétiques antérieures (43). L'absence de lanostérol 19, remplacé par le cycloartérol 4, confirme le rôle de ce dernier comme intermédiaire-clé de la biosynthèse des triterpènes et stérols végétaux (44), à l'instar du lanostérol dans le règne animal (45).

Tableau VIII. — Biosynthèse des triterpènes et des phytostérols (*)

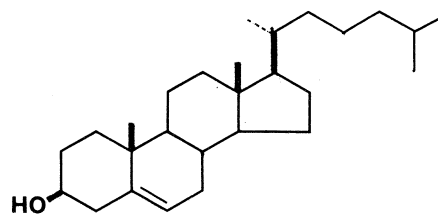


(*) D'après : T.A. Geissmann, Specialist Periodical Reports, *Biosynthesis*, 3, 59. Avec autorisation.

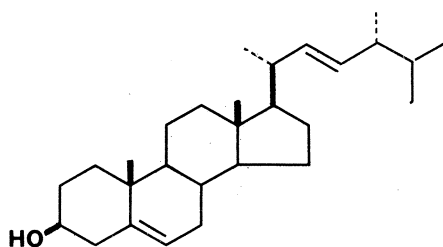


12 a

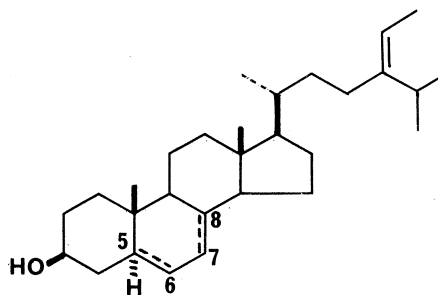
12 b : Δ 7-8



13

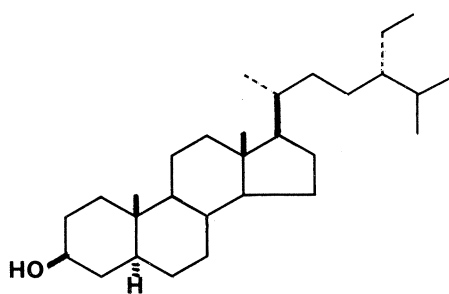


14

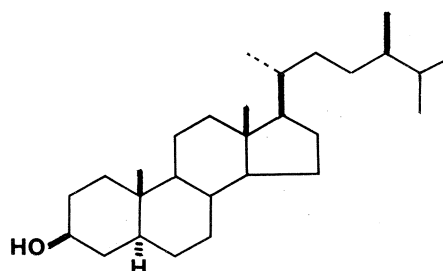


15 a Δ 7-8

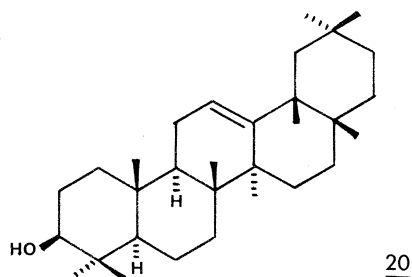
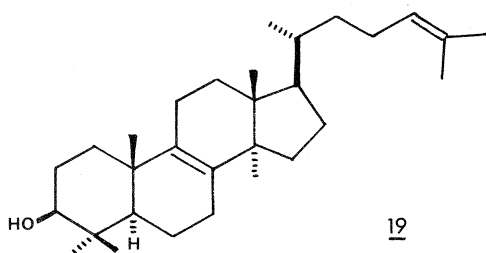
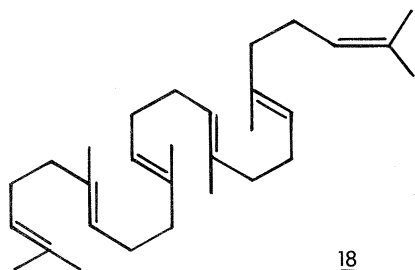
15 b Δ 5-6



16



17



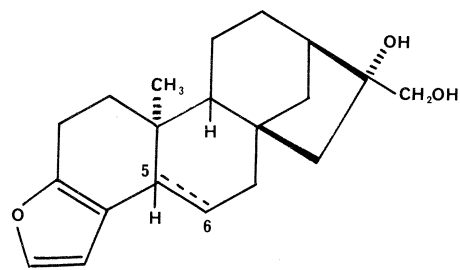
C. Diterpènes

L'insaponifiable de l'huile de café contient un diterpène particulier, estérifié par des acides saturés (29), le Cafestol 21. Celui-ci est accompagné de son dérivé insaturé le Kahwéol 22 mais seulement dans *C. arabica* (46).

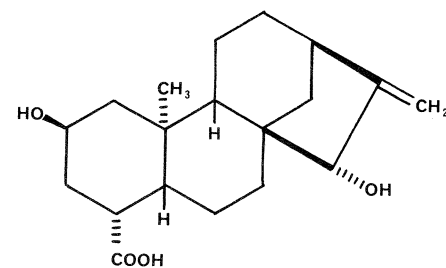
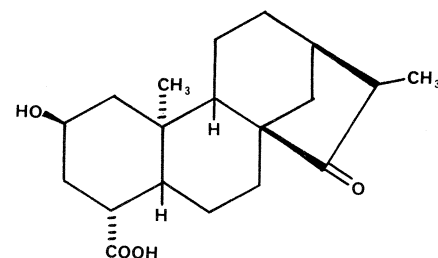
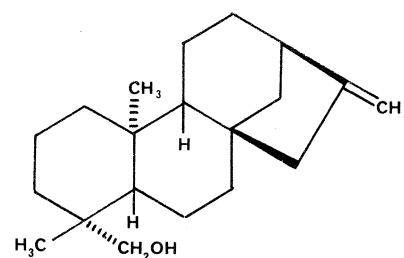
La structure du Cafestol 21 a été déterminée après beaucoup d'efforts vers 1957 par deux équipes : Djerrassi (47) et Haworth (48). Celle du Kahwéol 22 l'a été peu après (47), mais la formule a dû être corrigée ultérieurement (49). Le Kahwéol donne une réaction colorée qui n'est évidemment positive qu'avec *C. arabica* (ou d'autres espèces pouvant en contenir) (42, 46). Elle permet d'effectuer rapidement une diagnose d'origine d'un café vert. Toutefois le **Kahwéol** est très instable et peut manquer dans des échantillons mal conservés.

On peut leur rattacher deux alcools diterpéniques, sans doute à l'état d'esters dans l'huile, un hydroxy-19 Kaurène 23 (37, 50) et un Kaurane-diol (37).

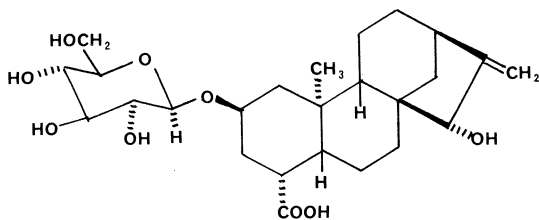
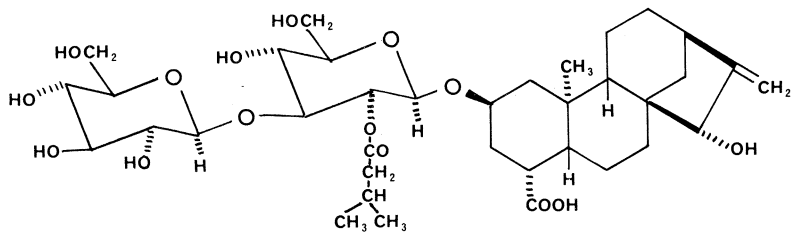
A ces composés liposolubles doivent être ajoutés plusieurs hétérosides diterpéniques plus polaires,



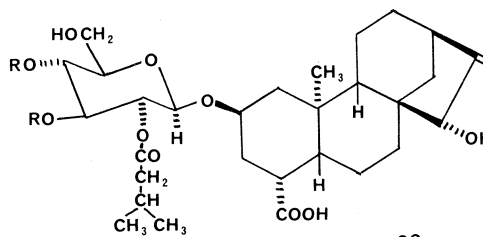
22 Δ 5-6



26



27



R = SO₃K

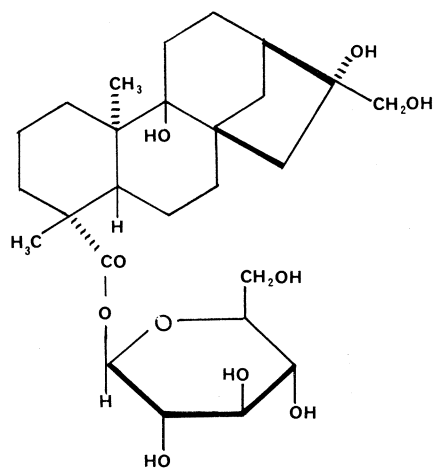
28

récemment décrits. Obermann et Spiteller (51) ont découvert fortuitement dans l'urine de sujets consommateurs de café un desmétylditerpène à noyau atractylane 24, reconnu ensuite comme un métabolite de l'atractyligénine 25. Présent dans le café torréfié (0,1%), il résulte d'une transposition allylique de la génine 25, reproductible *in vitro* (53). Une dihydroatractyligénine l'accompagne d'ailleurs dans l'urine. L'atractyligénine 25 provient elle-même d'hétérosides-esters existant dans le café torréfié ainsi que dans le café vert Arabica (53, 54). La structure de deux d'entre eux 26 et 27 est maintenant connue : elle les apparente étroitement à l'atractyloside 28, un hétéroside du chardon à glu (*Atractylis gummifera*, Composées). Le noyau commun de ces produits, l'atractylane, est celui d'un nor-4 *ent*-kaurène et rappelle le noyau furo-*ent*-kaurane du cafestol 21.

Un autre hétéroside à noyau Kaurane, le cofaryloside 29, a été trouvé par les mêmes auteurs dans un *Coffea arabica* de Colombie (55). Il est proche d'un acide 30 isolé du café Arabica torréfié (52) dont il est probablement le précurseur dans les grains verts.

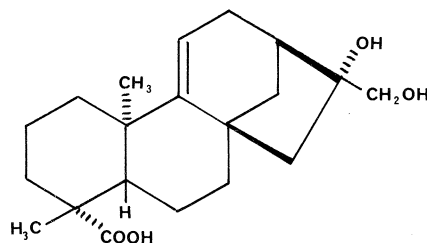
Enfin, les *Mascarocoffea* dépourvus de caféine (*vide infra*) recèlent des hétérosides amers, difficiles à isoler, dont deux sont complètement identifiés : le mascaroside 31 de *Coffea vianneyi* (56,57,58) et la Cafamarine 32 de *C. buxifolia* (59, 60). Le noyau des deux glucosides est proche de celui du cafestol 21 présent dans l'insaponifiable de ces mêmes espèces.

Les diterpènes à noyau *ent*-kaurane sont intéressants à plusieurs titres : ils possèdent en 5-10 une configuration inverse de celle des autres terpénoïdes polycycliques, et on y trouve des précurseurs biogénétiques des gibbérellines (61), hormones végétales bien connues (tableau IX). L'élaboration du noyau kaurane résulte

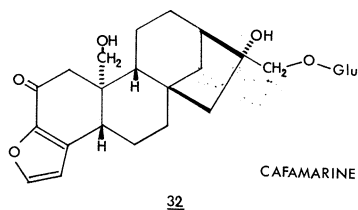
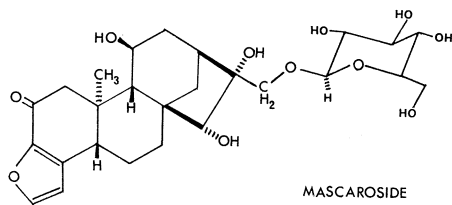


29

COFARYLOSIDE



30

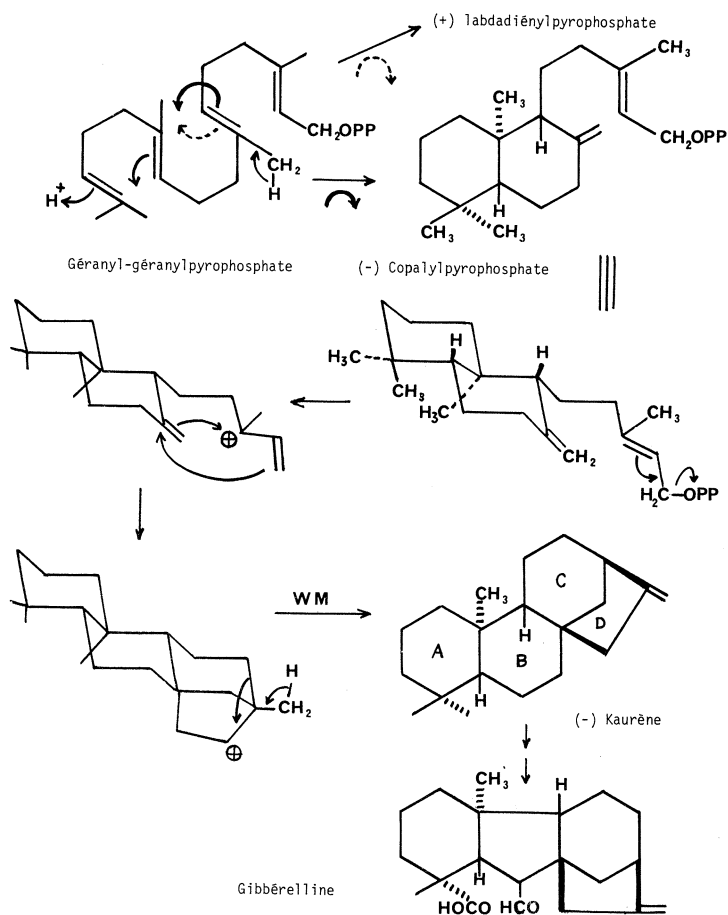


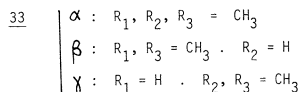
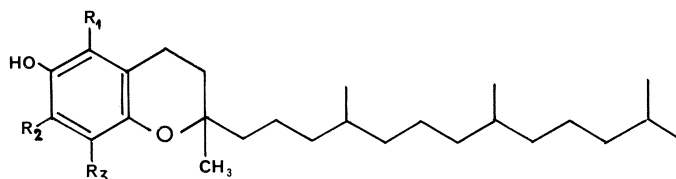
de la cyclisation du géranyl-géranyl-pyrophosphate avec une transposition de Wagner-Meerwein expliquant la formation du cycle D. Une transposition analogue est à l'origine de l'hétérocycle des furo-kauranoïdes comme le cafestol (tableau IX). Cette séquence biogénétique serait bloquée par des herbicides (61).

D. Tocophérols

Deux tocophérols 33 ont été récemment mis en évidence par Folstar (29) dans l'insaponifiable de café vert Arabica. L'un a été identifié à l' α -tocophérol 33a (90-190 $\mu\text{g/g}$ d'huile). L'autre serait le β - ou le γ -tocophérol (33b ou 33c) ou un mélange des deux (250-465 $\mu\text{g/g}$), leur séparation étant difficile. On sait que ces substances jouent généralement dans les huiles un rôle d'antioxydant.

Tableau IX. — Biosynthèse des diterpènes *ent*-kaurénoïdes



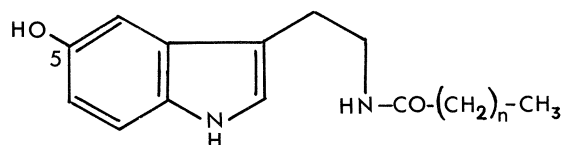


E. Cires

On désigne sous le vocable de cires la fraction lipidique externe de la graine (environ 2 %), formant un revêtement protecteur en surface. Elle peut être extraite en traitant les grains non broyés par le chloroforme et sa composition a été reprise et approfondie par Folstar (29).

On peut en isoler, outre de la caféine entraînée par le solvant : des hydrocarbures de C₁₆ à C₂₉ dont les deux derniers sont les plus abondants (C₂₈ : 12,8 % ; C₂₉ : 26,2 % des carbures), des triglycérides, du squalène 18, des stérols et terpènes et des tocophérols 33. Cette composition est voisine de celle des lipides présents à l'intérieur des grains, mise à part la proportion relativement élevée de nonacosane C₂₉H₆₀.

En outre, les cires contiennent spécifiquement des amides de l'hydroxy-5 tryptamine, ou sérotonine, avec divers acides gras saturés supérieurs : acides arachidique (C₂₀) (48 %), béhénique (C₂₂) (48 %) et lignocérique (C₂₄) (4 %), de formule générale 34 (62, 63, 64). Leur teneur est de l'ordre de 0,50 à 2,4 g par kg de café vert, correspondant à 160-750 mg de sérotonine, ce qui a conduit à breveter l'extraction de cette amine à partir de l'huile de café (65). L'Arabusta en contient également, à des valeurs intermédiaires entre celles de l'Arabica et du Robusta (66).



34 14 < n < 22

Les hydroxy-tryptamides peuvent être caractérisés grâce à la coloration bleue qu'ils donnent avec le réactif de Gibbs (dichloro-2,6 quinone chlorimide + OHNH₄). La réaction est applicable en histologie et a permis de les localiser électivement dans l'épisperme (64). Ces produits sont peu stables et, à ce titre, constituent un indice de fraîcheur des cafés verts, la baisse de leur

concentration étant parallèle au brunissement des grains (64). Ils sont d'ailleurs détruits, au moins pour moitié, par la torréfaction. Leur rôle physiologique serait celui d'antioxydants, au même titre que les tocophérols (62, 63).

On les a rendu responsables de certains troubles digestifs accompagnant l'absorption de café-boisson (64) et des procédés ont été mis au point pour les éliminer à l'aide de solvants (67). Cependant, comme on pouvait s'y attendre, les cafés ainsi traités se conservent plus mal.

Les amides de la sérotonine ne sont pas propres au caféier et on les a retrouvés dans d'autres graines (cacao, tournesol, noix, etc...) (64).

Les lipides représentent donc une catégorie de produits importante pour la définition de la valeur du café. Bien que leur teneur ne paraisse pas liée à la qualité de la boisson (68), leur altération est aisée et conduit à une augmentation de l'acidité des grains, répercutée sur les caractères organoleptiques après torréfaction. Les cires externes des grains les protègent dans une certaine mesure des oxydations, mais on a vu que les traitements visant à les éliminer affectent alors la conservation du café vert. Le caractère fortement insaturé des glycérides de l'huile de café a d'ailleurs nui à l'utilisation de ce sous-produit abondant.

Les diterpènes amers des *Mascarocoffea* confèrent à ceux-ci un goût désagréable qui contre-balance défavorablement leur caractère « absence de caféine ». Il serait très intéressant que des sélections appropriées puissent minimiser ou éliminer la formation de ces hétérosides.

3. Aminoacides et protéines

A. Protéines

La teneur en protéines du café vert varie de 11 % (4) à 15,8 % (69). En raison des difficultés d'extraction au plan quantitatif, elle est souvent calculée à partir de la teneur en azote total par une formule spéciale (1, 4).

On a surtout analysé la répartition des aminoacides constitutifs (tableau X) (69, 70). On remarque la forte proportion des acides glutamique et aspartique, et la pauvreté en histidine et en aminoacides soufrés. Leur valeur alimentaire est donc faible. La composition en aminoacides ne varie pas significativement en fonction de la variété ou de la qualité des cafés (71).

Tableau X. — Aminoacides des protéines du café [d'après Thaler et Gaigl (69)]

	% du total
Alanine	4,75
Arginine	3,61
Acide aspartique	10,63
Acide glutamique	19,80
Cystine	2,89
Glycocolle	6,40
Histidine	2,79
Isoleucine	4,64
Leucine	8,77
Lysine	6,81
Méthionine	1,44
Phénylalanine	5,78
Proline	6,60
Sérine	5,88
Thréonine	3,82
Tyrosine	3,61
Valine	8,05

Les progrès de la chimie des peptides permettent maintenant une tentative de classement des diverses protéines des *Coffea*. Plusieurs catégories sont séparables par diverses méthodes chromatographiques ou électrophorétiques (72, 73, 74, 75). Celles-ci permettent même de distinguer les variétés des cafés d'origine (93), ce que l'on ne pouvait obtenir des anciennes techniques de précipitation différentielle (71, 76). L'intérêt de la méthode d'isoélectrofocalisation (I.E.F.) est à souligner, car elle permet de distinguer les protéines de *C. arabica* de celles de *C. canephora*, qui ont le même profil électrophorétique (75), mais présentent des points isoélectriques légèrement différents entre 5,7 et 6,3 (72). Amorim a établi que la fraction protéique la plus basique serait liée à l'acide chlorogénique (73). On a vu plus haut que des liaisons existeraient aussi avec les polysaccharides.

Les protéines du café sont dégradées par la torréfaction en donnant de nombreux produits concourant à la formation de l'arôme et à la coloration (24, 25, 26). Les aminoacides constitutifs sont toutefois inégalement atteints (69).

B. Aminoacides libres. Bétaïnes

Des aminoacides existent à l'état libre à côté des protéines (69, 77) (tableau XI). Ils sont parfois présents à des teneurs plus élevées, caractéristiques de certaines

Tableau XI. — Aminoacides libres du café

	Teneur mg p. 100	
	WALTER (77)	BARBIROLI (69)
Alanine	24	40-80
Arginine	4	0
Asparagine	30	0
Acide aspartique	33	10-28 (*)
Acide glutamique	49	32-50
Glycocolle	2	0
Histidine	4	0
Isoleucine	3	} 3-12
Leucine	3	
Lysine	4	4-10 (*)
Méthionine		8-28
Phénylalanine	8	2-10 (*)
Acide pipécolique	3	0
Proline	14	0
Sérine	12	18-40
Thréonine	0	3-8 (*)
Tyrosine	4	0
Valine	2	14-22(*)

(*) dans certaines variétés seulement

espèces ou variétés de *Coffea*, et jouent alors un rôle de marqueur taxonomique (78, 79) : arginine, phénylalanine et tyrosine pour *C. robusta*, acide pipécolique pour *C. arabica* (78), tryptophane pour *C. arabica* de Timor et du Cap vert (79).

On trouve aussi dans les cafés de faibles quantités d'acide nicotinique 35 : 6,7 mg % (80) ; 1,6 à 4,4 mg % (81) sans rapport avec leur origine. Par contre, la bétaïne correspondante ou *trigonelline* 36 est un constituant caractéristique reconnu dès 1907 par Gorter. Sa teneur varie beaucoup suivant les méthodes de dosage et surtout la provenance du café (81, 82) : voisine de 1 % pour *C. arabica*, de 0,6 % pour *C. robusta*, elle descend à 0,3 % et moins dans *C. liberica* (71). Elle n'est pas modifiée par les traitements préparatifs du café vert Robusta (164).

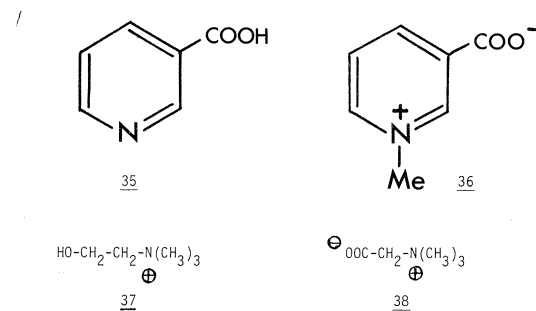
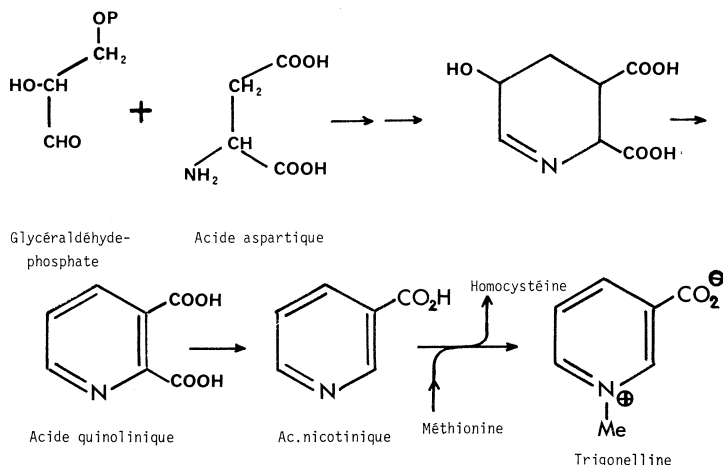


Tableau XII. — Formation de l'acide nicotinique à partir de l'acide aspartique



La trigonelline 36 dérive biogénétiquement de l'acide nicotinique 35 par méthylation catalysée par une méthyltransférase aux dépens de la méthionine. L'acide nicotinique lui-même est formé en plusieurs étapes à partir de l'acide aspartique et du glycéraldéhyde (tableau XII).

Les feuilles comme les fruits du caféier constituent un site actif de cette biosynthèse. La teneur en trigonelline est élevée dans les feuilles jeunes, puis tend à s'annuler. Mais on n'a pu mettre en évidence ni une translocation (83, 84), ni une déméthylation *in situ* (85). Sa formation dans les fruits doit donc s'effectuer à leur niveau.

La pyrolyse de la trigonelline lors de la torréfaction conduit à divers composés pyridiniques, dont l'acide nicotinique (24, 81). Le processus de la pyrolyse a été reproduit au laboratoire à une température optimale de 170° (81). La trigonelline contribue donc sensiblement à la formation de l'arôme.

La bétaine proprement dite 37 (0,02 %), ainsi que l'aminoalcool correspondant, la choline 38, existent également dans les grains de café (1).

C. Enzymes

Plusieurs enzymes ont été mises en évidence (tableau XIII). Elles sont banales et en relation avec la composition chimique du café :

- une α -galactosidase, mélange de trois protéines décelable par électrophorèse à pH 8,3 (86), dédouble les oligo- et polysaccharides à galactose (165).
- une β -fructofuranosidase (87) à activité transférase agit sur les oligosaccharides à fructose et n'est efficace qu'après lavage ou germination des graines.
- la polyphénoloxydase a été particulièrement étudiée en raison de son incidence sur la qualité du café. Elle catalyse en effet les oxydations des

Tableau XIII. — Enzymes du café vert

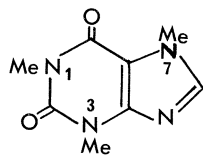
α -Galactosidase	Polyphénoloxydase
β -Fructofuranosidase	Oxydase (s)
Malate-deshydrogénase	Tyrosinase
Phosphatase acide	Laccase

acides-phénols provoquant la coloration des graines et à la limite des altérations organoleptiques. Son activité varie sensiblement en fonction de l'origine, des conditions de culture et, du fait de son altérabilité, des traitements subis par les graines (88). Elle apparaît ainsi parallèle à la qualité des cafés (88, 89). Elle est également beaucoup plus élevée dans les fruits verts et diminue lors de la maturation (90).

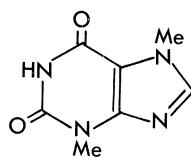
- des oxydases existent, assez fragiles, car elles diminuent lors du stockage (91). On peut leur rattacher une tyrosinase et une laccase (92).
- une malate déshydrogénase (93) et une phosphatase acide (74) sont aussi à signaler à côté d'un inhibiteur de la trypsine (74), indice de l'existence de protéases non identifiées.

4. Acides nucléiques, bases puriques et pyrimidiques

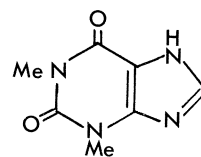
Les acides nucléiques ont été peu étudiés jusqu'ici. Leur teneur est assez faible : 80 mg par gramme de protéines pour *C. arabica* ; 75 mg pour *C. robusta*. Le rapport purines/pyrimidines est de 1,32 à partir de produits extraits par le phénol en présence de dodécylsulfate à pH 7,4 (94). Leur structure est inconnue.



39



40

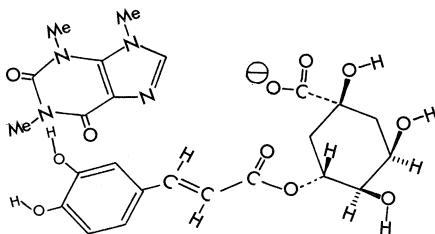


41

Si on n'a pas signalé jusqu'ici la présence de bases pyrimidiques libres, plusieurs **bases puriques autres que les xanthines** ont été mises en évidence à des taux très faibles (0,002 %) : adénine, guanine, hypoxanthine (95). Il n'est pas exclu qu'il s'agisse d'artefacts en provenance d'acides nucléiques dégradés lors de l'extraction (96). Dans ces conditions la présence de guanosine (97) reste problématique.

Parmi les **bases puriques**, la caféine **39** est évidemment le produit le plus caractéristique. Elle est accompagnée par des traces de deux autres purines méthylées, la théobromine **40** (2 mg/kg) (98 à 101) et la théophylline **41** (0,62 mg/kg) (98, 100, 101).

On sait de longue date que la caféine est liée, dans les tissus des grains de café, à l'acide chlorogénique **43** et on a isolé un chlorogénate double de caféine et de potassium, instable, libérant la caféine par hydrolyse ou lors de la torréfaction (1). La nature de cette combinaison **42** est maintenant établie par une étude de Résonance Magnétique Nucléaire : il s'agit d'un complexe π entre la caféine et le chlorogénate, 1/1 et accessoirement 1/2 (102). Des complexes analogues se forment avec d'autres acides-phénols.



42

La différence des taux de caféine entre *C. arabica* et *C. canephora (robusta)* est bien connue. Récemment, Charrier (103) a tenté de caractériser les divers *Coffea* d'après leur concentration en caféine : celle-ci varie de 0,58 à 1,9 % pour *C. arabica*, de 1,16 à 3,27 % pour *C. canephora*, de 0,5 à 1,8 % pour les Libéroexcelsoides, de 0,2 à 0,5 % pour le *C. eugenioides*, alors que les espèces des groupes *Paracoffea* et *Mascarocoffea* en sont dépourvues. La présence de caféine constitue donc un caractère génétique. La greffe *Canephora* sur *Mascarocoffea* diminue le pourcentage de caféine dans

une proportion considérable (103). Ce fait peut être une indication sur la provenance des précurseurs de la caféine. Le *C. arabusta* a une teneur variable suivant les clones, intermédiaire entre celles des parents (66).

On savait depuis les observations de G. Bertrand (104) que certains caféiers malgaches étaient dépourvus de xanthines. La question a été reprise depuis une vingtaine d'années par divers chercheurs de l'IFCC sur de nombreuses espèces récoltées à Madagascar et identifiées par les soins du Pr Leroy (103, 125), mais elle se trouve malheureusement interrompue à l'heure actuelle. L'absence de caféine est un caractère génétique transmissible (103).

La **biosynthèse des bases puriques du caféier** n'a pas manqué d'attirer l'attention. Elle pose trois ordres de questions :

1°) La voie suivie est-elle la même que pour d'autres purines ?

2°) Quelles sont les relations avec le métabolisme des acides nucléiques ?

3°) Quelle en est la localisation ?

La séquence biogénétique conduisant au noyau purine chez les végétaux semble bien être la même que celle établie antérieurement dans le règne animal (105). Dans le cas du café, et bien que l'étude ait été faite au niveau des feuilles, le processus est identique. En effet, Anderson et Gibbs (106) ont montré que le noyau purique était construit par l'incorporation successive de ses divers centres : les carbones 2, 6 et 8 proviennent d'unités métaboliques en C_1 (HCHO, HCOOH, CH_3OH) ou encore du glycolle ou de la sérine ; l'enchaînement $C_4-C_5-N_7$ est transféré du glycolle ; le C-6 est issu de CO_2 sans doute via les sucres. Les autres atomes d'azote sont introduits par des réactions de transamination aux dépens de la glutamine (N-3, N-9) ou de l'acide aspartique (N-1) (tableau XIV). La méthylation s'effectue classiquement aux dépens de la méthionine (110) ou secondairement de métabolites monocarbonés (106, 108).

Un point reste à éclaircir quant aux stades auxquels s'effectue cette méthylation. Le premier composé de la chaîne biosynthétique des purines possédant le double cycle est l'inosinemonophosphate ou acide inosinique. Il constitue un carrefour à partir duquel divergent des voies vers divers nucléotides et les acides nucléiques, vers l'A.T.P. et enfin vers la xanthine, purine libre sans sucre ni phosphate (109). Celle-ci, méthylée progressivement, donne naissance à la théobromine, la théophylline et la caféine (tableau XV).

Tableau XIV. — Biosynthèse de l'acide inosinique (Pigeon)

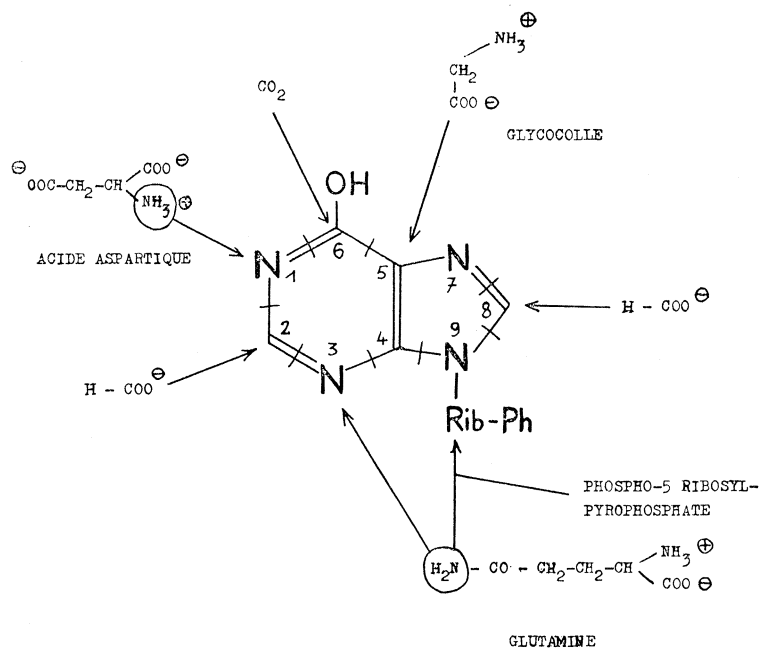


Tableau XV. — Biosynthèse de la caféine
[d'après Ogutuğa (111)]

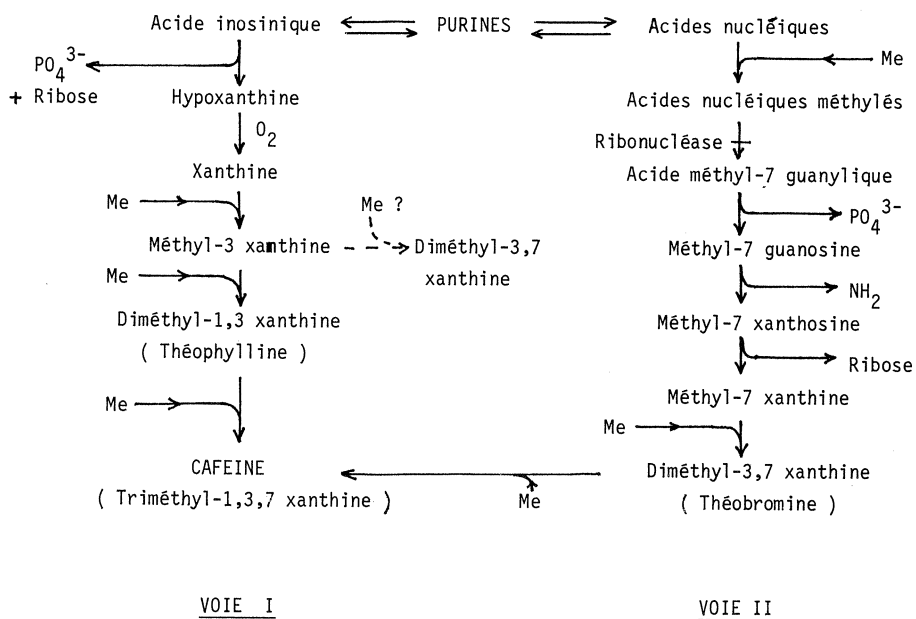
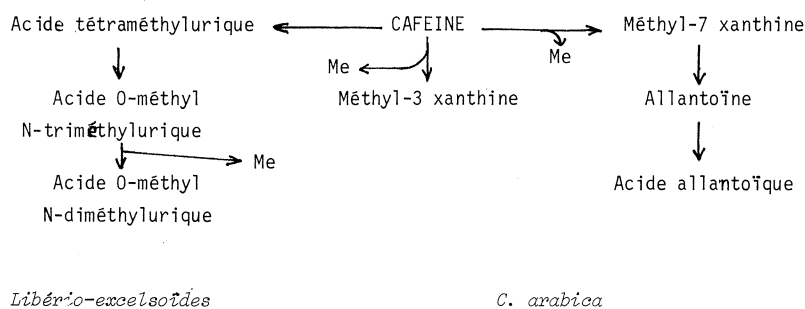


Tableau XVI. — Dégradation de la caféine



Cependant Wanner a montré que la méthylation pouvait se faire au niveau des nucléosides participant au métabolisme des acides nucléiques (110), confirmant les travaux d'Ogutuga sur des cultures de tissus (111). L'hydrolyse et la méthylation progressive de la xanthosine aboutissent à la diméthyl-3,7 xanthine (théobromine) puis à la caféine (tableau XV, voie II). La guanosine qui pourrait être un autre intermédiaire méthylable ne paraît pas en cause, et la méthylation ne s'effectue pas au niveau de l'inosine elle-même. Ces résultats ont été confirmés indirectement par Suzuki sur les feuilles de thé qui utilisent plutôt l'adénosine comme nucléoside précurseur de la caféine (112). L'adénosine est d'ailleurs aussi un précurseur de la caféine du café à l'état de méthyl-7 adénosine mono-phosphate (159).

L'origine nucléotidique des purines des plantes à caféine est donc maintenant préférée à une transformation directe de l'acide inosinique (tableau XV, voie I). Mais avec ce mécanisme la biogenèse de la théophylline (diméthyl-1,3 xanthine) reste inexpliquée.

La localisation de la biosynthèse de la caféine et des bases voisines a fait également l'objet de travaux de l'équipe de Wanner sur *Coffea arabica*. La teneur en caféine du péricarpe des fruits verts est élevée (1,6% du poids sec), mais s'abaisse ensuite (0,24%) tandis que celle des graines se trouve multipliée par vingt à maturité (107). Cette constatation a conduit à confirmer expérimentalement la migration de la caféine du péricarpe vers la graine durant la maturation (113). Le lieu principal de la formation de la caféine serait dans le péricarpe, la lumière stimulant la méthylation à ce niveau (107). Bien que l'alcaloïde se forme dans d'autres parties de la plante, les feuilles en particulier (83, 84), il ne semble pas y avoir translocation vers le fruit (113).

Le métabolisme de la caféine a été abordé, également dans les feuilles (tableau XVI). Il paraît suivre des voies multiples, soit vers l'acide allantoïque dans l'Arabica (114), soit vers des acides méthyluriques dans les Libérío-excelsoïdes (115, 116). La formation de méthyl-3 xanthine pourrait rendre compte de la formation de la théophylline par une nouvelle méthylation en 1.

5. Acides organiques

A. Acides aliphatiques

De nombreux acides organiques aliphatiques usuels du métabolisme cellulaire sont présents dans le café vert (117) : acides acétique, pyruvique, hydroxypyruvique, malique, succinique, oxalique, citrique, tartrique, lactique, oxalsuccinique et oxalacétique.

Leur analyse peut constituer un indice de qualité, car des fermentations en cours de traitement, notamment par voie sèche, ou lors de la conservation, se traduisent par un notable accroissement de certains d'entre eux.

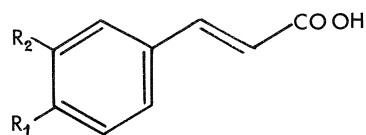
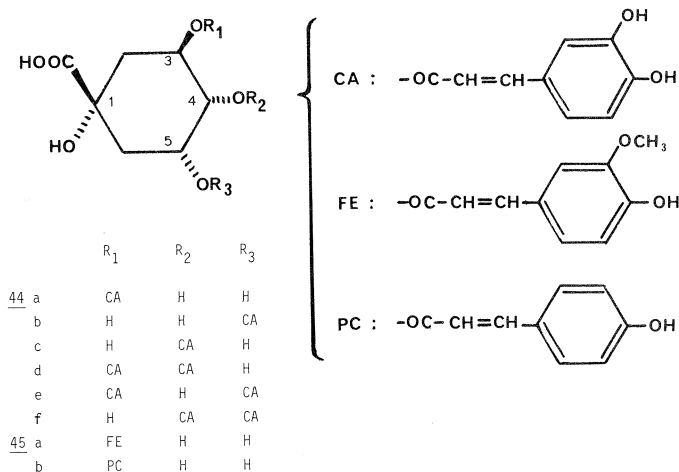
B. Acides-phénols et dérivés

La présence des acides-phénols et de leurs dérivés dans le café est connue de longue date, l'acide chlorogénique ayant été découvert par Payen en 1846, lié à la caféine.

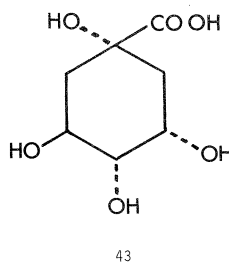
Les acides-phénols existent essentiellement sous forme de depsides, en combinaison avec l'acide quinique 43. On a caractérisé à l'heure actuelle les acides :

- chlorogénique *stricto sensu*, ou caféyl-3 quinique 44a
- néochlorogénique, ou caféyl-5 quinique 44b (118)
- cryptochlorogénique, ou caféyl-4 quinique 44c (118)
- dicaféyl-quiniques-3,4 (44d) -3,5 (44e) et 4,5 (44f) formant avec les acides précédents un mélange naturel décrit antérieurement sous le nom d'« acide isochlorogénique » (120)
- féruloyl-3 quinique 45a (118, 119)
- p-coumaroyl-3 quinique 45b (118).

Les acides-phénols libres sont peu abondants et peuvent constituer des artefacts de décomposition des depsides (1). On peut toutefois considérer comme acquise la présence des acides caféique 46a, férulique 46b, p. coumarique 46c, p. méthoxycinnamique 46d et diméthoxy-3,4 cinnamique 46e (3, 119) ainsi que celle de l'acide quinique 43 (1).



	R ₁	R ₂
46 a	OH	OH
b	OH	OCH ₃
c	OH	H
d	OCH ₃	H
e	OCH ₃	OCH ₃



Toutes ces substances sont difficiles à obtenir à l'état pur en raison de leur similitude physicochimique, leur oxydabilité et leur tendance à l'isomérisation, même en milieu neutre (120, 121). Comme on l'a vu précédemment, l'acide chlorogénique existe combiné, sous forme de sel de potassium, avec la caféine en un complexe π 42 (102). Le rapport caféine/chlorogénate peut varier suivant les échantillons (33), mais les teneurs du café vert en acide chlorogénique restent sensiblement parallèles à celles de la caféine. Elles s'étagent entre 2,7 et 10,3% (122, 123) et atteignent même 11,7 % dans des Robusta d'Angola (9). En effet, les Robusta sont plus riches que les Arabica (124), ce qui est normal si on tient pour acquis le parallélisme avec la caféine. Les Arabica ont des concentrations proches de celles des Robusta (66). Dans les *Mascarocoffea* dépourvues de caféine, on a des chiffres nettement plus bas, mais non nuls, en moyenne $0,6 \pm 0,2$ % (125). Les concentrations en acides-phénols ne dépendent pas du mode de préparation des cafés, quelle que soit leur origine (164).

La corrélation observée entre caféine et acides chlorogéniques est soit génétique (liaisons entre gènes codant la synthèse des deux produits), soit métabolique, la biosynthèse de l'acide chlorogénique étant stimulé par l'accumulation de la caféine dans les tissus

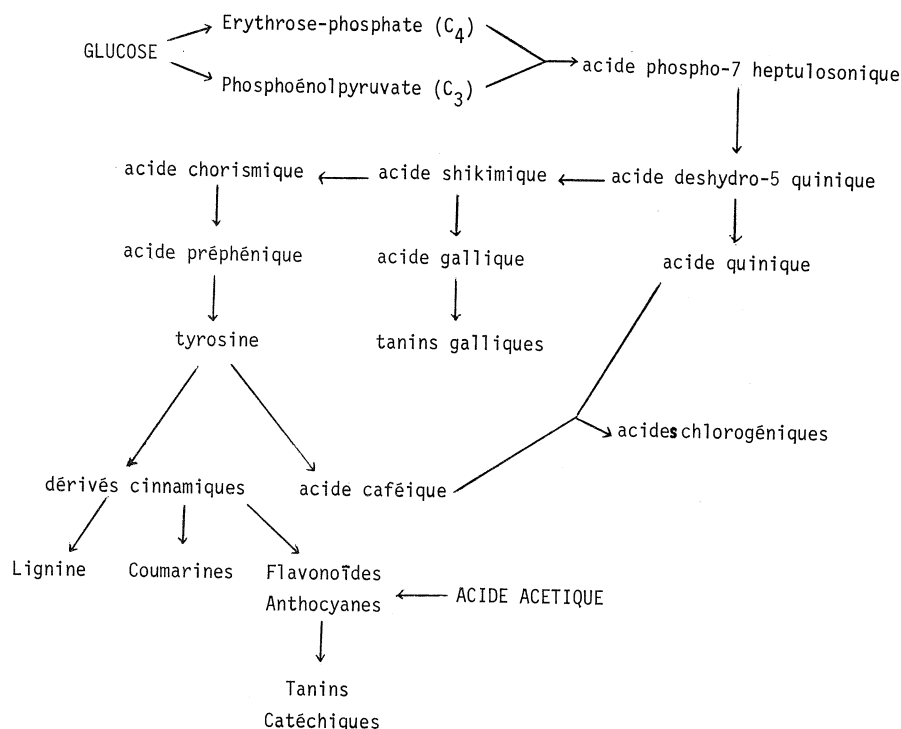
ou vice-versa (126). Cette question n'est pas encore actuellement élucidée malgré son intérêt.

Les acides-phénols constituent une importante classe de produits aromatiques. On connaît bien maintenant leurs relations biogénétiques avec les aminoacides aromatiques, les dérivés cinnamiques précurseurs de la lignine, les flavonoïdes, etc... (tableau XVII, p. 50). D'autre part, ils tirent leur origine de la tyrosine, elle-même issue en plusieurs étapes de l'acide déshydro-5 quinique élaboré à partir des glucides. L'acide quinique 43, qui dérive directement du précédent, est peu abondant à l'état libre et constitue surtout un intermédiaire biogénétique. Son abondante production dans le café, où on le retrouve combiné aux acides-phénols, mérite d'être notée.

La lignine, dont la proportion varie de 1,1 à 3,2 % (8) et la scopolétine, coumarine présente à l'état de traces (0,10 mg/kg chez *C. arabica*, 0,30 mg/kg chez *C. robusta* (128), entrent également dans les constituants phénoliques du café.

On remarquera que les polyphénols des plantes sont parfois élaborés en liaison avec des réactions de défense contre des agressions extérieures. Il a été ainsi constaté que des cafés de qualité inférieure, mal cultivés, avaient des teneurs en acide chlorogénique relativement plus élevées (127).

Tableau XVII. — Biosynthèse des composés aromatiques



Les phénols du café offrent d'autres sujets d'intérêt :

— étant oxydables, ils constituent un facteur de qualité. Leur teneur peut se trouver abaissée à l'issue de traitements défectueux, mais il faut confronter cette observation aux augmentations dues aux mauvaises pratiques agronomiques (voir ci-dessus). On accordera dans ce sens une attention particulière aux phénols hydrolysables ou libres, qui sont diminués dans les mauvais cafés tandis qu'apparaissent des quinones (76). Enfin, on verra plus loin que la coloration du café « vert » est peut-être en liaison avec les composés phénoliques.

— ils représentent des précurseurs de l'arôme du café torréfié. Les substances phénoliques libres, sans doute sous forme radicalaire, se combinent entre elles ou avec d'autres produits de pyrolyse pour donner les mélanoidines responsables de la coloration (24).

6. Constituants divers

Eau

La proportion d'eau du café est très variable suivant les échantillons, particulièrement en fonction des traitements subis. Elle oscille entre 10 et 18 % avec une

valeur courante de 10 à 13 % (1), la limite inférieure étant difficile à abaisser lors du séchage. L'eau a évidemment un rôle déterminant sur la conservation et la torréfaction. Des études récentes par R.M.N. ont tenté d'analyser l'état sous lequel l'eau se trouve dans les tissus des grains de café (129), car on sait qu'une grande partie est liée aux constituants macromoléculaires protéiques et surtout polysaccharidiques.

Substances minérales

Le café vert fournit 3 à 4 % de cendres (1). Des divers cations, le potassium est de loin le plus abondant (1,7 % des grains). Le sodium est par contre négligeable (6 ppm). Le potassium passe intégralement dans le café-boisson (134), ce qui ne peut être tenu pour indifférent du point de vue diététique. Sa concentration varie suivant les méthodes de traitement : elle est plus basse dans les cafés obtenus par voie humide (130) et on a supposé que le fait était lié à des phénomènes d'échange pendant le séjour en milieu aqueux.

Les oligoéléments décelés jusqu'ici sont nombreux (plus de 25) grâce à la sensibilité des méthodes spectroscopiques actuelles. Ils figurent dans le tableau XVIII (9, 131, 132, 133, 134).

Tableau XVIII. — Oligoéléments du Café (*)

Constants : Na, Si, Cl, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Br, Rb, Sr
 Variables : Al, Sc, V, Ni, As, Se, Mo, Cd, Cs, Ba, La, Ta, Au, Hg

(*) d'après :

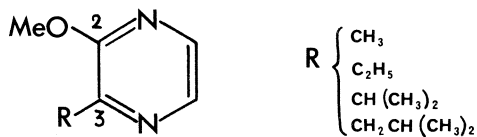
Mosiman (131), Peralta (132), Quijano-Rico (133), Roffi (9), Tserevitinoff (134).

Composés volatils

Bien que le café vert ne soit jamais utilisé tel quel en alimentation, divers auteurs se sont attachés à déterminer ses constituants volatils en particulier pour les comparer à ceux du café torréfié. Les nouvelles techniques de couplage entre la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse ont ici rendu de grands services.

On peut les regrouper en deux catégories totalisant maintenant une centaine de produits (135, 136) :

— les produits basiques : pyridines, quinoléines, pyrazines, pyrroles, arylamines. Les méthoxy-2 pyrazines 47 seraient en grande partie responsables de l'odeur *sui generis* du café (25, 135). Des polyamines, décelables par chromatographie, sont à mentionner également (spermine, spermidine, putrescine). Elles sont détruites par torréfaction (137).



47

— les produits neutres : carbures, furannes, alcools, aldéhydes, cétones, esters, phénols. Certains dérivés soufrés (diméthylsulfure, thiols) (138) seraient liés génétiquement à un colorant bleu (139) présent dans certaines variétés. D'autres sortes de café, d'Afrique orientale, renferment de l'éthanol (138).

Il est certain que des différences existent dans le spectre de ces constituants volatils selon la provenance et le mode de traitement des cafés.

On a recherché également les carbures aromatiques polycycliques. Leur proportion croît actuellement dans les produits agricoles et leur présence constitue un test de pollution, tant du sol que de l'air, dans les régions de production. Le résultat est négatif pour le café (140).

Colorants

Les grains de café « vert » ont en fait une coloration assez variable, qui permet de les classer, conjointement avec d'autres caractéristiques. La couleur constitue donc un index de qualité. On a trois types de colorants éventuels :

a) colorants verts

Une coloration verdâtre est en principe associée aux cafés de qualité. Elle se développe lors de la dessiccation à l'air, mais elle est absente après un séchage à l'obscurité ou par lyophilisation. Cette couleur est par ailleurs assez instable et disparaît après une insolation prolongée des graines (141).

Une théorie longtemps admise attribuait à l'acide chlorogénique l'origine de la coloration (d'où son nom), avec la formation d'un « acide viridique » qui n'a jamais été identifié. Des essais réalisés *in vitro* ont permis de préparer à partir d'acide chlorogénique un colorant bleu par oxydation à pH 8,7 en présence de Mg^{++} . On peut penser que la superposition de ce colorant avec une forme tautomère jaune de l'acide chlorogénique donne la teinte verte.

On doit toutefois noter que les conditions de formation s'éloignent de celles d'un tissu vivant, et Gibson (139) a émis l'hypothèse que la coloration résulterait d'une oxydation photochimique des diterpènes (Kahwéol, Cafestol) sous l'effet de radiations filtrées par la chlorophylle du tégument séminal. La réaction est reproductible *in vitro* par voie purement chimique avec l'acide trichloracétique en donnant un colorant bleu-vert assez stable, mais détruit par exposition prolongée à la lumière actinique. Sa structure est hypothétique. Cette théorie, applicable à des cafés Arabica obtenus par voie humide, ne peut rendre compte de la coloration des grains traités par voie sèche dont le péricarpe opaque subsiste pendant toute la durée du traitement.

b) colorants bleus

En plus de ceux qui viennent d'être cités, Gibson (139) a mis en évidence dans certains cafés bruts (ex. clone N39 de Tanzanie) un colorant bleu spécifique, génétiquement contrôlé, résistant aux traitements subis par les cerises ou les grains, et donnant à ces derniers une teinte bleuâtre.

c) colorants bruns

Les colorants bruns sont en principe indésirables, car ils proviennent de l'oxydation des polyphénols dont l'acide chlorogénique (139). On trouve là des tanoïdes

et des composés quinoniques (76). Des colorations analogues peuvent résulter de réactions de Maillard, amorcées lors d'un stockage défectueux en milieu tropical.

Comme on le voit, l'élucidation des mécanismes de coloration est importante pour l'amélioration des procédés de traitement et de la qualité des grains de café vert. Les colorants peuvent être aussi des marqueurs chimiotaxonomiques utiles lors des essais de sélection.

On a signalé également dans le café la présence d'**antigènes** dont certains sont liés au genre *Coffea*, d'autres plus spécifiques. Ils sont mis en évidence par chromatographie sur DEA-cellulose ou par électrophorèse (142). Leur intérêt pour la diagnose et le contrôle des échantillons de graines est certain, mais l'analyse devrait en être approfondie.

Des **allergènes** existeraient dans la poussière de café, responsables d'accidents chez des manipulateurs de café vert (143). La nature en est inconnue.

Griffin (90) a isolé par chromatographie des **protecteurs d'auxines**. L'un, de masse moléculaire voisine de 5 000, fluorescent en UV, est stable à la torréfaction.

Un autre, de masse supérieure à 200 000, existe dans les fruits verts, mais disparaît lors de la maturation, parallèlement à la baisse des polyphénoloxydases.

Les **composés vitaminiques** (tableau XIX) ont été recherchés en raison de l'emploi du café comme boisson. L'amide nicotinique (vitamine PP) n'existe pas dans le café vert et se forme lors de la torréfaction (81). On y a trouvé par contre des vitamines du groupe B (144) et de l'acide ascorbique, assez abondant dans les grains immatures (~ 1 %), notamment ceux de *C. canephora* (145).

Tableau XIX. — Substances vitaminiques du café [d'après Teply et Prier (144)]

Thiamine (B ₁)	0,21 mg/100 mg
Riboflavine (B ₂)	0,23
Acide pantothénique.	1,0
Acide folique	0,012
Facteur "citrovirum"	0,02
Pyridoxine (B ₆)	0,143
Vitamine B ₁₂	0,00011

FRUITS

1. Pulpe

Rappelons que l'on désigne sous le nom de **pulpe** l'épicarpe et la partie extérieure, facilement séparable, du mésocarpe. Le terme **mucilage** est appliqué à la partie du mésocarpe adhérent à l'endocarpe (parche). L'ensemble correspond à 45-65 % du poids des cerises (1).

Le tableau XX donne quelques chiffres sur la composition de la pulpe (1, 28). Là aussi, les variations sont importantes en fonction de facteurs génétiques et agronomiques.

Tableau XX. — Composition de la pulpe des fruits de *Coffea arabica*

[d'après Bressani, cité par Navellier (1) et Wilbaux (28)]

Eau	70-85 %
Protéines	2,1-2,4 %
Oligosaccharides	3
Cellulose	3-6
Pectines	1,4
Lipides	0,4
Caféine	0,2
Tanins	1,0
Matières minérales (cendres)	0,8-1,6

Des anthocyanes sont responsables de la coloration des cerises. Leur nature ne paraît pas avoir été précisée et leur développement, lors de la maturation, est parallèle à celui des sucres libres (saccharose) (146). D'autres polyphénols existent, mais ne sont pas identifiés.

Les protéines de la pulpe ont été examinées ces dernières années pour leur intérêt dans la nourriture du bétail, eu égard aux tonnages considérables de pulpe récupérables. Elles représentent en effet 10 % du poids sec et leur composition se rapproche de celle du soja avec une forte teneur en lysine (147, 148), mais très peu d'acides aminés soufrés (149). On a tenté de les utiliser dans l'alimentation animale, mais avec des fortunes diverses dues à une digestibilité médiocre (149, 150).

Les polysaccharides sont à prendre en considération du point de vue technologique. Leur élimination durant le traitement des cerises s'accompagne de fermentations surtout acides. Mal maîtrisées, notamment dans les procédés par voie sèche, elles altèrent sérieusement la qualité des cafés en grains.

On a signalé l'existence dans la pulpe d'une polyphénoloxydase inhibée par le métabisulfite. Ce fait a été mis à profit pour améliorer sa conservation (148, 149).

Parmi les autres constituants notables (tableau XX), sont à signaler de faibles quantités d'acides nucléiques

(94), d'acide ascorbique (145), d'acide nicotinique et de trigonelline (0,50%). La caféine, également présente, a une importance du point de vue biogénétique comme on l'a vu plus haut.

Le **mucilage**, riche en eau ($87 \pm 7\%$), ne contient ni caféine, ni polyphénols. La matière sèche est surtout constituée de monosaccharides (glucose, fructose), oligosaccharides (30%, saccharose et raffinose), des polysaccharides neutres (20%) et de pectines (*C. robusta*: 30%, *C. arabica* et Excelsoïdes moins riches) (*). Les protéines et les enzymes (pectases) sont peu abondantes (151, 152). Les pectines sont donc les plus intéressantes et leur structure a été entreprise. Elles donnent par hydrolyse plusieurs sucres : D-galactose, L-arabinose, D-xylose, L-rhamnose, D-glucose (traces) et surtout de l'acide galacturonique (75-80%). Celui-ci forme une ossature poly- α -D (1 \rightarrow 4) galacturonique avec des branchements (1 \rightarrow 6) portant les sucres, surtout galactose et arabinose (153, 154). Les

(*) A titre comparatif, les fruits de Rutacées-Aurantiées (orange, pamplemousse, etc...) ont des teneurs voisines, alors que les betteraves en renferment 20% et les pommes 15%.

pectines du mucilage, également disponibles en grande quantité, pourraient concurrencer des pectines d'autres origines, d'autant qu'elles rappellent celles de la pomme par leurs propriétés (152). Toutefois, les traitements par voie sèche les dégradent rapidement et elles sont irrécupérables de cette façon (155).

2. Parche

L'endocarpe du fruit du caféier (parche) est caractérisé par une structure scléreuse. On y retrouve les constituants de la pulpe, mais avec une forte proportion de cellulose (50%), d'hémicellulose (20%) et de lignine (20%). (1, 156, 157). Il contient également un peu de caféine, autour de 0,15% (2). Sa valeur nutritive pour le bétail serait médiocre (156).

La **pellicule argentée** recouvrant les graines est en grande partie éliminée avec l'endocarpe lors du déparchage ou du décorticage. Elle contient un peu de chlorophylles *a* et *b* (rapport *a/b* = 3), qui joueraient un rôle de filtre dans les processus photochimiques participant à la coloration des grains pendant leur séchage (139). On y trouve également 0,25% de caféine (2).

II. — CHIMIOTAXONOMIE DES CAFÉS

Les études chimiotaxonomiques à l'intérieur du genre *Coffea* sont limitées malgré le grand nombre d'espèces connues. Les auteurs qui ont abordé cette question ont comparé les teneurs des graines en certains constituants caractéristiques, chez diverses espèces sauvages ou cultivées : acide chlorogénique (33, 123), stérols (33), caféine (33, 103) (*), lipides (28, 34), trigonelline (125), principes amers des *Mascarocoffea* (125, 158), antigènes (142).

(*) Pour des travaux plus anciens, voir l'ouvrage de Wehmer (2).

Il y a lieu d'être prudent pour extraire de ces études des données taxonomiques valables, car il faut s'assurer exactement des espèces ou variétés d'origine, des conditions de développement ou de récolte qui peuvent influencer de façon non négligeable la composition des graines, ainsi que cela a été souligné précédemment. De telles recherches, conduites également sur d'autres parties de la plante, sont intéressantes à développer tant pour la prospection de nouvelles espèces exploitables que pour élucider la phylogénèse des caféiers, conjointement avec d'autres méthodes [génétiques, embryogéniques, sérologiques, palynologiques, etc...]

III — BIOCHIMIE DES CULTURES DE TISSUS DE « COFFEA »

La culture des tissus végétaux a fait de grands progrès dans la dernière décennie avec, en particulier, la mise au point des cultures de cellules en suspension qui peuvent bénéficier de toute l'expérience acquise en microbiologie industrielle dans la production des microorganismes en milieu submergé.

Les applications au café ne seront que brièvement évoquées, un exposé leur étant consacré lors de ce colloque (159).

On s'est surtout préoccupé jusqu'ici de comparer la composition des cultures de tissus de *Coffea* avec celle des graines entières et d'analyser leur aptitude à la

biosynthèse des divers constituants du café vert, notamment la caféine. L'école de Townsley a montré que les cultures de cellules de *C. arabica* produisent les mêmes stérols que les graines dont les principaux sont le stigmastérol, le sitostérol et le campestérol (160). Les acides gras ont également une composition voisine, sauf pour l'acide linoléique qui est plus abondant (161). Les cultures produisent également de la caféine et de l'acide chlorogénique : les teneurs sont inférieures à celles du café vert et la concentration en acide chlorogénique évolue avec l'âge de la culture en passant par un maximum (162). La production des lipides peut être augmentée en utilisant des facteurs de croissance

appropriés (163). Cette série d'essais a finalement conduit à essayer la torréfaction des tissus cultivés : on obtient un produit aromatique dont les qualités organoleptiques varient beaucoup avec les conditions et l'âge des cultures (163). D'autre part, à la suite d'Ogutuga (111), Wanner et Baumann se sont attachés à l'emploi des cultures de divers tissus du fruit pour l'étude de la biogenèse de la caféine, parallèlement à d'autres études sur le caféier entier (*vide supra*) (107). Une étape ultérieure devrait être l'isolement des systèmes enzymatiques responsables de l'élaboration de la caféine, et leur emploi dans des expériences en milieu acellulaire.

CONCLUSION

En conclusion, si cette revue montre les nombreux résultats acquis dans la connaissance de la chimie du café vert depuis quelques années, elle en souligne aussi les lacunes. En particulier, l'analyse des cafés « Robusta » n'est pas aussi complète que celle des « Arabica » tandis qu'il n'y a pratiquement rien sur les autres espèces, même si la plupart n'ont aucun intérêt économique. Certes, on touche là le domaine des recherches fondamentales, mais on ne doit pas les

exclure pour le café, car elles aboutissent toujours, tôt ou tard, à des résultats exploitables.

On doit également remarquer que le nombre de travaux concernant la composition du café, tant vert que torréfié, va en s'accroissant depuis une dizaine d'années. Ce n'est pas par hasard qu'on les trouve fréquemment rapportés dans les différents Colloques de l'ASIC, dont le rôle apparaît ainsi déterminant.

BIBLIOGRAPHIE

1. P. NAVELLIER, in: R. COSTE. — Les Caféiers et les Cafés dans le Monde, 2, 163-220, 1955-61. Larose.
2. C. WEHMER. — Die Pflanzenstoffe, 2^e Ed., 1931. Suppl. 1935, vol. 2, 1169, Suppl., 56. G. Fisher Verlag, Iena.
3. O.G. VITZTHUM, in: O. EICHLER. — Kaffee und Coffein, 2^e Ed., 1975. Springer-Verlag.
4. H. STREULI. — 6^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1973, 61-72.
5. H. STREULI, in: J. SCHORNMULLER. — Handbuch der Lebensmittelchemie, 6, 1-95. 1970, Springer-Verlag.
6. M. BAREL, F. CHALLOT, J.-C. VINCENT. — *Café Cacao Thé*, 1976, 20, 129-34 (2).
7. C. LEVI, H.L. TRENK, M.K. MOHR. — *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1974, 57, 866-70 (4).
8. H. HADORN, H. SUTER. — *Mitteil. Lebensm. Hyg.*, 1956, 47, 33-51.
9. J. ROFFI, A. CORTE DOS SANTOS, J.T. MEXIA, F. BUSSON, M. MAIGROT. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 179-200.
10. G. PICTET, A. MOREAU. — 4^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1969, 75-84.
11. U. KRÖPLIEN. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 217-23.
12. J.C. GLOMAUD, F. PERCHERON, J.E. COURTOIS. — 2^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1965, 39-43.
13. M.L. WOLFROM, R.A. PLANKETT, M.L. LAVER. — *J. Agr. Food Chem.*, 1960, 8, 58-65.
14. M.L. WOLFROM, M.L. LAVER, D.L. PATIN. — *J. Org. Chem.*, 1961, 26, 4533-35.
15. M.L. WOLFROM, D.L. PATIN. — *J. Agr. Food Chem.*, 1964, 12, 376-77.
16. M.L. WOLFROM, D.L. PATIN. — *J. Org. Chem.*, 1965, 30, 4060-63.
17. H. THALER. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1970, 143, 342-48 (5).
18. Y. HASHIMOTO, Y. TSUJISAKA, J. FUKIMOTO. — *Kagaku To Kogyo* (Osaka), 1970, 44, 230-33 (5).
19. Y. HASHIMOTO, J. FUKIMOTO. — *Nippon Nogci Kagaku Kaishi*, 1969, 43, 317-22 (5).
20. Y. HASHIMOTO, J. FUKIMOTO. — *Nippon Nogci Kagaku Kaishi*, 1971, 45, 147-50.
21. H. THALER. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 175-87.
22. M. SHADAKSHARASWAMY, G. RAMACHANDRA. — *Curr. Sci.*, 1968, 37, 583-84 (20).
23. H. THALER, W. ARNETH. — 3^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1967, 127-36.
24. W. BALTES. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 91-107.
25. G.V. ODELL. — 6^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1973, 312-18.

26. J. POKORNY, NGUYEN-HUY CON, E. SMIDRKA-LOVA. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1975, **158**, 87-92.
27. H.V. AMORIM, A.A. TEIXEIRA, O. BREVIGLIERI, V.F. CRUZ, E. MALAVOLTA. — *Turrialba*, 1974, **24**, 214-16 (2).
28. R. WILBAUX. — Les Caféiers du Congo Belge, Direction de l'Agriculture, Bruxelles. 1956, p. 11-14.
29. P. FOLSTAR. — Thèse de Doctorat. Landbouwhogeschool Wageningen, 1976, 65 p + VII. Agr. Res. Rep. 854.
30. U. KRÖPLIEN. — Cité par P. Folstar. Ref. (29).
31. M.N. CLIFFORD. — *Process. Biochem.*, 1975, **10**, 20-23, 29 (2).
32. A. CARISANO, L. GARIBOLDI. — *J. Sci. Food Agric.*, 1964, **15**, 619-22.
33. F. CHASSEVENT, G. DALGER, S. GERWIG, J.-C. VINCENT. — *Café Cacao Thé*, 1974, **18**, 49-56 (1).
34. M.H.C. LOPES. — *Café Cacao Thé*, 1974, **18**, 263-76 (4).
35. H.P. KAUFMANN, R.S. HAMSAGAR. — *Fette Seifen Anstrichm.*, 1962, **64**, 206-14 (3).
36. B. REWALD. — *Oil and Soap*, 1946, **23**, 19-20.
37. B.A. NAGASAMPAGI, J.W. ROWE, R. SIMPSON, L.J. GOAD. — *Phytochem.*, 1971, **10**, 1101-07
38. T. ITOH, T. TAMURA, T. MATSUMOTO. — *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 1973, **50**, 122-25 (4), 300-03 (8).
39. A. ALCAIDE, M. DEVYS, M. BARBIER, H.P. KAUFMANN, A.K. SEN GUPTA. — *Phytochem.*, 1971, **10**, 209-10.
40. H.P. KAUFMANN, A.K. SEN GUPTA. — *Fette Seifen Anstrichm.*, 1964, **66**, 461-66 (6).
41. N.A. KHAN, J.B. BROWN. — *J. Amer. Oil. Chem. Soc.*, 1953, **30**, 606-09.
42. J. WURZIGER. — *Fette Seifen Anstrichm.*, 1976, **78**, 172-76 (4).
43. E. LEDERER. — *Quart. Rev.*, 1969, **23**, 453-81 (4).
44. P. BENVENISTE, L. HIRTH, G. OURISSON. — *Phytochem.*, 1966, **5**, 31-45.
45. R.B. CLAYTON, K. BLOCH. — *J. Biol. Chem.*, 1956, **218**, 305-18.
46. J. WURZIGER. — *Fette Seifen Anstrichm.*, 1976, **78**, 436 (11).
47. R.A. FINNEGAN, C. DJERASSI. — *J. Amer. Chem. Soc.*, 1960, **82**, 4342-44, et réf. citées.
48. R.D. HAWORTH, R.A.W. JOHNSTONE. — *J. Chem. Soc.*, 1957, 1492-96.
49. H.P. KAUFMANN, A.K. SEN GUPTA. — *Chem. Ber.*, 1963, **96**, 2489-98.
50. I. WAHLBERG, C.R. ENZELL, J.W. ROWE. — *Phytochem.*, 1975, **14**, 1677.
51. H. OBERMANN, G. SPITELLER, G.A. HOYER. — *Chem. Ber.*, 1973, **106**, 3506-18.
52. H. OBERMANN, G. SPITELLER. — *Chem. Ber.*, 1975, **108**, 1093-1100.
53. H. LUDWIG, H. OBERMANN, G. SPITELLER. — *Chem. Ber.*, 1974, **107**, 2409-11.
54. H. OBERMANN, G. SPITELLER. — *Chem. Ber.*, 1976, **109**, 3450-61.
55. H. RICHTER, H. OBERMANN, G. SPITELLER. — *Chem. Ber.*, 1977, **110**, 1963-70.
56. M. HAMONNIÈRE. — *Café Cacao Thé*, 1974, **18**, 277-78 (4).
57. A. DUCRUIX, M. HAMONNIÈRE, C. PASCARD, J. POISSON. — *Café Cacao Thé*, 1975, **19**, 57-58 (1).
58. A. DUCRUIX, C. PASCARD, M. HAMONNIÈRE, J. POISSON. — *Acta Crystal.*, 1977, **B 33**, 2846-50.
59. J. de ROSTOLAN, J. POISSON. — *Café Cacao Thé*, 1970, **14**, 47-49 (1).
60. J. POISSON, E. WENKERT. — Résultat non publié.
61. J.R. HANSON. — *Fort. Chem. Org. Naturstoffe*, 1971, **29**, 395-416.
62. U. HARMS, J. WURZIGER. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1968, **138**, 75-80 (2).
63. J. WURZIGER, U. HARMS. — 4^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1969, 85-91.
64. J. WURZIGER. — *Ann. Fals. Expertise Chim.*, 1973, **66**, 1-18 (707).
65. HAG AG. Brevet Allemand n° 2 156 944 (1973). Chem. Abstr., 1975, **79**, 35126d.
66. J.-C. VINCENT. — (IFCC, Montpellier), communication personnelle.
67. W.O. ROSELIUS, O. VITZTHUM, P. HUBERT. — Brevet Allemand n° 2 031 830 (1971).
68. H. FONSECA, L.E. GUTIERREZ, A.A. TEIXEIRA. — *An. Esc. Super. Agric. « Luiz de Queiroz »*, 1974, **31**, 495-507.
69. G. BARBIROLI. — *Rassensia Chimica*, 1965, **17**, 220-25 (5).
70. H. THALER, R. GAIGL. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1963, **120**, 357-63.
71. H. THALER, R. GAIGL. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1962, **119**, 10-25.
72. H.V. AMORIM, R.V. JOSEPHSON. — *J. Food Sci.*, 1975, **40**, 1179-84 (6).
73. H.V. AMORIM, A.A. TEIXEIRA, M. MELO, V.F. CRUZ, E. MALAVOLTA. — *Turrialba*, 1975, **25**, 18-24 (1).
74. W. BERNDT, E. MEIER-CABELL. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 225-32.
75. M. CENTI-GROSSI, C. MASSI-MICCO, V. SILANO. — *Phytochem.*, 1969, **8**, 1749-51.
76. H.V. AMORIM, A.A. TEIXEIRA, M. MELO, V.F. CRUZ, E. MALAVOLTA. — *Turrialba*, 1974, **24**, 304-08 (3).
77. W. WALTER, J.C. GRIGAT, J. HEUKESHOVEN. — *Naturwiss.*, 1970, **57**, 246-47 (5).
78. L.S. CAMPOS, J.L.L. RODRIGUES. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 91-96.
79. A. PEREIRA Jr., M.M. PEREIRA. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 85-90.
80. E. DE OLIVEIRA, B. CAMPOS, K. KIZAWA. — *Rev. I.B.P.T. Curitiba*, 1970, 11-13 (15).
81. E.B. HUGUES, R.F. SMITH. — *J. Soc. Chem. Ind.*, 1946, **65**, 284-86.
82. E. DE OLIVEIRA, B. CAMPOS, K. KIZAWA. — *Rev. I.B.P.T. Curitiba*, 1970, 14-15 (15).
83. H. KENDE. — *Ber. Schweiz. Botan. Ges.*, 1960, **70**, 232-67.
84. H. WANNER, K. BLAIM. — *Planta*, 1961, **56**, 499-500.
85. H. WANNER, H. KENDE, P. FAHRNI. — *Flora*, 1960, **149**, 162-66.
86. N. HARPAZ, H.M. FLOWERS, N. SHARON. — *Biochim. Biophys. Acta*, 1974, **341**, 213-21.
87. M. SHADAKSHARASWAMY, G. RAMCHANDRA. — *Enzymologia*, 1968, **35**, 93-99 (2).
88. A. GERMAN, A. VALENCIA. — *Cenicafé*, 1972, **23**, 3-18 (1).
89. H.V. AMORIM, D.M. SILVA. — *Esc. Super. Agr. « Luiz de Queiroz » Bol. Tec. Cient.*, 1968, 1-16 (31).

90. B. GRIFFIN, T.S. STONIER. — *Physiol. Plant.*, 1975, **33**, 157-60 (2).
91. H.V. AMORIM, M.G. LEGENDRE, V.L. AMORIM, A.J. SAN ANGELO, R.L. ORY. — *Turrialba*, 1976, **26**, 193-95 (2).
92. B. ROTENBERG, A. IACHAN. — *Rev. Brasil. Tecnol.*, 1972, **3**, 155-59 (3).
93. R.C. PAYNE, A.R. OLIVEIRA, D.E. FAIRBROTHERS. — *Biochem. Syst.*, 1973, **1**, 59-61.
94. G.N. DE, J.J. GHOSH, K.C. BHATTACHARYA. — *Phytochem.*, 1972, **11**, 3349-53 (11).
95. H. MICHL, F. HABERLER. — *Monatsh. Chem.*, 1954, **85**, 779-95.
96. E.G. BROWN. — *Biochem. Soc. Trans.*, 1975, **3**, 1199-1202 (6).
97. T. de A. CAMARGO. — *J. Biol. Chem.*, 1924, **58**, 831-34.
98. C. FRANZKE, K.S. GRUNERT, V. HILDEBRANDT, H. GRIEHL. — *Pharmazie*, 1968, **23**, 502-03 (9).
99. G. LEHMANN, P. MARTINOD. — *Z. Physiol. Chem.*, 1965, **341**, 155-56 (1/2).
100. N. MARAVALHAS. — *Inst. Nac. Pesquisas Amazonia, Publ. Quim.*, 1965, 17-25 (10).
101. S. TABAK, A. DEL'ACQUA, M.L. RIBEIRO, L.P. DIAS. — *An. Acad. Brasil. Cienc.*, 1969, **41**, 59-62 (1).
102. I. HORMAN, R. VIANI. — *J. Food Sci.*, 1972, **37**, 925.
103. A. CHARRIER, J. BERTHAUD. — *Café Cacao Thé*, 1975, **19**, 251-64.
104. G. BERTRAND. — *C.R. Acad. Sci.*, 1905, **141**, 209-11.
105. J.M. BUCHANAN, S.C. HARTMAN. — *Adv. Enzymol.*, 1959, **21**, 199-261.
106. L. ANDERSON, M. GIBBS. — *J. Biol. Chem.*, 1962, **237**, 1941-44.
107. H. KELLER, H. WANNER, T.W. BAUMANN. — *Planta*, 1972, **108**, 339-50 (4).
108. E. PREUSSER. — *Biol. Zentralbl.* 1967, **86**, 485-94 (4).
109. A.J. GUARINO, in P. BERNFELD. — *Biogenesis of Natural Compounds*, p. 31-82, 1967. Acad. Press.
110. E. LOOSER, T.W. BAUMANN, H. WANNER. — *Phytochem.*, 1974, **13**, 2515-18.
111. D.B.A. OGUTUGA, D.H. NORTHCOTE. — *Biochem. J.*, 1970, **117**, 715-720.
112. T. SUZUKI, E. TAKAHASHI. — *Phytochem.*, 1976, **15**, 1235-39.
113. T.W. BAUMANN, H. WANNER. — *Planta*, 1972, **108**, 11-20.
114. D. KALBERER. — *Nature*, 1965, **205**, 597-98.
115. M. OECHSLIN, T.W. BAUMANN, H. WANNER. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 221-24.
116. H. WANNER, M. PESAKOVA, T.W. BAUMANN, R. CHARABULA, A. GUGGISBERG, M. HESSE, H. SCHMID. — *Phytochem.*, 1975, **14**, 747-50.
117. J. SCHORMUELLER, W. BRANDENBURG, H. LANGNER. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1961, **115**, 226-35.
118. C. LENTNER, F.E. DEATHERAGE. — *Chem. Ind.*, 1958, 1331-2.
119. G. PICTET, H. BRANDENBERGER. — *J. Chromat.*, 1960, **4**, 396-409.
120. M.L. SCARPATI, M. GUIISO. — *Tetrahedron Letters*, 1964, **17**, 2851-53 (39).
121. R.R. PARIS, M. NISHIO. — *C.R. Acad. Sci.*, 1970, **270**, (D), 1465-67.
122. G. LEHMANN, H.G. HAHN, O. LUZURIAGA. — *Deut. Lebensm. Rundsch.*, 1967, **63**, 273-75.
123. M.L.C. CARELLI, C.R. LOPES, L.C. MONACO. — *Ciência e Cultura*, 1974, **26** (Suppl.), 241-44 (6).
124. M.N. CLIFFORD, J. WIGHT. — *J. Sci. Food Agric.*, 1976, **27**, 73-84 (1).
125. F. CHASSEVENT, M. D'ORNANO, S. POU-GNEAUD. — *Café Cacao Thé*, 1967, **11**, 235-49 et 343-50.
126. H. RABECHAU. — cité par F. CHASSEVENT. Réf. (33).
127. H.V. AMORIM, A.A. TEIXEIRA, M.A. GUERCIO, V.F. CRUZ, E. MALAVOLTA. — *Turrialba*, 1974, **24**, (2), 217-221.
128. H. THIER, J. BRICOURT, R. VIANI, D. REYMOND, R.H. EGLI. — *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 1968, **137**, 1-4.
129. J. RODRIGUEZ, G. FRITSCH, J. DIAZ S. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 153-58.
130. R.J. CLARKE, L.J. WALKER. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 159-63.
131. W. MOSIMANN, O. HÖGL. — *Mitteil. Lebensm. Hyg.*, 1960, **51**, 266-92.
132. L.A.B. FERREIRA, M.A.C. FRAGOSO, M.F. PERALTA, M.C.C. SILVA, M.C. REBELO. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 51-69.
133. M. QUIJANO-RICO, B. SPETTEL. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 165-73.
134. O.B. TSEREVITINOV, E.M. PADARYAN, E.V. ANDREEVA, P.L. BUNEEVA. — *Vopr. Pitan.*, 1972, **30**, 85-90. *Biol. Abstr.*, 1972, **55**, 25518.
135. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF, E. ABLANQUE. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 115-23.
136. C. MERRITT Jr, D.H. ROBERTSON, D.J. Mc ADOO. — 4^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1969, 144-48.
137. H.V. AMORIM, L. C. BASSO, O.J. CROCOMO, A.A. TEIXEIRA. — *J. Agr. Food Chem.*, 1977, **25**, 957-58 (4).
138. A. GIBSON. — 6^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1973, 319-24 ; 325-31.
139. A. GIBSON. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 246-58.
140. U. BRACCO. — *Riv. Ital. Sost. Grasse*, 1973, **50**, 166-76 (6).
141. J.M. NORTHMORE. — 3^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1967, 405-14.
142. M.A. FUKS, E.F. TOROS. — *Ciência e Cultura* (São Paulo), 1971, **23**, 411-12, (6).
143. S.B. LEHRER, R.M. KARR, J.E. SALVAGGIO. — *Ann. Allergy*, 1977, **38**, 305 (4), in *Biöres. Index*, 1977, **13**, 64334 (8).
144. L.J. TEPLY, R.F. PRIER. — *J. Agr. Food Chem.*, 1957, **5**, 375-77.
145. N. VASUDEVA, N.H. GOPAL. — *J. Coffee Res.* (India), 1972, **2**, 23-26 (4).
146. S.E.M. MUTISO. — *Kenya Coffee*, 1971, **36**, 281-82.
147. R. BRESSANI, E. ESTRADA, R. JARQUIN. — *Turrialba*, 1972, **22**, 299-304 (3).
148. R. BRESSANI. — 1^{re} Réunion sur l'utilisation des sous-produits du café. San José, Costa Rica, 1974.
149. J. ZULUAGA-VASCO, C. BONILLA, M. QUIJANO-RICO. — 7^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1975, 233-42.
150. J. RUBIO, J. PINEDA. — 1^{re} Réunion sur l'utilisation des sous-produits du café. Costa-Rica, 1974.
151. C. ROLZ, J.F. MENCHU, R. ESPINOSA, A. GAR-

CIA-PRENDES. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1971, 259-69.

152. G. SUDHAKARA RAO. — *J. Coffee Res.* (India), 1975, **5**, 29-35 (1/2).

153. J.B.C. CORREA, S. ODEBRECHT, J.D. FONTANA. — *An. Acad. Brasil Cienc.*, 1974, **46**, 349-56 (2).

154. J.B.C. CORREA, E.O. COELHO, J.D. FONTANA. — *An. Acad. Brasil Cienc.*, 1974, **46**, 357-60 (2).

155. B.J. FRANCIS. — *Tropical Science*, 1975, **17**, 33-44 (1).

156. B. MURILLO. — 1^{re} Réunion sur l'utilisation des sous-produits du Café. Costa-Rica, 1974.

157 M. SOLDEVILLA, P.F. RANDEL. — *Rev. Agricult. Puerto-Rico*, 1970, **56**, 53-59 (1/2).

158. J. DE ROSTOLAN. — 5^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1973, 149-53.

POISSON (J.). — **Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 33-57, fig., tabl., réf.

Le fruit du caféier est à l'origine de la suite d'opérations conduisant au café comestible et les diverses manipulations mises en œuvre dans la technologie caféière sont influencées par sa composition. La connaissance de cette dernière, avec ses variations, est donc utile pour mieux comprendre l'importance et la signification des opérations et, éventuellement, les rationaliser. On rappelle la composition des différentes parties du fruit et principalement des graines. Du point de vue biochimique, la biosynthèse et le métabolisme de la caféine, principe physiologiquement actif majeur du café, sont évoqués dans la mesure où leur connaissance peut conduire ultérieurement à l'obtention de variétés de caféiers sans caféine. La formation des autres constituants les plus intéressants (acides-phénols, trigonelline, terpènes, etc.) est également abordée.

159. T.W. BAUMANN, H. WANNER. — 8^e Colloque Sc. Int. Café, 1977. Communication p. 135-137.

160. F. VAN DE VOORT, P.M. TOWNSLEY. — *Canad. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1975, **8**, 199-201 (4).

161. F. VAN DE VOORT, P.M. TOWNSLEY. — *Canad. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1974, **7**, 82-85 (1).

162. E. BUCKLAND, P.M. TOWNSLEY. — *Canad. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1975, **8**, 164-65 (3).

163. P.M. TOWNSLEY. — *Canad. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1974, **7**, 79-81 (1).

164. F. CHASSEVENT, J.-C. VINCENT, D. HAHN, S. POUGNEAUD, R. WILBAUX. — 4^e Colloque Int. Chim. Cafés, 1969, 179-85.

165. J.E. COURTOIS, A. WICKSTRÖM, P. LE DIZET. — *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1956, **38**, 851.

POISSON (J.). — **Chemical and biological aspects of the composition of raw coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 33-57, fig., tabl., réf.

The fruit of the coffee tree is at the beginning of a sequence of operations leading to edible coffee and its composition influences the various technological processes. The knowledge of its composition, as well as of its variations, is useful for a better understanding of the importance and sense of the manufacture and for its rationalization. An account of constituents of the different parts of the berries, mainly the beans, is drawn up. Biosynthesis and metabolism of caffeine is called back to mind in so far as its knowledge could lead to obtaining further varieties of caffeine-free *Coffea*. The formation of some other important constituents (phenolic acids, trigonelline, terpenoids, ...) is also reviewed.

STRUCTURE FINE DU GRAIN DE CAFÉ VERT

E. DENTAN

Société d'Assistance technique pour produits Nestlé S.A.
Laboratoire de Microscopie

L'histologie du grain de café est établie depuis de nombreuses années. Cependant, à l'échelle de l'ultrastructure, il n'existe que peu ou pas de travaux connus. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude dans ce sens sur des grains de café Robusta, originaires de Côte d'Ivoire. Nous avons utilisé d'une part des cerises fraîches, cueillies à maturité, et d'autre part des grains verts, tous de même provenance. Seuls seront examinés les tissus de réserve des cotylédons, l'embryon étant momentanément laissé de côté.

Pour les études histo-chimiques, en microscopie optique, les grains sont mis à fixer « *in toto* » plusieurs jours dans du formol tamponné. Afin d'éviter toute extraction de lipides, ces grains sont coupés sous congélation, à des températures comprises entre -15 et -20 °C. L'épaisseur des coupes est de l'ordre de 10μ . Ces coupes sont montées à sec sur des lames porte-objets, puis colorées suivant diverses techniques, selon ce que l'on désire mettre en évidence. [Les techniques sont toutes celles décrites par Pearse (4)]. La figure 1, p. 60, montre l'aspect d'une telle coupe faite à travers un cotylédon entier.

En ce qui concerne la microscopie électronique, on procède différemment. On prélève sur les grains non fixés, des tranches de 1 à 1,5 mm d'épaisseur. On découpe dans ces tranches des petits blocs d'environ 1 mm de côté. Les zones de prélèvement sont les suivantes : couche épidermique, parenchyme sous-jacent, parenchyme plus profond, région centrale contenant le mucilage. Ces petits blocs sont fixés en premier lieu dans un mélange glutaraldéhyde-paraformaldéhyde, puis dans l'acide osmique selon la technique de Karnovski (3), déshydratés et enrobés dans des résines synthétiques. Une des grosses difficultés rencontrées est la mauvaise pénétration des milieux d'enrobage, car les grains de café ont des parois particulièrement épaisses. L'utilisation du mélange de Spurr (5), peu visqueux, a résolu en partie ce problème.

Après polymérisation, ces petits blocs sont coupés à l'ultramicrotome. Les coupes de quelques dizaines de nm d'épaisseur sont finalement « colorées » par des métaux lourds avant d'être examinées au microscope électronique à transmission.

Notre étude a porté essentiellement sur deux points :

- A. Les parois cellulaires
- B. Le contenu cytoplasmique

des cellules parenchymateuses des cotylédons.



A. Parois cellulaires

Les parois cellulaires du cotylédon de café (à l'exclusion de l'embryon) présentent trois caractéristiques ; elles sont particulièrement épaisses, ne comportent pas d'espace intercellulaire et ont souvent une structure nodale.

Ces parois sont épaisses, car elles contiennent, à l'instar d'autres espèces (telles *Phoenix*, *Diospyros*, *Asparagus*), une hémicellulose particulière, qui va servir de substance de stockage et sera utilisée pendant la germination (1). Cette hémicellulose n'est pas liée à la cellulose, ni à des acides uroniques. Elle peut être extraite à l'eau. Comme tissu de réserve, elle est formée généralement de galactoaraban, mannan et xylan (2). Ces parois cellulaires contiennent également une certaine quantité de lignine (fig. 2, p. 60) essentiellement logée dans les parois primaires et les nodosités.

L'examen en microscopie électronique, après coloration spécifique des polysaccharides par l'acide phosphotungstique dans HCl concentré, montre que si ces parois ne comportent pas d'espaces intercellulaires, elles sont traversées par de nombreux canaux (plasmodesmata) qui relient les cellules les unes aux autres (fig. 3). On peut également observer quelques incrustations de petits cristaux (oxalate de calcium ?). De plus,

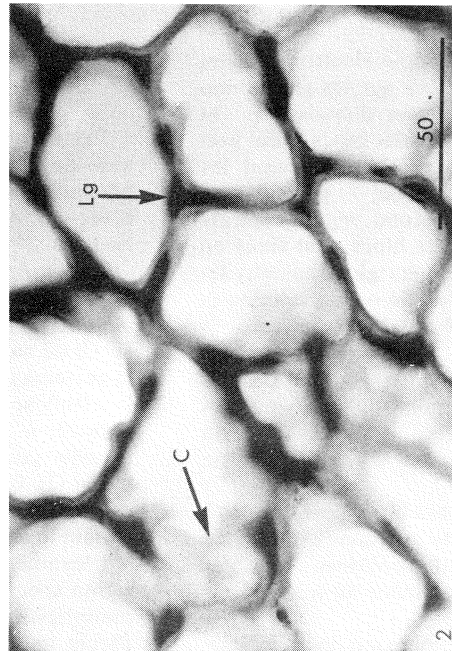
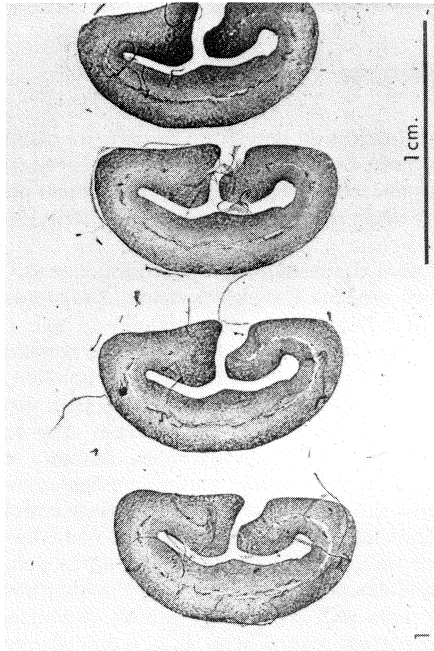


Fig. 1. — X 5,3. Coupe à travers un cotylédon entier, montrant sa forme caractéristique. L'embryon n'est pas visible sur ces préparations.

Fig. 2. — X 750. Parois cellulaires du tissu parenchymateux. Microscopie optique. Coloration par Fast green FCF-safranine. La cellulose (C) est en gris clair, la lignine (Lg) en gris sombre.

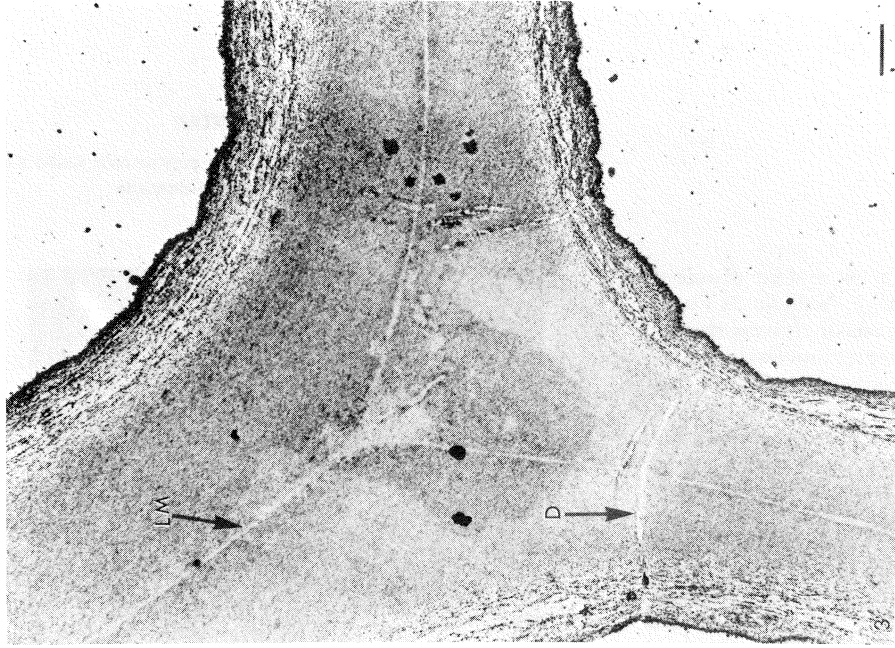


Fig. 3. — X 9 800. Parois cellulaires du tissu parenchymateux. Microscopie électronique à transmission. Coloration des polysaccharides par PTA/HCl concentré. La lamelle moyenne (LW) n'est pas colorée. On distingue nettement les plasmadesmosomes (D) qui traversent la paroi de part en part.

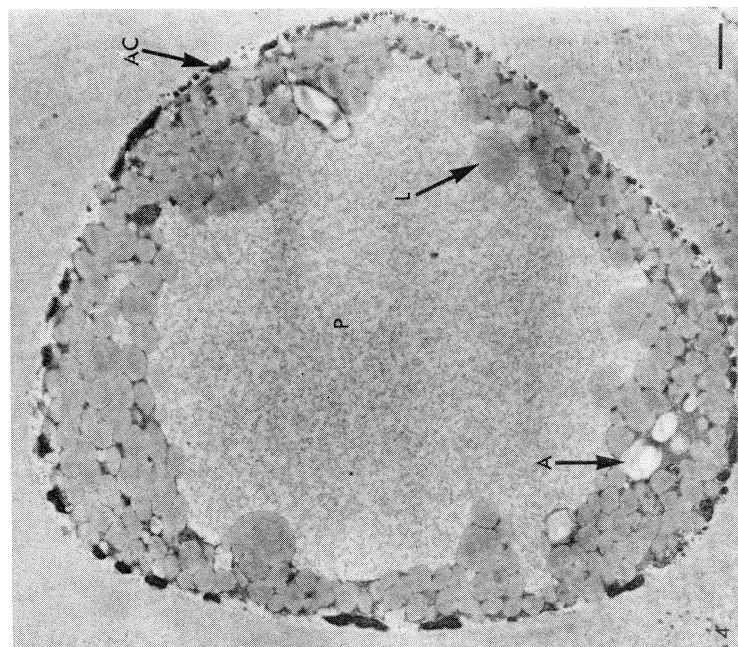


Fig. 4. — X 9 000. Zone apicale d'une cellule parenchymateuse. Microscopie électronique à transmission. On distingue les nombreux lipides (L) localisés à la périphérie de la cellule, et parmi eux quelques grains d'amidon (A). Le centre de la cellule est rempli de protéines (P). A la limite de la paroi cellulaire, les taches sombres sont des dépôts d'acides chlorogéniques (AC).

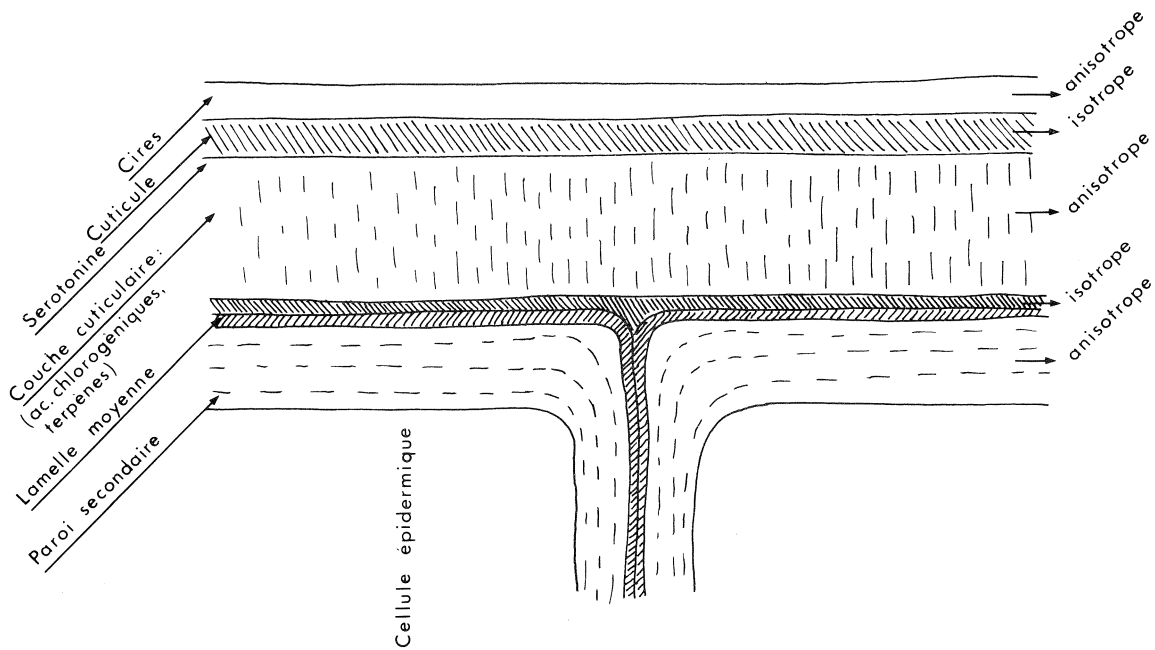


Schéma 1. — Paroi épidermique

entre la paroi cellulaire et la membrane plasmique se trouvent souvent d'importants dépôts amorphes, fortement osmiophiles. Des colorations spécifiques pour les groupes phénol ont montré en microscopie optique qu'il s'agissait de substances phénoliques, vraisemblablement d'acides chlorogéniques (fig. 4, p. 61).

Une paroi particulièrement intéressante à étudier est la paroi épidermique du cotylédon. Cette paroi est importante, car elle sert de barrière pour l'extérieur. Elle est formée de plusieurs couches, nettement visibles au microscope à polarisation, dans lesquelles viendront s'incruster diverses substances (cf. schéma 1, p. 61). Des réactions spécifiques pour les groupes indol démontrent la présence de sérotonine dans la couche cuticulaire. La réaction de Millon pour les groupes phénol, nettement plus importante que la précédente, montre qu'en plus de la sérotonine se trouve dans la même région une certaine quantité d'acides chlorogéniques. C'est également dans cette même région que sont localisés les terpènes. L'examen en microscopie électronique n'apporte pas de renseignements supplémentaires.

B. Cytoplasme

La coloration des lipides, en général par l'huile rouge O, montre en microscopie optique que ceux-ci sont répartis régulièrement dans toutes les cellules parenchymateuses des cotylédons. Ils sont toujours localisés à la périphérie de la cellule, à proximité de la membrane plasmique. Cette disposition se retrouve d'ailleurs dans les graines oléagineuses, arrivées à maturité et en dormance. Des colorations telles que UV-Schiff pour les lipides insaturés, Bleu de Nil pour les acides gras libres et les glycérides, montrent également une distribution homogène à travers le cotylédon. A l'intérieur de la cellule, dans l'espace laissé libre par les lipides, vont se localiser soit des protéines (coloration : bleu de bromophénol), soit des polysaccharides ou oligosaccharides (coloration de PAS, rouge de Rhuthénium).

L'examen de telles cellules en microscopie électronique à transmission confirme ces résultats, ainsi que le montre la figure 4. On observe que les globules de lipides, gainés d'une fine couche de protéines sont localisés à la périphérie de la cellule, à proximité de la membrane plasmique. Entre les globules, on distingue quelques petits grains d'amidon et quelques dépôts plus sombres à structure cristalline. Des analyses par

diffraction d'électron font penser qu'il peut s'agir de caféine cristallisée. Le centre de la cellule est rempli de protéines amorphes. Dans certaines cellules on peut trouver dans cette masse quelques « protein bodies » caractéristiques. Les dépôts sombres visibles entre la paroi cellulaire et la membrane plasmique sont vraisemblablement des polyphénols.

La coloration des coupes ultrafines par l'acide phosphotungstique dans l'acide chlorhydrique concentré montre que les saccharides sont groupés dans des vacuoles (fig. 5) situées aussi bien dans le centre des cellules qu'à proximité immédiate des lipides. Les amidons sont également colorés par cette méthode.

La localisation de la caféine est un problème, car les réactifs utilisés pour sa détection la solubilisent. On peut recourir au microscope à fluorescence, mais la fluorescence émise par la caféine est du même ordre de longueur d'onde que celle des parois cellulaires. Cependant, on peut observer des points fluorescents caractéristiques à l'intérieur des cellules, à proximité des lipides, et de la membrane plasmique. La caféine, probablement fixée sur les acides chlorogéniques localisés entre la membrane plasmique et la paroi cellulaire, est masquée par la fluorescence propre de ces dernières.

Une autre manière de démontrer la présence de caféine dans le cytoplasme est de provoquer sa cristallisation « *in situ* ». Pour ce faire, on utilise des coupes obtenues sous congélation. On les laisse sécher à l'air quelques heures, puis, sans autre déshydratation, on les monte dans du Baume du Canada. Au bout de quelques jours on peut observer au microscope à polarisation l'apparition de divers cristaux dans le cytoplasme : oxalate de calcium, phosphate de potassium, ainsi que des aiguilles hexagonales caractéristiques de la caféine. La mesure des indices cristallographiques confirme cette présence.

En ce qui concerne le mucilage localisé dans le centre du cotylédon et qui enrobe l'embryon, il est facilement mis en évidence par des colorations spécifiques des polysaccharides telles que le PAS. Au microscope électronique à transmission, on constate qu'il s'agit d'un gonflement très important des parois cellulaires.

Le schéma 2 résume les observations faites au microscope électronique à transmission concernant la localisation des divers constituants cellulaires.

L'examen en microscopie électronique à balayage confirme ces observations.

Je tiens à remercier très vivement Mme M.L. Moinas pour son aide en histologie, Mme M. Weber pour tous les travaux photographiques, et M.V. Fryder pour la préparation des schémas.

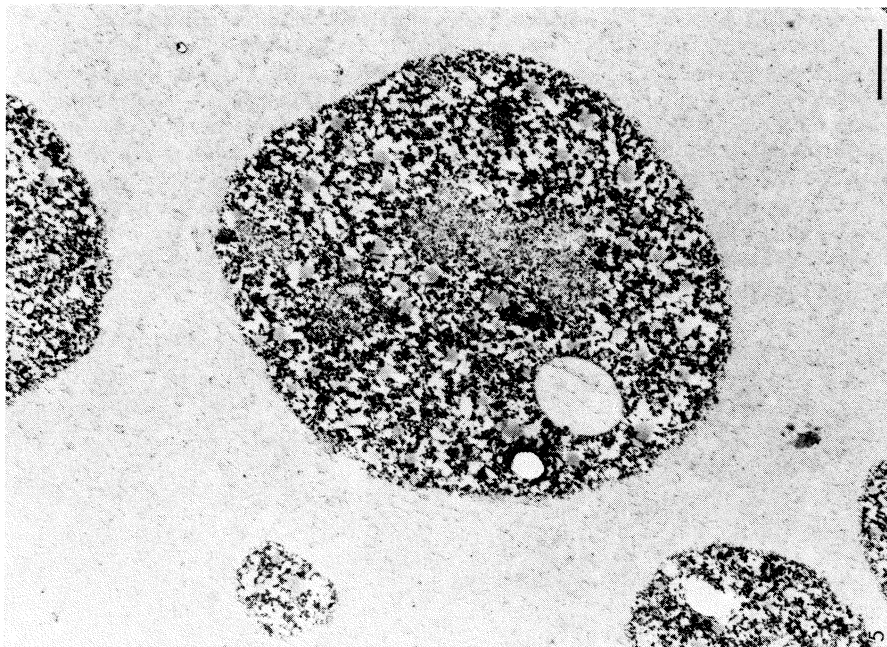


Fig. 5. — X 14.300. Vacuoles contenant des polysaccharides. Microscopie électronique à transmission. Coloration des polysaccharides par PTA/HCl concentré. Les nombreuses vacuoles contenant des polysaccharides ou monosaccharides sont dans le cytoplasme, à l'intérieur de zones de protéines non colorées.

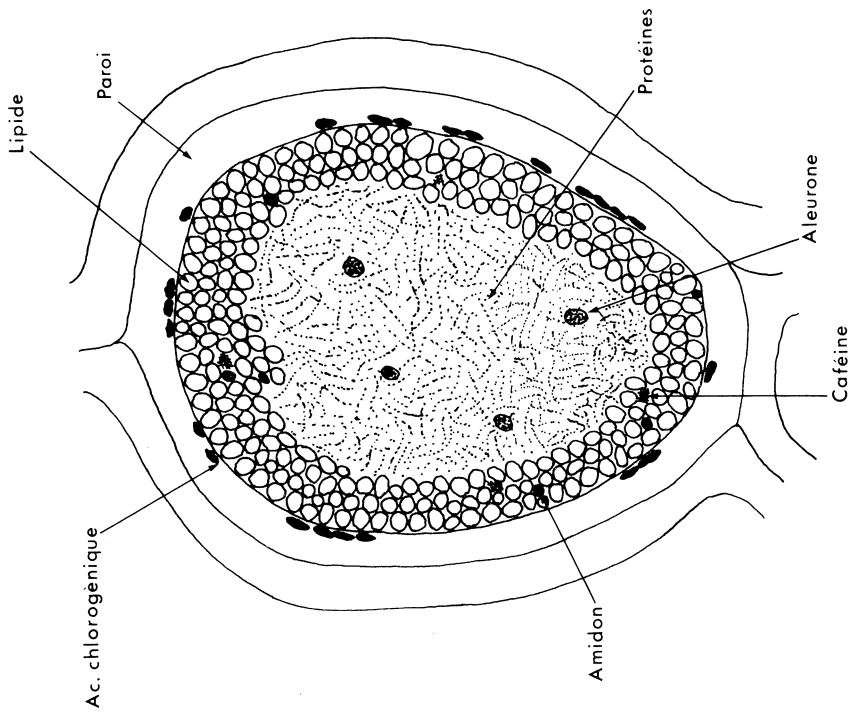


Schéma 2. — Cellule de stockage

BIBLIOGRAPHIE

1. A. FAHN. — *In* : Plant Anatomy. II^d edition. Ed : Pergamon Press, Oxford, 1974, p. 91-92.
2. A. FREY-WYSSLING. — *In* : Die Pflanzliche Zellwand. Ed : Springer-Verlag, Berlin, 1959, p. 141 et suivantes.
3. M.J. KARNOVSKY. — A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *J. Cell Biology*, 1965, 27, 137 A.
4. A.G.E. PEARSE. — Histochemistry. Theoretical and applied. Ed : J. & A. Churchill Ltd, Londres, vol. I, 1968 ; vol. II, 1972.
5. A.R. SPURR. — A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J. Ultrastruct. Res.*, 1969, 26, p. 31.

DENTAN (E.). — **Structure fine du grain de café vert.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 59-64, fig., réf.

Une étude de structure a été menée en microscopies photonique et électronique sur des grains de café vert, frais et secs, de l'espèce *C. canephora*, var. *robusta*, provenant de la Côte d'Ivoire.

Des techniques histochimiques, combinées ou non avec la microscopie en fluorescence et en polarisation, ont été appliquées à des coupes obtenues sous congélation. Elles ont permis l'analyse détaillée des parois cellulaires, du cytoplasme et de l'épiderme des cellules parenchymateuses des cotylédons, et la localisation de divers constituants tels que : protéines, polysaccharides, lipides saturés ou non, acides gras libres, glycérides, acides chlorogéniques, sérotonine, lignine, substances pectiques, sels minéraux divers et caféine (partiellement).

Ce premier travail a permis une localisation plus poussée par microscopie électronique à transmission. Un nouveau milieu d'enrobage (mélange de Spurr) a grandement facilité l'obtention de coupes ultraminces. La paroi cellulaire a été finement détaillée par application de colorations utilisant des solutions très acides de phosphotungstène (pH : 0,3). La présence de « protein bodies », de grains d'amidon a été confirmée après traitement sur coupes par des enzymes spécifiques. On observe une bonne corrélation entre les résultats obtenus en microscopie photonique et en microscopie électronique à transmission. Le microscope électronique à balayage n'apporte pas de renseignements complémentaires significatifs.

DENTAN (E.). — **Fine structure of green coffee bean.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 59-64, fig., réf.

A structural study has been carried out using optical and electron microscopy on green coffee beans, both fresh and dried, of the species *C. canephora*, var. *robusta*, originating from the Ivory Coast.

Histochemical techniques, alone or combined with fluorescent and polarising microscopy, have been applied to frozen sections. These methods have enabled a detailed examination to be carried out of the cell walls, the cytoplasm, and the epidermis of the parenchymatous cells of the cotyledons. It was also possible to localise various constituents of the above structures, e.g. proteins, polysaccharides, saturated and non saturated lipids, free fatty acids, glycerides, chlorogenic acids, serotonin, lignin, pectic substances, various mineral salts, and caffeine (partially).

This preliminary work was of assistance for a more extensive examination of transmission electron microscopy. A new embedding material (Spurr's mixture) greatly aided the production of ultra thin sections. The cell wall was shown in fine detail by the application of stains in very acid solutions of phosphotungsten (pH : 0,3). The presence of « protein bodies », starch grains has been confirmed after treatment of the sections with specific enzymes. It is possible to correlate the results obtained by optical microscopy with those obtained by transmission electron microscopy. The scanning electron microscope did not reveal any significant complementary results.

DISTRIBUTION STATISTIQUE DES TENEURS EN EAU ENTRE LES GRAINS DE CAFÉ

Incidence sur la répétabilité de la méthode de référence pratique de dosage de l'eau

J.L. MULTON (*)

Laboratoire de biophysique des aliments de l'INRA
Chemin de la Géraudière
44072 Nantes Cedex (France)

INTRODUCTION

La mesure de la teneur en eau du café vert est d'une exceptionnelle importance à un triple point de vue :

— pour la définition des aptitudes technologiques des grains, au niveau de la récolte, du séchage et du stockage (Wilboux et Hahn, 1966 ; Corte Dos Santos *et al.*, 1971 ; Multon *et al.*, 1974 ; Poisson *et al.*, 1975) ;

— pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixe, la matière sèche ;

— enfin pour déterminer la valeur commerciale des grains.

C'est la raison pour laquelle l'AFNOR, en France, l'ISO, au niveau international, se sont préoccupées depuis de nombreuses années de normaliser une méthode de référence pratique consistant en un étuvage des grains entiers à 130 °C en deux étapes successives de respectivement 6 h et 4 h chacune (AFNOR, 1967 a ; ISO, 1968), sur la base des travaux développés par Guilbot (1963).

L'appréciation de la validité de cette méthode de dosage de l'eau repose, comme toute détermination analytique, sur l'estimation de deux types d'erreurs : l'erreur de justesse et l'erreur de répétabilité.

Nous supposons l'erreur de justesse connue par comparaison avec les résultats de la méthode de référence fondamentale (AFNOR, 1967 b).

A la suite des travaux effectués dans le cas des céréales (Multon *et al.*, 1974 ; Multon *et al.*, 1975 ; Multon et Martin, 1975 ; Martin, 1976), il nous a par contre semblé intéressant de vérifier si l'incidence de la

fluctuation d'échantillonnage, inconnue au moment où la norme a été établie, est aussi importante dans le cas du café que dans celui du maïs.

Rappelons que les définitions de la fidélité, de la répétabilité et de la reproductibilité sont (AFNOR, Norme NF-X-06-041) :

— **Fidélité** : « étroitesse de l'accord entre les valeurs expérimentales obtenues au cours d'un ensemble d'expériences faites dans des conditions déterminées ».

— **Répétabilité** : « fidélité dans le cas d'un seul opérateur travaillant dans un laboratoire donné et obtenant des résultats successifs avec le même appareil et la même méthode sur un produit identique soumis à l'essai ».

— **Reproductibilité** : « fidélité dans le cas d'opérateurs travaillant dans des laboratoires différents, ou même dans le même laboratoire, mais à des époques différentes, chacun d'entre eux obtenant avec la même méthode des résultats individuels sur un produit identique soumis à l'essai ».

La norme précise encore que la répétabilité et la reproductibilité d'une méthode sont évaluées respectivement par la variance (ou l'écart-type) de répétabilité ou de reproductibilité, dans le cas où les erreurs systématiques apportées par les différents laboratoires sont faibles, leur ensemble pouvant être considéré comme distribué normalement autour d'une moyenne nulle.

(*) Avec la collaboration technique de Mlle M.H. GADET

Appréciation de la validité de la méthode

Une analyse précise des causes d'erreur et le calcul de leur grandeur permettent une appréciation théorique de la répétabilité de la méthode. Or, les causes de variations de la répétabilité du dosage de l'eau dans le café relèvent de deux origines fondamentalement différentes :

a) D'une part, il y a les **erreurs instrumentales**, qui sont liées :

— aux erreurs de pesée, donc à la précision de la balance (erreur instrumentale *stricto sensu*) ;

— aux pertes ou aux reprises d'eau des grains humides ou secs, au cours des diverses manipulations, ou aux variations de poids aléatoires dues à des altérations biochimiques d'ordre thermique.

Ces erreurs sont perfectibles (meilleure balance, soin et précautions en cours de manipulation) et peuvent être calculées par la méthode classique du calcul d'erreur.

b) D'autre part, il y a la **fluctuation d'échantillonnage**, l'échantillon étant supposé parfaitement représentatif, qui est liée à la dispersion naturelle de teneur en eau entre les grains ; cette erreur s'estime à partir de l'étude de cette dispersion.

La somme de ces deux erreurs (erreurs instrumentales + fluctuation d'échantillonnage) permet de définir l'erreur maximale, c'est-à-dire la répétabilité de la méthode. La validité de ce calcul peut alors être confirmée par une étude expérimentale consistant à répéter n fois le même dosage et à relever l'écart maximal.

L'objet de ce mémoire est de présenter cette étude dans le cas du café.

I — ESTIMATION THÉORIQUE DE LA RÉPÉTIBILITÉ

A. Erreur instrumentale

L'erreur instrumentale de pesée peut être appréciée grâce au calcul d'erreur, conduit selon la méthode classique des dérivées logarithmiques.

Après avoir développé le calcul théorique, nous en présenterons une application numérique.

Rappelons que la teneur en eau (H) de l'échantillon, rapportée à la matière humide, s'exprime en % en masse (norme NF-V-03-311) :

$$H = H_0 + \frac{H_1 - H_0}{2} = \frac{H_1 + H_0}{2} \quad (1)$$

avec $H_0 = (E - M_0) \times \frac{100}{E}$ (premier séjour à l'étuve) (2)

$H_1 = (E - M_1) \times \frac{100}{E}$ (deuxième séjour à l'étuve) (3)

où E est la masse, en grammes, de la prise d'essai initiale ;

M_0 est la masse, en grammes, de la prise d'essai après le premier étuvage de six heures,

M_1 est la masse, en grammes, de la prise d'essai après le second étuvage de quatre heures.

Le calcul d'erreur s'effectue en calculant la différentielle logarithmique de l'expression (1) :

$$\log H = \log (H_1 + H_0) - \log 2$$

Tout calcul fait, on obtient :

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{H_0}{H_0 + H_1} \cdot \frac{\Delta H_0}{H_0} + \frac{H_1}{H_0 + H_1} \cdot \frac{\Delta H_1}{H_1}$$

Les erreurs de pesée sur M_1 et M_0 étant sensiblement identiques et les grandeurs H_0 et H_1 étant très voisines, on peut admettre que :

$$\frac{\Delta H_0}{H_0} \approx \frac{\Delta H_1}{H_1}$$

$$\text{d'où : } \frac{\Delta H}{H} \approx \frac{\Delta H_0}{H_0} \approx \frac{\Delta H_1}{H_1}$$

Il est indifférent de conduire le calcul à partir de H_0 ou de H_1 (expressions 2 ou 3) : prenons H_0 .

En posant : P_0 , poids de la capsule vide et du couvercle ;

P_1 , poids de la capsule, du couvercle et du produit humide ;

P_2 , poids de la capsule, du couvercle et du produit sec, on peut écrire :

$$H_0 = \frac{E - M_0}{E} \cdot 100 = \frac{P_1 - P_0 - (P_2 - P_0)}{P_1 - P_0} \cdot 100 = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \cdot 100 \quad (4)$$

Il peut y avoir de légères variations de P_0 dues soit à des reprises d'eau de la capsule parfaitement sèche au départ, soit, si la capsule a été mal séchée, à des pertes d'eau lors de l'étuvage, soit enfin à des dépôts sur la capsule (poussières, matières grasses des doigts du manipulateur).

Pour tenir compte de ces variations, nous pouvons admettre que tout se passe comme si la capsule vide était pesée deux fois : soient P_0 et π_0 les valeurs correspondantes.

La teneur en eau s'exprime alors :

$$H_0 = \frac{P_1 - P_0 - (P_2 - \pi_0)}{P_1 - P_0} = \frac{P_1 - P_2 - P_0 + \pi_0}{P_1 - P_0} \quad (5)$$

expression légèrement différente de (4) et conduisant

$$\frac{dH_0}{H_0} = \frac{(P_2 - \pi_0) dP_1 - (P_1 - P_0) dP_2 - (P_2 - \pi_0) dP_0 + (P_1 - P_0) d\pi_0}{(P_1 - P_0 - P_2 + \pi_0)(P_1 - P_0)} \quad (7)$$

En passant aux erreurs maximales et en posant que $P_0 = \pi_0$ et $\Delta P_0 = \Delta \pi_0$ (seuls P_0 et ΔP_0 pouvant être évalués expérimentalement) nous obtenons finalement :

$$\frac{\Delta H_0}{H_0} = \frac{(P_2 - P_0) \Delta P_1 + (P_1 - P_0) \Delta P_2 + (P_1 + P_2 - 2 P_0) \Delta P_0}{(P_1 - P_2)(P_1 - P_0)} \approx \frac{\Delta H}{H} \quad (8)$$

Pour la commodité des applications numériques, cette équation est réarrangée en ordonnant par rapport à P au lieu de ΔP :

$$\frac{\Delta H}{H} \approx \frac{\Delta H_0}{H_0} = \frac{(\Delta P_0 + \Delta P_2) P_1 + (\Delta P_0 + \Delta P_1) P_2 - (\Delta P_1 + \Delta P_2 + 2 \Delta P_0) P_0}{(P_1 - P_2)(P_1 - P_0)} \quad (9)$$

Cette expression est plus facile à utiliser pour les applications numériques : en effet on peut considérer P_0 et P_1 comme constants et dès lors y n'est plus fonction que de P_2 .

Application numérique

L'examen des formules (8) et (9) montre que l'erreur relative, indépendante du poids des capsules vides, est fonction croissante des erreurs absolues commises sur chaque pesée. Mais il est *a priori* difficile de dire dans quel sens varie $\Delta H/H$ en fonction de ces divers paramètres : il faudrait faire une étude complète de la fonction. Il est plus simple d'effectuer des applications numériques à partir des conditions réelles d'étuvage.

Dans ce but nous avons estimé (tableau I) les valeurs des paramètres P_0 et P_1 ainsi que les erreurs maximales admissibles sur les mesures des masses (ΔP_0 , ΔP_1 et ΔP_2) en tenant compte de l'erreur de pesée (précision de la balance) et surtout de l'erreur due aux variations possibles de poids par échanges hydriques entre les grains et l'atmosphère.

Tableau I. — Dosage de l'eau dans le café par étuvage des grains entiers. Estimation des valeurs des différents paramètres nécessaires au calcul d'erreur (exprimés en g)

P_0	P_1	ΔP_0	ΔP_1	ΔP_2
27	35	0,001	0,001	0,001

à un calcul d'erreur similaire, quoique légèrement plus long :

calculons la différentielle logarithmique de l'expression (5)

$$\log H_0 = \log y = \log(P_1 - P_2 - P_0 + \pi_0) - \log(P_1 - P_0) \quad (6)$$

en posant $\log y = F(P_0, \pi_0, P_1, P_2)$ il vient :

$$d(\log H_0) = \frac{dH_0}{H_0} = \frac{\partial F}{\partial P_0} dP_0 + \frac{\partial F}{\partial \pi_0} d\pi_0 + \frac{\partial F}{\partial P_1} dP_1 + \frac{\partial F}{\partial P_2} dP_2.$$

Après avoir calculé les différentielles partielles, additionné celles-ci et réduit au même dénominateur, il vient :

Puis nous avons fait varier le dernier paramètre P_2 , ce qui revient à calculer point par point l'erreur relative $\Delta H/H$ en fonction de la teneur en eau de l'échantillon.

La figure 1 montre que $\Delta H/H$ est une fonction continûment décroissante de la teneur en eau et que cette erreur peut atteindre des valeurs importantes

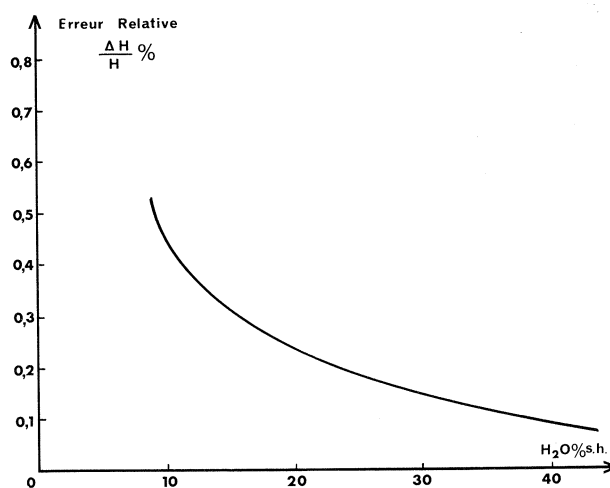


Fig. 1. — Evolution de l'erreur relative sur le dosage de l'eau dans le café, en fonction de la teneur en eau

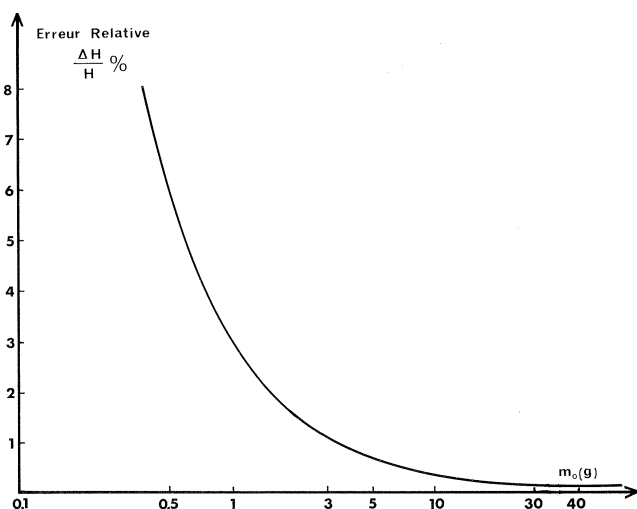


Fig. 2. — Evolution de l'erreur relative sur le dosage de l'eau dans le café, en fonction de la masse de la prise d'essai, pour une teneur en eau de 12 % s. h.

dans le cas des échantillons secs (teneur en eau inférieure à 10 % en substance humide).

L'erreur absolue ΔH par contre demeure sensiblement constante sur toute l'échelle, avec une valeur de l'ordre de $\pm 0,10$ % (s.h.).

De la même façon, en faisant varier successivement, et un par un, les différents paramètres de l'erreur dans les limites compatibles avec la réalité, on remarque les phénomènes suivants :

— l'erreur relative $\Delta H/H$ est fonction de la précision de la balance, qui doit être au moins de l'ordre de 1/10 mg (balance analytique) ;

— l'influence de la masse de la prise d'essai (fig. 2) devient négligeable lorsqu'elle dépasse 10 g ; il faut donc remarquer que la valeur préconisée par la norme AFNOR (environ 5 g) semble un peu insuffisante, ce que confirmera l'étude de fluctuation d'échantillonnage (paragraphe suivant).

B. Erreurs dues à la fluctuation d'échantillonnage

Nous supposons l'échantillonnage correctement réalisé et représentatif de la population de grains dont on mesure la teneur en eau.

Le dosage d'eau effectué sur 5 g de café vert en grain donne en réalité la moyenne des teneurs en eau individuelles des quelques trente grains qui correspondent à une prise d'essai de 5 g. Mais dans la mesure où il y a une certaine dispersion des teneurs en eau propres à chaque grain, la fluctuation d'échantillonnage de la moyenne ainsi mesurée varie selon une loi statistique classique (fig. 3) : la distribution des moyennes mesurées sur des échantillons prélevés dans une population a même moyenne que la population et a un écart-type égal à s/\sqrt{n} , S étant l'écart-type de la population et n l'effectif de l'échantillon supposé grand ($n \geq 30$).

Grâce à la méthode de dosage de l'eau sur un grain, que nous avons mise au point pour le maïs (Beullier et Multon, 1976) et que nous avons adaptée au cas du

café, il est possible d'étudier la dispersion des teneurs en eau dans un lot.

Les figures 4 et 5 (p. 69) montrent les résultats obtenus sur des échantillons de café stabilisé et homogénéisé à deux niveaux différents de teneur en eau ; la représentation linéaire obtenue en portant les effectifs cumulés relatifs sur une échelle de probabilité montre que la distribution répond à la loi de Gauss (distribution normale).

Les caractéristiques des distributions ainsi obtenues sont données dans le tableau II. Ces valeurs sont très comparables à celles observées dans le cas du blé (Multon *et al.*, 1975), du maïs (Beullier et Multon, 1976 ; Martin, 1976) et de la fève (Savet, 1977).

Tableau II. — Caractéristique des distributions de teneur en eau entre grains d'une même population de café

Type d'échantillon	Effectif (nombre de grains)	Moyenne m	Ecart-type s	Coefficient de variation %
sec	70	11,54	0,28	2,42
humide	40	20,11	0,35	1,74

Il en résulte que la valeur d'un dosage de l'eau effectué selon la méthode AFNOR sur un échantillon de 5 g (et assimilable par conséquent à la moyenne des teneurs en eau individuelles mesurées sur un effectif d'environ trente grains) a pour intervalle de confiance :

— dans le cas du grain sec :

$$i = \pm 2 \cdot \frac{0,28}{\sqrt{30}} = \pm 0,102 \%$$

— dans le cas du grain humide :

$$i = \pm 2 \cdot \frac{0,35}{\sqrt{30}} = \pm 0,127 \%$$

Nous retiendrons une valeur de $\pm 0,15$ % (en valeur absolue de la teneur en eau).

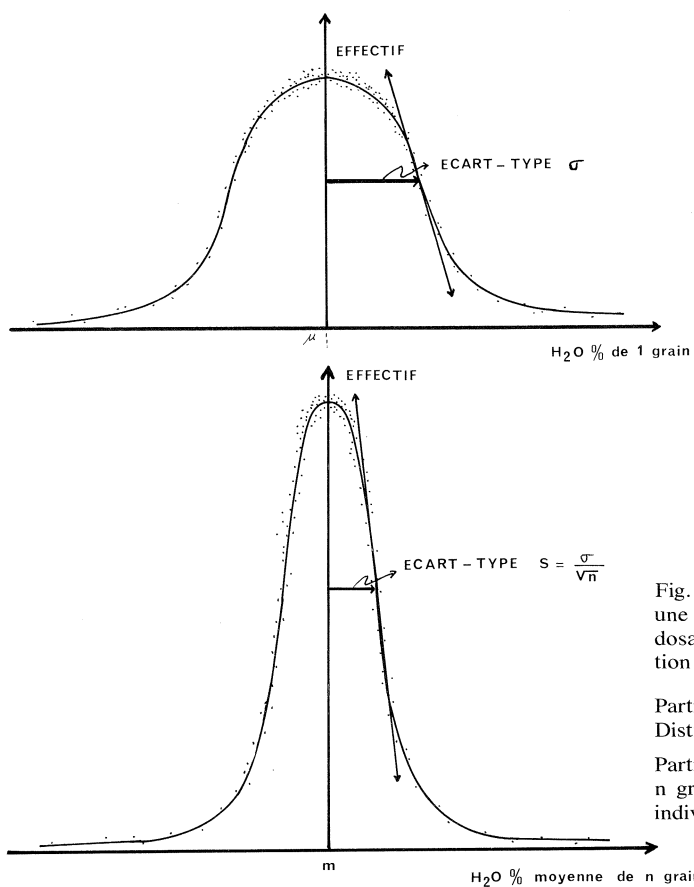


Fig. 3. — Distribution des teneurs en eau individuelles dans une population de grains et distribution des moyennes de dosages pratiqués sur un effectif de n grains de cette population

Partie supérieure : chaque point correspond à un grain. Distribution de la population

Partie inférieure : chaque point correspond à une moyenne sur n grains. Distribution de la moyenne d'un échantillon de n individus extraits de la population

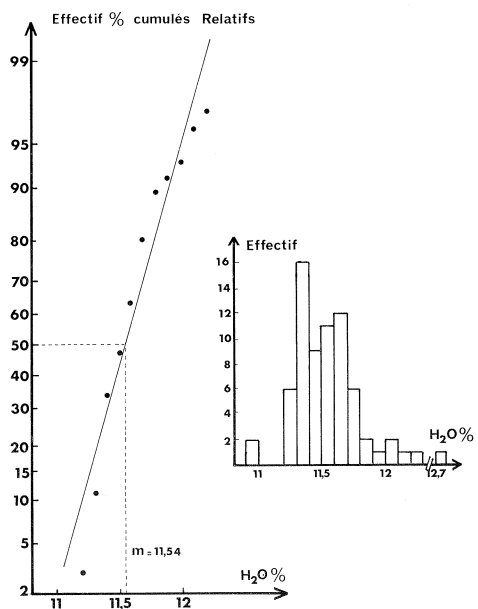


Fig. 4. — Distribution des teneurs en eau individuelles des grains dans une population, représentée par :
— à gauche, les fréquences cumulées relatives exprimées sur une échelle d'anamorphose,
— à droite, l'histogramme de fréquence,
(moyenne : 11,54 % s.h. ; écart-type : 0,28)

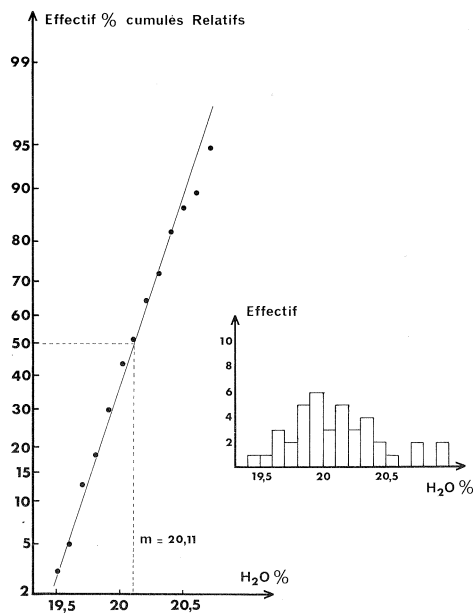


Fig. 5. — Distribution des teneurs en eau individuelles des grains dans une population, représentée par :
— à gauche, les fréquences cumulées relatives exprimées sur une échelle d'anamorphose,
— à droite, l'histogramme de fréquence,
(moyenne : 20,11 % s.h. ; écart-type : 0,35)

Ceci signifie en clair, que sur cent dosages effectués par la méthode de référence, du seul fait de la fluctuation statistique :

- quatre-vingt-quinze se trouveront dans un intervalle de $\pm 0,15\%$ centré sur la moyenne vraie,
- cinq seront à l'extérieur de cet intervalle, la probabilité de rencontrer un écart donné diminuant rapidement quand l'écart augmente (tableau III).

Tableau III. — Probabilité de rencontrer un écart donné entre la valeur de la méthode de référence et la valeur vraie, du seul fait de la fluctuation statistique

Ecart possible	Probabilité de rencontrer cet écart (selon la loi de Gauss)
$\pm 2,57 \times 0,35/\sqrt{30} = \pm 0,16$	1 chance sur 100
$\pm 3,29 \times 0,35/\sqrt{30} = \pm 0,21$	1 chance sur 1 000
$\pm 3,89 \times 0,35/\sqrt{30} = \pm 0,25$	1 chance sur 10 000
$\pm 4,41 \times 0,35/\sqrt{30} = \pm 0,28$	1 chance sur 10^5
$\pm 4,89 \times 0,35/\sqrt{30} = \pm 0,31$	1 chance sur 10^6

II — RÉPÉTABILITÉ EXPÉRIMENTALE

Nous avons cherché à vérifier ce résultat par une étude expérimentale de la répétabilité.

Celle-ci a consisté à effectuer, selon la méthode AFNOR, trente-six dosages indépendants sur des échantillons issus d'un même lot de café vert.

L'étude de la distribution des résultats de ces trente-six dosages d'eau fait apparaître les caractéristiques suivantes :

- effectif : 36,
- moyenne m : 13,01 %,
- écart-type $s = 0,113$, variance $s^2 = 0,012$,
- coefficient de variation = 0,86 %.

III — ESTIMATION DE L'ÉCART MAXIMAL TOLÉRABLE ENTRE DEUX DÉTERMINATIONS DE TENEUR EN EAU

En routine, pour des raisons matérielles, on ne peut sur un même échantillon, multiplier les dosages ; on effectue le plus souvent des dosages d'eau indépendants et dans la mesure où l'écart entre les deux valeurs n'est pas trop important, on ne retient que la valeur moyenne. La norme indique que l'écart maximal ne doit pas être supérieur à 0,2.

Il est intéressant de vérifier, à la lumière de la répétabilité que nous venons de mesurer, si cet écart est raisonnable. Pour cela considérons dans la popula-

L'étude de la distribution de teneur en eau ayant été faite sur un échantillon de café stable et homogène, on peut retenir l'estimation de $i = \pm 0,15\%$ comme une valeur minimale en dessous de laquelle on a très peu de chance de descendre.

C. Erreur totale et répétabilité

L'erreur totale possible sur le dosage de l'eau résulte donc de la superposition de l'erreur instrumentale (estimée au maximum à $\pm 0,10\%$ d'eau) et de la fluctuation d'échantillonnage (estimée à $\pm 0,15\%$ d'eau). Ces deux sources d'erreurs peuvent aller dans le même sens (en s'additionnant) ou en sens inverse (en se soustrayant).

L'erreur totale, qui permet de chiffrer la répétabilité de la méthode, telle qu'elle résulte des calculs théoriques, est donc au maximum de l'ordre de $0,10 + 0,15 = \pm 0,25\%$ (pour 95 % des résultats environ).

La répétabilité de la méthode, chiffrée par l'intervalle de confiance calculé sur une mesure isolée est donc :

$$i = m \pm 2 s/\sqrt{1} = 13,01 \pm 2 \cdot 0,11 = 13,01 = 13,01 \pm 0,20.$$

Dans le cas où on effectue, comme le préconise la norme, deux déterminations sur le même échantillon, la moyenne de ces deux valeurs a un intervalle de confiance de $\pm 2 \cdot 0,11/\sqrt{2} = \pm 0,16$.

On constate que la répétabilité mesurée expérimentalement est bien du même ordre de grandeur, très légèrement inférieure, à la valeur calculée ($\pm 0,25$), ce qui confirma la validité du calcul.

tion de dosage d'eau décrite dans le paragraphe « Répétabilité expérimentale », la distribution de la différence D entre deux dosages pris au hasard.

D'après le théorème de Liapounoff-Lindenberg (Dagnélie, 1969), la différence D de deux variables aléatoires indépendantes distribuées normalement (c'est le cas) est elle-même distribuée normalement, et la variance σ de D est égale à la somme des variances des deux variables (σ_1 , σ_2) :

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

Nous avons, dans le cas du dosage de l'eau $\sigma_1 = \sigma_2 = s$ (variance du dosage d'eau) soit :

$$\sigma = \sqrt{2} s^2 = \sqrt{2} \cdot 0,012 = 0,15$$

Il en résulte que (propriété de la distribution normale) :

- dans 5 % des cas la différence D sera supérieure à $1,96 \times 0,15 = 0,30$,
- dans 10 % des cas la différence D sera supérieure à $1,64 \times 0,15 = 0,25$,
- dans 20 % des cas la différence D sera supérieure à $1,28 \times 0,15 = 0,19$.

Ce qui signifie qu'en fixant le seuil de reproductibilité à la valeur de 0,2 dans la norme, les dosages seront à refaire dans 20 % des cas pour des raisons de variabilité statistique.

Il est clair que pour des dosages de routine ceci n'est pas raisonnable. Donc, compte tenu de ce que :

a) l'erreur maximale calculée (somme de l'erreur instrumentale et de la fluctuation d'échantillonnage), est : $\pm 0,25$ % ;

b) l'écart-type déterminé expérimentalement sur le dosage de l'eau est de 0,11 % et l'écart-type de la distribution des écarts en deux dosages est 0,15 ;

c) en fixant le seuil limite de l'écart entre deux dosages à la valeur de 0,3 %, il y correspond un $\varepsilon = \frac{0,30}{0,15} = 2$, c'est-à-dire une probabilité inférieure à 5 % (table de l'écart réduit).

Il semble tout à fait raisonnable de ne répéter les dosages que si un écart supérieur à 0,3 est observé entre les deux valeurs des doubles, en calculant cet écart sur les valeurs de teneur en eau comportant deux décimales, afin d'éviter l'incertitude résultant de l'arrondissement des données.

CONCLUSIONS

L'étude de répétabilité qui vient d'être présentée ne s'applique en toute rigueur qu'à des dosages effectués par le même manipulateur, dans le même laboratoire ; la reproductibilité (opérateurs et, ou, laboratoires différents) montrera obligatoirement des dispersions plus grandes.

Cette étude montre que la norme AFNOR actuelle est *grosso modo* en accord avec la répétabilité que nous avons mesurée, mais que toutefois il serait souhaitable de porter l'écart maximal admissible entre deux valeurs obtenues par le même opérateur sur le même lot à 0,3 au lieu de 0,2.

L'étude théorique fait apparaître l'existence de causes d'erreurs inévitables au cours de la détermination de la teneur en eau. Ces erreurs sont liées aux méthodes elles-mêmes et au matériel biologique sur lequel porte l'analyse et sont indépendantes du manipulateur.

Dans certaines limites, l'erreur instrumentale peut sans doute être réduite par une amélioration dans la précision des mesures de volume et de masse.

L'incidence de la fluctuation d'échantillonnage peut être diminuée de deux manières.

D'une part, lorsque l'on a affaire à un lot hétérogène, en le laissant reposer une quinzaine d'heures pour le réhomogénéiser et réduire de ce fait la fluctuation d'échantillonnage.

D'autre part, en augmentant la masse de la prise d'essai ; si elle était portée à une valeur de l'ordre de 15 g, correspondant à environ cent grains, l'intervalle de confiance qui est avec 5 g de $\pm 0,15$ % (cf. I, B) serait ramené à environ $\pm 0,08$ % et la répétabilité serait améliorée d'autant ; peut-être conviendrait-il de la vérifier par une détermination expérimentale de la répétabilité sur cent grains, et de revoir la norme dans ce sens, comme ce fut le cas pour le maïs, à la suite des travaux de Martin (1976). Ceci impliquerait toutefois, au niveau du matériel, l'utilisation de capsules adaptées et permettant de recevoir, en couche unique, les 100 g requis.

Ce serait là un moyen simple et rapide d'améliorer la précision de cette méthode de routine dans des proportions importantes.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR (1967 a). — Café vert en grains. Dosage de l'eau (méthode pratique). Norme NF-V-03-311.
AFNOR (1967 b). — Café vert en grains. Dosage de l'eau (méthode de référence fondamentale). Norme NF-V-03-310.
G. BEULLIER, J.L. MULTON, 1976. — Distribution statistique des teneurs en eau individuelles entre les grains de maïs ; méthode d'étude et exemples d'application pratiques. *Annales de Technologie Agricoles*, 25, (I), 1-27.

A. CORTE DOS SANTOS, D. HAHN, B. CAHAGNIER, R. DRAPRON, A. GUILBOT, J. LEFEBVRE, J.L. MULTON, J. POISSON, E. TRENTESAUX, 1971. — Etude de l'évolution de plusieurs caractéristiques d'un café Arabica au cours d'un stockage expérimental effectué à cinq humidités relatives différentes. *Café Cacao Thé* (Paris), XV, (4), 329-340.
P. DAGNÉLIE, 1969. — Théorie et méthode statistique. Duculot éditeur.

A. GUILBOT, 1963. — Détermination de la teneur en eau des cafés. Méthode de référence et méthodes pratiques. *Café Cacao Thé* (Paris), VII, (3), 192-199.

ISO, 1968. — Café vert en grain, dosage de l'eau (méthode de référence pratique). Recommandation R — 1447.

G. MARTIN, 1976. — Contribution à la mise au point d'un ensemble cohérent de méthodes de dosage de l'eau dans le maïs. Thèse de Doctorat, Université de Paris 6, 18 mai 1976.

J.L. MULTON, G. BEULLIER, G. MARTIN, 1974. — Determination of moisture content distribution between maize grains: reference method and example of application. A.A.C.C., 59th Annual Meeting, Montreal.

J.L. MULTON, J. POISSON, B. CAHAGNIER, D. HAHN, M. BAREL, A. CORTE DOS SANTOS, 1974. — Evolution de plusieurs caractéristiques d'un café Arabica, au cours d'un stockage expérimental effectué à cinq humidités relatives et quatre températures différentes. *Café Cacao Thé* (Paris), XVII, (2), 121-132.

J.L. MULTON, G. MARTIN, 1975. — La mesure de la teneur

en eau des céréales et farines: méthodes de référence et humidimètres. *Bulletin des Anciens Elèves de l'EFM*, 269, 239-251.

J.L. MULTON, G. MARTIN, G. BEULLIER, H. DROUET, 1975. — Le dosage de l'eau dans les produits céréaliers: validité et précision des résultats obtenus. *Informations Techniques, Bulletin du BIPEA*, 60.

J. POISSON, B. CAHAGNIER, J.L. MULTON, D. HAHN, A. CORTE DOS SANTOS, 1975. — La microflore du café: méthode de dénombrement et influence sur les qualités organoleptiques. Compte rendu du 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, 311-321.

B. SAVET, 1977. — Mise au point des méthodes de dosage de l'eau dans la fève. Mémoire de fin d'étude (ENITIA), relatif au stage effectué au Laboratoire de biophysique des aliments, INRA, Nantes.

R. WILBAUX, D. HAHN, 1966. — Contribution à l'étude des phénomènes intervenant au cours de la conservation du café vert. *Café Cacao Thé* (Paris), X, (4), 342-367.

MULTON (J.L.). — **Distribution statistique des teneurs en eau entre les grains de café. Incidence sur la répétabilité de la méthode de référence pratique de dosage de l'eau.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 65-72, fig., réf.

MULTON (J.L.). — **Statistical distribution of water contents in a sample of coffee beans. Consequence on the repeatability of the practical reference method used for water determination.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 65-72, fig., réf.

Une méthode par étuvage a été mise au point pour l'étude de la dispersion des teneurs en eau entre les grains de café pris individuellement. L'effectif de chaque mesure ayant été fixé au minimum à 30 grains, la température et la durée d'étuvage ont été déterminées de manière à obtenir pour chaque échantillon une valeur moyenne identique aux résultats obtenus par les dosages d'eau effectués à l'aide de la méthode de référence normalisée. Le calcul d'erreur montre que la teneur en eau d'un grain de café est ainsi connue à $\pm 0,07\%$ près (valeur absolue).

An oven-drying method has been developed for drying individual coffee beans. A population of 30 beans was accordingly submitted to time and temperature conditions ensuring an average weight loss corresponding to the mean weight loss observed by applying the normalized reference method. Standard error calculation showed that water content of a single coffee bean can be accordingly determined at an accuracy of $\pm 0.07\%$ (absolute deviation).

La méthode, appliquée à l'étude de la distribution statistique des teneurs en eau entre les grains a montré que celle-ci est gaussienne, avec des coefficients de variation se situant entre 2 et 5%.

The statistical study showed a Gaussian distribution of water contents with variation coefficients between 2 and 5%.

Le dosage d'eau classique mesure en réalité la moyenne des teneurs en eau individuelles des grains constituant la prise d'essai. Il en résulte, et on le démontre, que l'écart-type, sd, d'une série de dosages d'eau effectués selon les méthodes de référence est lié, d'une part, à l'écart-type de la teneur en eau « grain par grain », sg, et, d'autre part, au nombre de grains, n figurant dans la prise d'essai par la relation :

Chemical determination measures an average value on a population of coffee beans. Standard deviation « sd » is accordingly bound to the specific deviation « sg » of each bean and related to the number of beans « n » in the sample by the relation :

$$sd = sg\sqrt{n}$$

$$sd = sg\sqrt{n}$$

On déduit de cette étude des considérations sur le choix de l'effectif dans le cas de la méthode de référence, et sur la manière d'améliorer son mode opératoire.

From these considerations, recommendations will be issued for applying reference method by stating minimal number of coffee beans in the sample and by proposing improvements in handling.

LES ACIDES CARBOXYLIQUES DU CAFÉ

mise au point et résultats de différentes déterminations

M. BLANC

Société d'Assistance Technique
pour Produits Nestlé S.A., Orbe

INTRODUCTION

L'importance des acides carboxyliques dans le café n'est plus à souligner. Leur influence organoleptique semble indéniable. Mais de nombreuses difficultés subsistent quant à leur évaluation quantitative. Leur détermination globale ne fournit que peu de renseignements et, face à la grande dispersion des résultats de la littérature dans ce domaine, la nécessité d'appliquer des méthodes très spécifiques à chaque acide s'avère indispensable.

Pour atteindre ce but, nous avons utilisé des méthodes de détermination enzymatique qui permettent

d'analyser spécifiquement cinq des principaux acides carboxyliques présents dans le café.

La détermination de l'acide quinique libre, par chromatographie en phase gazeuse de son dérivé triméthylsilylé, comble par ailleurs une lacune dans la quantification d'un acide jugé souvent pondéralement mineur. L'application des méthodes mentionnées nous a permis de suivre les variations quantitatives de ces acides au cours de la torréfaction et de déterminer les différences existant entre des cafés solubles de plusieurs marchés importants.

RAPPELS DES RÉSULTATS DE LA LITTÉRATURE

Les premiers travaux importants dans ce domaine sont ceux de Mabrouk et Deatherage (1). Ces auteurs ont étudié également les variations des teneurs en acides au cours de la torréfaction (2). Les travaux de Schormüller *et al.* (3) donnent des résultats concernant des cafés solubles. Sur le plan qualitatif les travaux de Woodman *et al.* (4) mettent en évidence un certain nombre d'acides carboxyliques, pondéralement mineurs ; sur le plan quantitatif, les valeurs trouvées pour certains acides paraissent très élevées. A l'opposé, les résultats analytiques de Feldmann *et*

al. (5) indiquent des valeurs extrêmement faibles. Le tableau I (p. 74) résume les principaux résultats quantitatifs de la littérature.

En ce qui concerne l'acide quinique libre, malgré que sa présence ait été signalée de longue date, nous ne trouvons guère de résultats quantitatifs avant les travaux de Feldmann *et al.* (5). Des travaux récents appliquent une méthode de détermination chromatographique, mais les échantillons analysés ne sont, pour la plupart, pas représentatifs, du moins en ce qui concerne les cafés solubles (7).

Tableau I. — Extraits de résultats de la littérature

Auteurs		Résultats	
Mabrouk et Deatherage (1956)	Acide citrique	0,50 %	(en % sur le café torréfié)
	Acide malique	0,46 %	
	Acide pyruvique	0,06 %	
	Acide acétique	0,04 %	
Lentner et Deatherage (1959)	Acide malique	0,50-0,35 %	(idem)
	Acide acétique	0,12-0,40 %	
Schormüller <i>et al.</i> (1961)	Acide citrique	2,20 %	(en % sur extrait sec)
	Acide malique	0,50 %	
	Acide lactique	0,45 %	
	Acide acétique	0,95 %	
	Acide pyruvique	0,08 %	
Woodman <i>et al.</i> (1967)	Acide citrique	0,90 %	(idem)
	Acide acétique	0,50 %	
	Acide lactique	0,40 %	
Feldman <i>et al.</i> (1969)	Acide citrique	0,018-0,075 %	(en % sur café torréfié)
	Acide malique	0,015-0,036 %	
	Acide lactique	0,055-0,088 %	
	Acide acétique	0,25-0,33 %	

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Préparation des échantillons

Cafés rôtis : les séries d'échantillons de café torréfié proviennent généralement de torréfactions expérimentales effectuées dans divers appareils industriels.

Cafés solubles : ces produits sont pour la plupart des cafés solubles commerciaux, provenant de différents marchés, grands consommateurs de café.

Détermination des acides

Méthodes enzymatiques : ces méthodes, décrites en détail dans le manuel d'utilisation de la firme Boehringer, nous permettent de déterminer quantitativement les acides citrique, malique, lactique, pyruvique et acétique. D'après les observations que nous avons pu faire, en particulier en chromatographie sur couche mince, l'ensemble de ces cinq acides représente l'essentiel de la fraction acide carboxylique aliphati-

que. L'application de ces méthodes peut se faire directement sur une solution de café assez diluée.

Détermination de l'acide quinique libre : après passage de l'extrait de café à analyser sur une colonne échangeuse d'ion cationique (DOWEX 50W-X8 sous forme H⁺) et élution à l'eau, nous neutralisons l'éluat par NaOH 0,1 N et concentrons sous pression réduite à environ 10 ml. Le dépôt sur une colonne anionique (DOWEX 2-X8 sous forme formiate) et le lavage à l'eau de cette colonne éliminent les sucres présents dans la solution. L'élution par l'acide formique 5 N et un lavage à l'eau permettent de récupérer quantitativement les acides présents. Après concentration sous vide nous lyophilisons cette fraction acide. La triméthylsilylation se fait en milieu pyridinique par le BSTFA. La détermination quantitative se fait par chromatographie en phase gazeuse sur une colonne de SE 30.

Les déterminations d'acide chlorogénique ont été faites par la méthode d'Hausermann et Brandenberger (6).

RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Etude des variations au cours de la torréfaction

Plusieurs séries d'essais de torréfaction ont été effectuées avec diverses variétés de cafés verts et dans

des appareillages de différents types. Il s'agit aussi bien de petits torréfacteurs d'essais que de torréfacteurs industriels. Les résultats des déterminations analytiques, dans le cas de deux séries choisies parmi un assez grand nombre, figurent dans les tableaux II et III. Nous

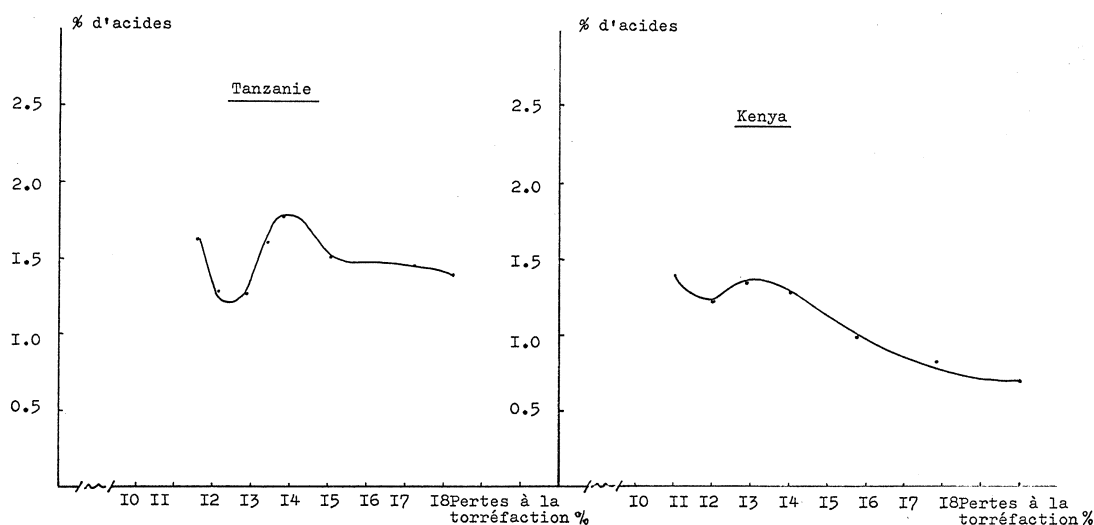
Tableau II. — Evolution des teneurs en acides carboxyliques pendant la torréfaction (en % sur matière sèche) ; variété : Tanzanie

Pertes de poids du café (%)	Acide citrique	Acide malique	Acide lactique	Acide pyruvique	Acide acétique	Total
11,60	0,87	0,39	0,08	0,17	0,11	1,62
12,15	0,78	0,28	0,03	0,09	0,10	1,28
13,45	0,74	0,34	0,15	0,13	0,24	1,60
13,80	0,68	0,27	0,32	0,14	0,27	1,68
15,10	0,72	0,21	0,12	0,13	0,31	1,49
17,25	0,51	0,24	0,32	0,13	0,25	1,45
17,75	0,55	0,24	0,10	0,14	0,22	1,29

Tableau III. — Evolution des teneurs en acides carboxyliques pendant la torréfaction (en % sur matière sèche) ; variété : Kenya

Pertes de poids du café (%)	acide citrique	Acide malique	Acide lactique	Acide pyruvique	Acide acétique	Total
9,65	0,70	0,30	0,09	0,09	0,40	1,58
11,00	0,80	0,36	0,00	0,04	0,17	1,37
12,00	0,63	0,27	0,13	0,07	0,10	1,20
12,90	0,57	0,38	0,10	0,07	0,21	1,33
14,10	0,51	0,25	0,05	0,10	0,35	1,26
15,80	0,30	0,22	0,11	0,07	0,27	0,97
20,00	0,18	0,19	0,16	0,09	0,09	0,71

Fig. 1. — Evolution des teneurs en acides carboxyliques pendant la torréfaction



ne chercherons pas à comparer les différents types de torréfacteurs entre eux, les écarts n'étant pas significatifs. Mais nous pouvons suivre l'évolution des teneurs en acides, soit individuellement, soit globalement, en fonction du degré de torréfaction matérialisé ici par la perte de poids du café.

Au niveau des variations individuelles, l'acide citrique, pondéralement le plus important des cinq acides déterminés enzymatiquement, voit sa teneur s'abaisser nettement pendant la torréfaction. Son pourcentage de présence va jusqu'à ne représenter que la moitié de celui du café vert de départ. L'acide malique présente

un comportement tout à fait parallèle à celui de l'acide citrique, sa teneur s'abaissant en général à une valeur comprise entre les 2/3 et la moitié de celle du café vert initial.

Le comportement de l'acide lactique est plus difficile à chiffrer. Sa teneur, très faible dans les cafés verts, augmente légèrement au cours de la torréfaction jusqu'à un maximum très peu marqué, puis s'abaisse de façon peu sensible.

La teneur en acide pyruvique, tout d'abord assez constante, s'abaisse dans des cafés très torréfiés.

Le développement de l'acide acétique semble

influencé par le mode de torréfaction. Sa teneur, à l'état de traces dans les cafés verts, augmente en général rapidement, mais selon la température, la durée et le type de torréfacteur, cette teneur peut atteindre des pourcentages assez divers, de l'ordre de 0,3 à 0,5 %. Un abaissement est observé pour des torréfactions poussées.

Si on observe les variations de l'ensemble de ces cinq acides nous remarquons (courbes de la fig. 1) systématiquement le passage par un maximum de teneur pour des pertes à la torréfaction entre 14 et 16 %. Cette observation est à rapprocher des résultats de la littérature indiquant un minimum de pH ou un maximum d'acidité, exprimé par un dosage à la soude, pour une perte à la torréfaction de 15 % (2). Une autre corrélation est à faire avec la dégustation de ces cafés torréfiés par un panel de dégustateurs très entraînés, qui ont

remarqué une note acide légèrement plus prononcée pour des cafés rôtis se situant dans cette zone de perte à la torréfaction.

En ce qui concerne l'évolution de la teneur en acide chlorogénique pendant la torréfaction, sa décroissance assez prononcée est un phénomène bien connu (tableau IV).

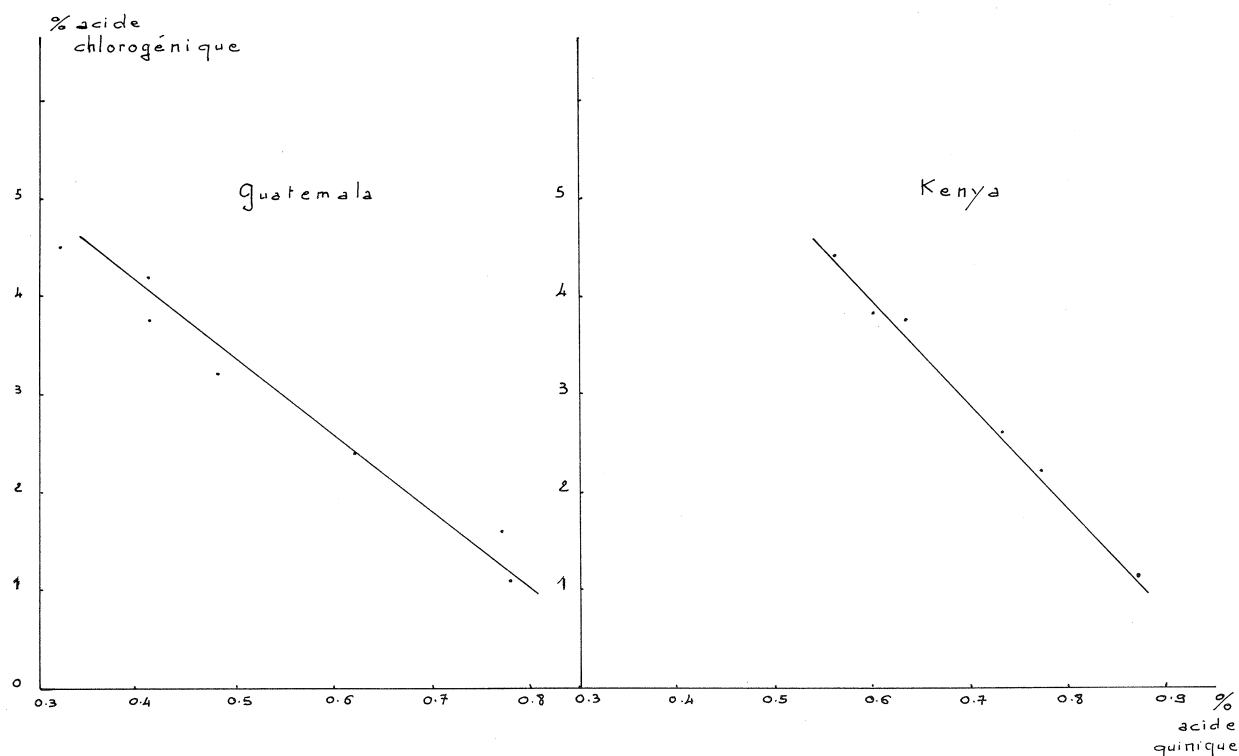
L'évolution inverse de la teneur en acide quinique est tout à fait significative, mais une part importante de cet acide est sans doute dégradée, car tout bilan quantitatif entre les pertes en acide chlorogénique et l'évolution de la teneur en acide quinique libre est impossible à faire.

Nous pouvons néanmoins observer (fig. 2) l'assez bonne linéarité entre les variations respectives de l'acide chlorogénique et de l'acide quinique.

Tableau IV. — Evolution des teneurs en acide quinique et chlorogénique pendant la torréfaction

Guatemala			Kenya		
Pertes de poids du café (%)	Acide quinique	Acide chlorogénique	Pertes de poids du café (%)	Acide quinique	Acide chlorogénique
11,40	0,32	4,50	9,65	0,56	4,40
12,55	0,41	4,20	11,00	0,60	3,80
13,70	0,41	3,75	12,00	0,64	3,75
15,05	0,48	3,20	12,90	0,51	3,10
16,50	0,62	2,40	14,10	0,73	2,60
18,60	0,77	1,60	15,80	0,77	2,20
20,30	0,78	1,10	20,00	0,87	1,20

Fig. 2. — Variations acide quinique libre/acide chlorogénique au cours de la torréfaction



Comparaison des cafés solubles des différents marchés

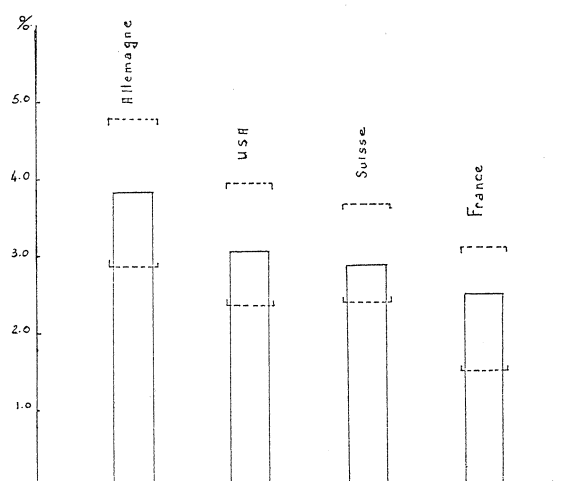
Les échantillons mis à l'épreuve, prélevés à l'étalage, sont des poudres solubles 100 % café, séchées soit par atomisation, soit par lyophilisation. Les marchés concernés sont les Etats-Unis, l'Allemagne, la France et la Suisse.

Les résultats sont matérialisés dans le tableau V sous forme de diagramme donnant les valeurs limites observées et la moyenne des teneurs pour la somme des cinq acides déterminés enzymatiquement.

Nous pouvons observer que la teneur moyenne en acides des produits du marché allemand est assez significativement supérieure à celle des autres marchés concernés. Ceci est sans doute la conséquence de deux facteurs : l'emploi des variétés de cafés verts de haute qualité, contenant légèrement plus d'acides, et surtout un degré de torréfaction assez faible, conduisant à des cafés torréfiés se situant dans la plage de teneur maximale en acides.

Le marché français, de par l'utilisation de cafés fortement torréfiés, présente des poudres solubles avec une teneur moyenne en acides carboxyliques la plus faible.

Tableau V. — Teneur en acides carboxyliques de cafés solubles commerciaux (valeurs limites et moyennes)



CONCLUSION

L'emploi de méthodes d'analyses enzymatiques très spécifiques nous a permis de déterminer quantitativement les acides citrique, malique, lactique, pyruvique et acétique.

L'application de ces méthodes à la torréfaction montre l'évolution de ces acides au cours de cette opération technologique. Nous pouvons observer une teneur maximale pour l'ensemble de ces cinq acides pour une perte de poids à la torréfaction se situant entre 14 et 16 %.

Une méthode d'analyse de l'acide quinique libre, basée sur la détermination par chromatographie en phase gazeuse de son dérivé triméthylsilylé, a été également appliquée. Elle nous permet de suivre l'élévation assez sensible de sa teneur en cours de torréfaction. Nous n'avons pas fait figurer ici le résultat de la détermination de l'acide quinique sur des poudres commerciales. Ces résultats ne sont que partiels, étant donné la durée d'application de la méthode.

BIBLIOGRAPHIE

1. A.F. MABROUK, F.E. DEATHERAGE. — *Food Tech.*, 10 (1956), 194.
2. C. LENTNER, F.E. DEATHERAGE. — *Food Research*, 24 (1959), 483.
3. J. SCHORMÜLLER *et al.* — *Z. Lebensm. Untersuch.-Forsch.*, 119 (1961), 226.
4. J.S. WOODMAN *et al.* — 3^e Coll. de l'ASIC, Trieste (1967), 137.
5. J.R. FELDMAN *et al.* — *J. Agr. Food Chem.*, 17 (1969), 733.
6. M. HAUSERMANN, H. BRANDENBERGER. — *Z. Lebensm. Untersuch.-Forsch.*, 115 (1961), 516.
7. A. LEIFERT. — Thèse de doctorat, Münster (1975).

BLANC (M.). — **Les acides carboxyliques du café : mise au point et résultats de différentes déterminations.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 73-78, fig., tabl., réf.

Après un bref rappel des différentes études concernant les acides carboxyliques dans le café et la mise en évidence des contradictions opposant certains résultats, les méthodes employées dans les travaux présentés sont décrites. Il s'agit de méthodes enzymatiques permettant de déterminer, sans traitement préliminaire, les acides citrique, malique, lactique, acétique et pyruvique.

Ces déterminations sont complétées par celles de l'acide quinique libre, par chromatographie en phase gazeuse de son dérivé triméthylsilylé. Après l'application de ces méthodes à des cafés verts de différentes origines, l'influence de la torréfaction sur ces constituants est étudiée. La composition en acides carboxyliques de poudres de café soluble commerciales permet d'établir des comparaisons avec les taux relevés dans les cafés torréfiés.

BLANC (M.). — **The carboxylic acids of coffee : commentaries on previous results and recent determinations.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 73-78, fig., tabl., réf.

After a brief remainder of the different studies concerning carboxylic acids in coffee and demonstration of certain contradictions arising out of these results, the methods used in the investigations reported here are described. These are enzymatic methods which allow the determination of citric, malic, lactic, acetic and pyruvic acids without preliminary treatment. These analyses are completed by the estimation of free quinic acid using GLC of the TMS derivative.

After the application of these methods to green coffees of different origins, the influence of roasting on these constituents is studied. The carboxylic acid composition of commercial soluble coffee powders permits the establishment of comparison with the levels found in roasted coffees.

HIGH PRESSURE LIQUID CHROMATOGRAPHY OF CHLOROGENIC ACID ISOMERS IN COFFEE

D.I. REES and P.D. THEAKER

Lyons Central Laboratories, London

INTRODUCTION

The group of phenolic compounds known as chlorogenic acids constitute about 10 % of green coffee. There are few quantitative data for the content of the individual isomers but 3-caffeoylquinic acid (3-CQA) is by far the major isomer present. The related isomers cryptochlorogenic acid (4-CQA) and neochlorogenic acid (5-CQA) are also present. The compound formerly called isochlorogenic acid is now known to be a mixture of 3,4-, 3,5-, and 4,5-dicaffeoylquinic acids (diCQA's). For further details of nomenclature and structures, the reader is referred to the review by Clifford (1).

Clifford and Wight (2) have indicated that the other related isomers, feruloylquinic acids (FQA's), are present in amounts of up to 1 % in green coffee. Corse *et al.* (3) had established previously that 3-FQA is the major ferulic acid derivative present.

The analytical method used by Clifford and Wight

involved the determination of the CQA's (and diCQA's) plus FQA's with metaperiodate reagent and the CQA's (and diCQA's) with molybdate reagent. As the authors point out, the results they quoted for FQA content were subject to the accumulated errors of the two stages of the differential technique. Thus some doubt had to be placed on the relatively high amounts of FQA quoted.

The high pressure liquid chromatography (HPLC) method described in this paper gives a clear separation of FQA from the other chlorogenic acid isomers. The unequivocal quantitative results obtained support the findings of Clifford and Wight, in fact levels as high as 2 % were found in some green coffees.

By modifying the eluting solvent system, the diCQA isomers were also determined and results for these isomers are also presented.

EXPERIMENTAL

Roasting of green beans

The green beans (100 g) were roasted in a Probat PR111 laboratory scale roaster. Moisture contents were determined by drying 5 g of the coarsely ground sample in an air oven at 102°C for 16 h.

Sample preparation

The green or roasted bean sample was ground in a rotating knife grinder and the fraction collecting between 20 mesh (0.75 mm) and 40 mesh (0.38 mm) sieves was used for the analysis.

The ground sample (2 g, on a dry mass basis) was shaken for 30 mn. with 70 % 2-propanol (17 ml) in a

stoppered test tube (20 × 150 mm) and the supernatant solution obtained on centrifuging was decanted into a 100 ml volumetric flask. The extraction was repeated four times, the supernatant solutions being bulked and diluted to the mark with 70 % 2-propanol. The solutions were stored in a refrigerator, 3 ml being diluted to 10 ml with 70 % 2-propanol for HPLC analysis.

High pressure liquid chromatography

Equipment

The system consisted of a Milton Roy pulsating pump (1 000 psi, max), a Cecil CE 212 uv spectropho-

tometer with a 10 μ l flow-through cell and a Vitatron 404M 10 mV recorder. A T-piece placed between the pump and the Reeve Angel injector connected the system to a 6 in 4000 psi gauge *via* a 2ft coil of 0.125 in o.d. stainless steel tubing, which acted as a pulse damping device.

The column was a stainless steel tube (60 cm \times 4 mm i.d. \times 0.25 in o.d.) filled with 11.1 g of Reeve Angel Co : Pell ODS packed by the tap-and-fill technique. (Co : Pell ODS is a pellicular bead of 40 micron diameter with a porous outer layer of 2 micron depth and coated chemically and permanently with octadecyl silane).

Eluents

For 3-CQA and 3-FQA-2 % formic acid plus 2.5 % acetic acid in water at 2.5 ml per mn and 500 psi inlet pressure.

For the diCQA's - 5 % propionic acid in water at 3.3 ml per mn and 750 psi inlet pressure.

The eluents were degassed by simple evacuation with a water pump for a few minutes.

Standard solutions

70 % 2-propanol solutions of 434 ppm of 3-CQA, 100 ppm of 3-FQA and 150 ppm of 4,5-diCQA, respectively.

Conditions

5 μ l injections ; 325 nm detection ; 0.5 cm per min chart speed ; detector sensitivities (a.u.f.s.) of 0.2 for 3-CQA and 0.05 for 3-FQA and the diCQA's.

For a series of solutions, injections were first made with use of the formic acid/acetic acid eluent for 3-CQA and 3-FQA analysis. The eluent was then changed for the aq. propionic acid and the same solutions were then injected for the diCQA's analyses.

Metaperiodate/molybdate colorimetric technique

The methods described by Clifford and White (2) were applied to green bean extracts.

RESULTS

Of the three standards available, both 3-CQA and 4,5-diCQA gave single well defined peaks corresponding to peak 1 in figure 2 and peak 3 in figure 3, respectively ; FQA however gave two large peaks, apart from the solvent peak, as shown in figure 1. The area of the FQA peak (peak 2) accounted for 85 % of the total areas. It was thus assumed that the sample was 85 % pure and this was taken into account in calculating the FQA contents of the coffees.

A sample of 3,5-diCQA was obtained after the completion of the quantitative investigation and its retention time corresponded to that of peak 4 in figure 3. The thin layer chromatographic evidence for the tentative identification of peak 5 in figure 3 as 3,4-diCQA is given in the appendix.

The diCQA contents were calculated from the sum of the retention areas, i.e. the product of peak heights and retention times of peaks 3, 4 and 5 in figure 3. This value was then multiplied by the 4,5-diCQA content calculated by comparison of its retention area with that of the standard. This is possible since the extinction coefficients of the three isomers are very similar (4).

Green beans

With one exception, the chromatograms of the green coffees examined were all qualitatively similar as shown in figures 2A and 3A. The « diCQA » chromatogram of Angola green bean exhibited two additional

peaks which eluted immediately before peak 3. (It is interesting to note that the presence of p-coumaric acid derivatives in Angola coffee have been indicated previously (5)).

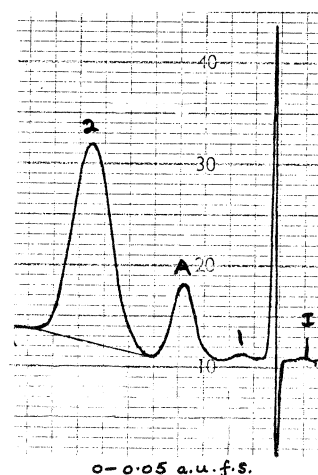


Fig. 1. — HPLC analysis of impure feruloylquinic acid (FQA) standard. 1 = 3-caffeoylquinic acid ; 2 = FQA ; A = unknown. Co : Pell : ODS column with 2 % formic acid plus 2.5 % acetic acid solvent and 325 nm detection. I = injection point.

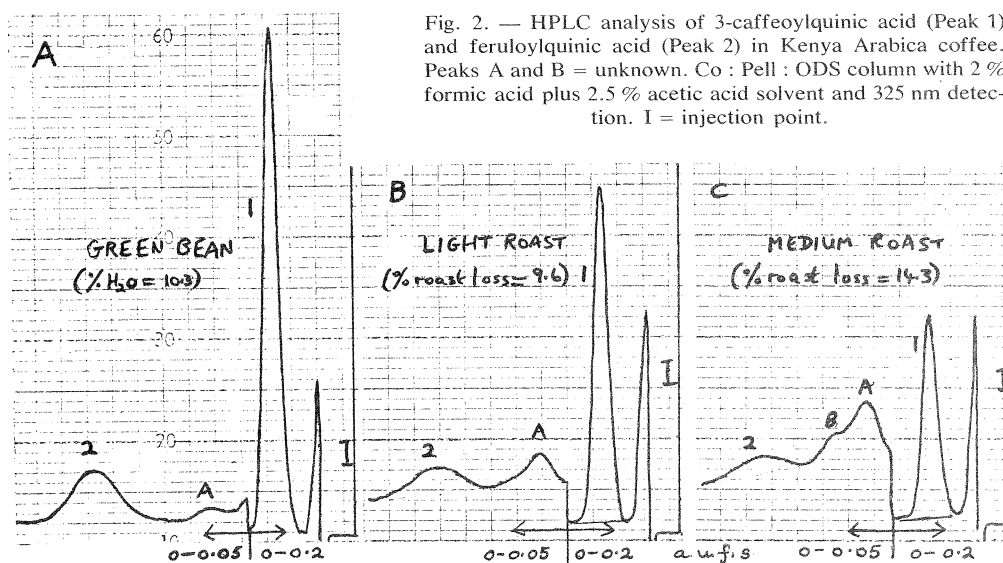


Fig. 2. — HPLC analysis of 3-caffeoylquinic acid (Peak 1) and feruloylquinic acid (Peak 2) in Kenya Arabica coffee. Peaks A and B = unknown. Co : Pell : ODS column with 2 % formic acid plus 2.5 % acetic acid solvent and 325 nm detection. I = injection point.

Fig. 3. — HPLC analysis of dicaffeoylquinic acids (DiCQA's) in Kenya Arabica coffee. Peaks 1 and 2 = as in Fig. 2 ; Peak 3 = 4,5-DiCQA ; Peak 4 = 3,5-DiCQA ; Peak 5 = 3,4-DiCQA. Co : Pell : ODS column with 5 % propionic acid solvent and 325 nm detection. I = injection point.

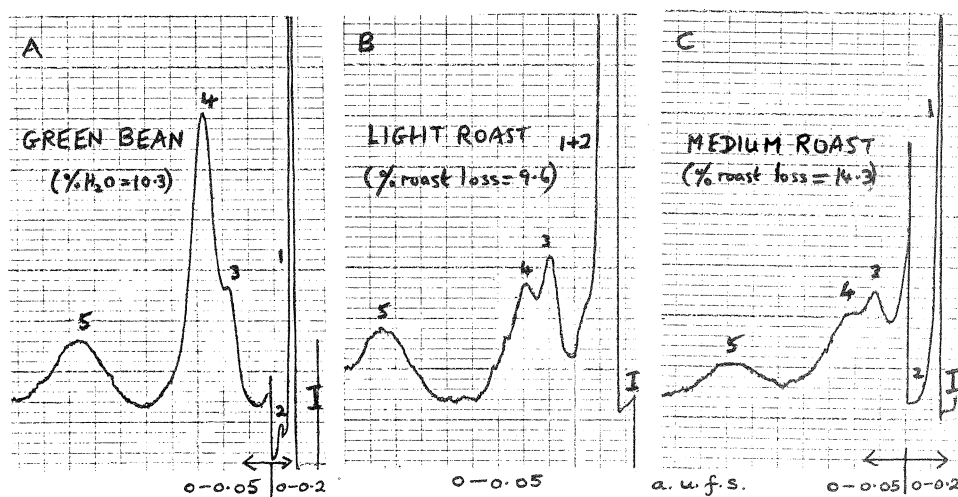


Table I (p. 82) summarises the results obtained by both the HPLC and colorimetric methods. The higher results obtained by the colorimetric method can be explained by the fact that the measured absorbances are dependent on the number of phenolic acid residues in the molecule. Thus diCQA, with two caffeic acid molecules will give approximately twice the absorbance of an equivalent amount of CQA. In addition, when it is borne in mind that the FQA contents obtained by the colorimetric method are calculated from the differences between the « total » and the « CQA's » values, both of which are subject to experimental errors, then the values obtained are very similar to those obtained by the HPLC method.

Changes during roasting

Changes during the roasting of Zaire Robusta and Kenya Arabica coffees only were examined. Figures 2 and 3 give some of the chromatograms obtained from the Kenya samples ; those obtained from the Zaire samples were qualitatively similar. In addition to the CQA (peak 1) and FQA (peak 2) peaks, two other unidentified peaks (peaks A and B) appear in the chromatograms of the roasted samples (see figure 2), their heights increasing with the degree of roast.

Table II (p. 82) summarises the results obtained. Roasting loss is defined as the percentage loss in weight from natural (wet) green bean to unquenched roast

bean. Pyrolysis loss is defined as the percentage loss in weight from dry green bean to dry roasted bean. The

moisture contents of the green bean samples are given in Table I.

Table I. — Chlorogenic acid isomers in green beans (% of dry sample)

Species	Country	Moisture Content %	HPLC results				Colorimetric results		
			3-CQA	FQA	diCQA's	Total	CQA's	FQA	Total
Robusta	Indonesia	8.9	6.2	1.5	2.4	10.1	9.1	3.0	12.1
	Uganda	10.0	6.1	1.6	1.8	9.5	9.0	3.3	12.3
	Ghana	8.6	6.1	1.7	1.7	9.5	8.7	3.1	11.8
	Zaire	11.5	5.2	2.1	1.9	9.2	-	-	-
	Malaya	10.0	5.9	1.5	1.7	9.1	8.5	3.2	11.7
	Nigeria	10.5	5.8	1.1	1.4	8.3	-	-	-
	Sierra Leone	11.5	5.1	1.5	1.5	8.1	-	-	-
Arabusta	Ivory Coast	9.9	6.0	1.2	1.4	8.6	8.3	1.8	10.1
Arabica	Kenya	10.3	5.8	0.9	0.9	7.6	-	-	-
	Rwanda	9.9	5.9	0.6	0.9	7.4	7.6	0.8	8.4
	Brazil	9.4	5.6	0.5	0.7	6.8	7.3	0.6	7.9
	Coasta Rica	10.1	5.4	0.5	0.9	6.8	7.2	1.2	8.4
?	Angola	8.1	5.2	1.3	1.5	8.0	8.4	3.2	11.6

Table II. — Changes in chlorogenic acid isomers during roasting

Zaire Robusta

Colour	Roast loss wet/wet	Pyrolysis loss dry/dry	HPLC results (% of dry green bean)			
			3-CQA	FQA	diCQA's	Total
Green	0	0	5.2	2.1	1.9	9.2
Very light	8.6	1.8	4.2	1.6	1.3	7.1
Light	11.1	2.7	3.1	1.1	0.8	5.0
Medium	14.2	4.9	1.6	0.6	0.4	2.6
Dark	18.0	8.9	0.3	0.2	0.1	0.6

Kenya Arabica

Green	0	0	5.8	0.9	0.9	7.6
Light	9.6	3.9	3.5	0.7	0.5	4.7
Medium	14.3	6.6	2.0	0.4	0.2	2.6
Medium dark	16.2	8.4	1.0	0.2	0	1.2
Dark	19.4	11.5	0.4	0.1	0	0.5

DISCUSSION

The equipment used in the present study precluded the use of gradient elution which would have made possible the determination from a single injection of both CQA and FQA as well as the diCQA's. However, the technique described, which involved the use of two solvents with different polarities proved to be very effective. It illustrates the potential of HPLC even with relatively inexpensive equipment.

The reversed phase pellicular packing used in the present study is employed for a variety of routine analyses in our laboratory, e.g. caffeine in tea and coffee; benzoic acid, sorbic acid and saccharin in fruit drinks and jams; antioxidants in fats. The pellicular packing materials are ideally suited for routine analyses since relatively high flow rates are obtained with a minimum of back pressure. In addition, they can be packed very easily by the tap-and-fill technique. However, their sample capacity is very limited and they give column efficiencies two orders of magnitude less than those obtained with small porous particles. Columns of the latter packing, however, require special high pressure equipment for filling and usually slightly more sophisticated HPLC equipment than that needed for the pellicular packings.

After completion of the present work, a publication (reference 6) appeared describing the separation of the CQA isomers in tobacco, with use of the small particle packing equivalent (μ Bondapak C₁₈) of the pellicular packing used in this study. A complete separation of the three isomers was achieved and the separation of the diCQA isomers, although not fully studied, was indicated.

The retention data quoted would indicate that 5-CQA would elute with the solvent front in the present study (figure 2) — this was subsequently confirmed when a sample was made available — and that 4-CQA would elute with the major 3-CQA isomers. However, the amount of 4-CQA present in coffee is very small

compared to that of 3-CQA (e.g. reference 7) and thus would contribute very little to the height of peak 1.

Table III gives the retention data of some compounds on Co: Pell ODS in the two solvent systems used.

The HPLC results for the **green beans** (Table I) shows that the Robusta coffees have greater total chlorogenic acids contents than the Arabica coffees; this agrees with many other findings. However, the results show no real differences in the 3-CQA contents between the two species and that the difference is due to the FQA and diCQA's contents. The FQA and diCQA's contents of the Angola coffee indicate it to be a Robusta species. Table IV, which gives the average values of the results given in Table II, indicates the differences clearly.

During **roasting**, the amounts of all the isomers decrease (Table II). New compounds appear in the chromatograms (figure 2) which could be phenolic decomposition products. Peak A reaches a maximum at medium roast and then decreases. Although the contents of the individual diCQA's have not been given, it is clearly seen in figure 3 that 3,5-diCQA (peak 4) decomposes more rapidly than the two isomers. This contradicts the findings of Kung *et al.* (7) who found the 3,5-diCQA to be more stable than its

Table IV. — Average contents in green beans (% of dry sample)

Species	3-CQA	FQA	diCQA's	Total
Robusta	5.8	1.5	1.8	9.1
Arabica	5.7	0.6	0.8	7.1

	2% formic acid plus 2.5% acetic acid in water	5% propionic acid in water
5-CQA	1.6	-
Caffeic acid	2.6	-
3-CQA	3.2	1.0
Ferulic acid	7.4	1.0
1,4-diCQA	7.6	1.3
3-FQA	10.2	1.4
4,5-diCQA	-	3.4
3,5-diCQA	-	4.6
(3,4-diCQA)	-	9.4

Table III. — Retention times on Co:
Pell: ODS column (Mn)

two isomers. However, Clifford and Wright (2) indicate that the values obtained by Kung *et al.* by gas liquid

chromatographic analysis of trimethylsilyl derivatives must be treated as suspect.

APPENDIX

Confirmatory analysis of the dicaffeoylquinic acids

Three standard compounds were available, 3,5- and 4,5-diCQA's (both present in coffee) and 1,4-diCQA (not previously found in coffee). The following thin layer chromatographic evidence together with that of HPLC given in the paper, strongly indicates peaks 3 and 4 in figure 3 to be 4,5-diCQA and 3,5-diCQA, respectively whilst peak 5 is probably 3,4-diCQA (and definitely not 1,4-diCQA).

The Indonesian green bean 2-propanol extract was concentrated and applied to a preparative t.l.c. plate (MN Glass SIL G-100 UV 254) and eluted with ethyl acetate-acetone-acetic acid (4:1:1). Three polyphenolic bands, with Rf values between 0.5 and 0.7, were detected under UV light and by spraying with a freshly mixed solution (1:1) of 0.5 % ferric chloride and 0.5 % potassium ferricyanide. The unsprayed bands were scraped off and eluted with 70 % 2-propanol and analysed by t.l.c. using MN Polygram SIL G layers. The Rf values obtained together with those of standard phenols are given in Table V.

The three eluents were then analysed by HPLC with use of the Co : Pell ODS column and 5 % propionic acid solvent. Bands 1 and 2 each gave one peak with the same retention times as 3,5-diCQA and 4,5-diCQA, respectively. Band 3 gave one peak with the same retention time as peak 5, which did not correspond to the retention times of 1,4-diCQA and 3-FQA.

Table V. — Silica gel TLC of coffee phenols and standards (Rf values). Solvent : ethylacetate-acetone-acetic acid (4:1:1)

3,5-diCQA	0.68
4,5-diCQA	0.58
1,4-diCQA	0.53
3-FQA	0.44
5-CQA	0.42
3-CQA	0.35
<hr/>	
Band 1	0.68
Band 2	0.58
Band 3	0.49

Acknowledgement

The authors are grateful to Dr M.N. Clifford, Grimsby College of Technology, England, who kindly supplied the chlorogenic acid samples.

REFERENCES

1. M.N. CLIFFORD. — *Process Biochem.*, **10**, 20 (1975).
2. M.N. CLIFFORD, J. WIGHT. — *J. Sci. Fd Agric.*, **27**, 73 (1977).
3. J.W. CORSE, E. SONDEHEIMER, R. LUNDIN. — *Tetrahedron*, **18**, 1207 (1962).
4. K. RUBACH. — Dissertation, Techn. Univ. Berlin (1969).
5. G. PICTET, H. BRANDENBERGER. — *J. Chromat.*, **4**, 396 (1960).
6. W.A. COURT. *J. Chromat.*, **130**, 287 (1977).
7. J.T. KUNG, W.S. RYDER, J.R. FELDMAN. — 3rd International Colloquium on the Chemistry of Coffee at Trieste, ASIC, 223 (1967).

REES (D.I.), THEAKER (P.D.). — **Chromatographie liquide à haute pression des isomères de l'acide chlorogénique du café.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 79-84, fig., tabl., réf.

Description d'une méthode simple d'analyse des acides caféoyl-quinique, feruloyl-quinique et dicaféoyl-quinique du café vert et torréfié utilisant une phase inverse et des éluants aqueux. Les résultats obtenus avec des cafés verts Arabica et Robusta et avec l'Arabusta sont présentés. Les modifications au cours de la torréfaction ont également été observées.

REES (D.I.), THEAKER (P.D.). — **High pressure liquid chromatography of chlorogenic acid isomers in coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 79-84, fig., tabl., réf.

A simple method is described for the determination of caffeoylquinic, feruloylquinic and dicaffeoylquinic acids in green and roasted coffees with use of a reversed phase system and aqueous eluting solvents. Results obtained on a number of Arabica and Robusta green coffees and on Arabusta coffee are given. Changes during roasting have also been monitored.

RÖSTEFFEKTE AUF DIE KAFFEEZUSAMMENSETZUNG

W. BALTES

Technische Universität Berlin (Deutschland)

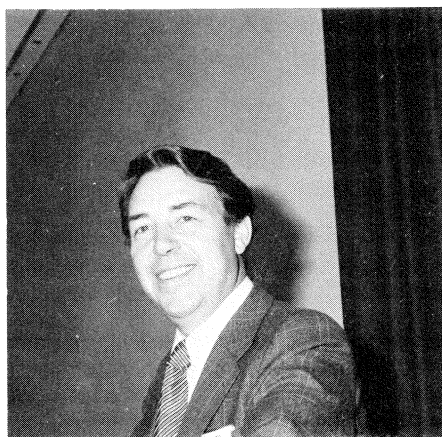
Kaffee ist eines der bedeutendsten Genußmittel unserer Zeit, dessen Aromaentwicklung durch einen Röstprozeß verursacht wird. Während grüner Kaffee grasig schmeckt und uns nur wenig appetitlich erscheint, entsteht durch Rösten ein hocharomatisches Erzeugnis, dessen Geschmack und Geruch in keiner Weise mehr an sein Ausgangsprodukt erinnert. Der Grund dafür sind die in Rohkaffee enthaltenen Verbindungen, die durch chemische Reaktion untereinander sowie durch pyrolytischen Zerfall und evtl. weitere Umsetzung freigewordener Bruchstücke die Verbindungen entstehen lassen, aus denen sich das Kaffee-Aroma letztlich zusammensetzt.

Daß die Zusammensetzung pflanzlicher Produkte von der Rasse, den Anbaubedingungen, Klima, Bodenbeschaffenheit, dem Anbauort und einer Reihe weiterer Parameter abhängt, bedarf keiner weiteren Erläuterung. Daher kann die in Tabelle I angegebene Zusammensetzung von Rohkaffee (1) auch nur eine Diskussionsgrundlage darstellen, weil andere Produkte sicherlich etwas abweichende Werte besitzen werden.

Tab. I. — Chemical composition of raw coffee (Arabica) (Streuli, 1973)

COMPONENTS	CONTENTS (%)
POLYSACCHARIDES	26
CRUDE FIBER	27
SACCHAROSE	6
LIPIDS	16
PROTEIN	11
ORGAN. ACIDS (INCL. CHLOROGENIC ACIDS)	7,5
COFFEIN	1,3
MINERALS (CATIONS)	2,0
TRIGONELLIN	1,0
TOTAL	98,0

Die Daten lassen aber den Schluß zu, daß der Anteil hochmolekularer Verbindungen im Rohkaffee weit über 60 % liegt, da der Proteinwert nur zu etwa einem Zehntel freie Aminosäuren repräsentiert (2). Wenn wir darüber hinaus berücksichtigen, daß die Lipide (etwa 16 %) und die Mineralstoffe (etwa 2 %) bei der Hitzebehandlung des Rohkaffees nur geringe oder gar keine chemische Reaktionsbereitschaft zeigen [lediglich ein Teil der in den Außenschichten befindlichen Lipide werden durch Oxydation bzw. Polymerisation



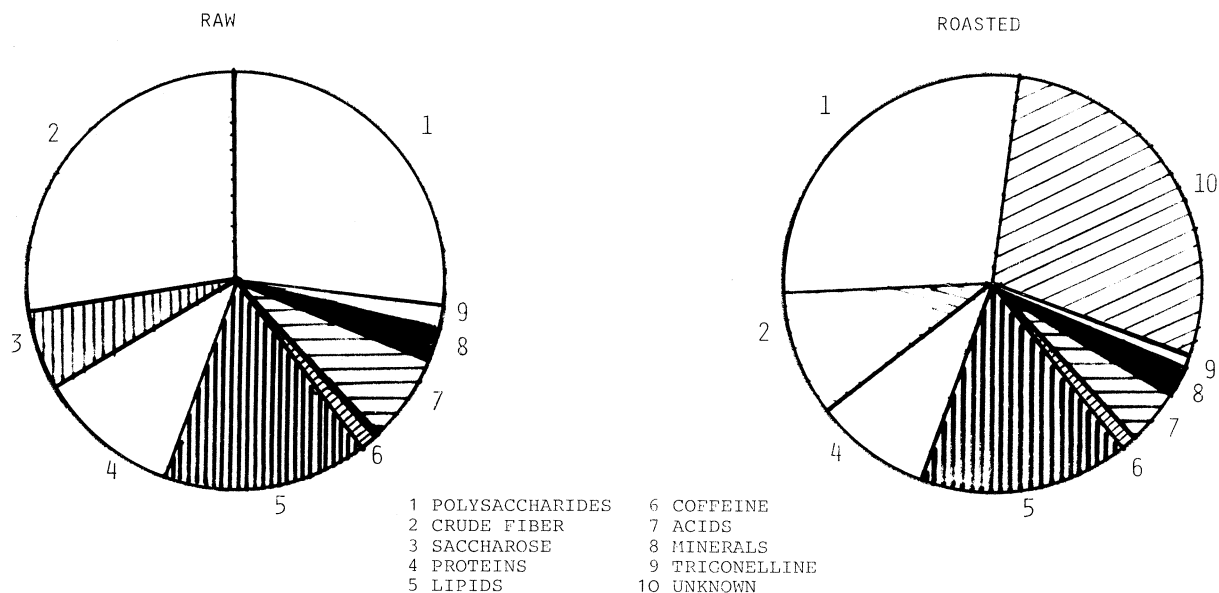
verändert (3)], dann bleiben aus der Grundsubstanz der Kaffeebohne nur noch 15-17 % niedermolekulare Verbindungen übrig, denen man eine schnelle Umsetzung im Sinne organisch-chemischer Reaktionen zutrauen würde, während hochmolekulare Verbindungen meist als chemisch recht träge bekannt sind.

Eine Betrachtung der Abbildung 1 (S. 86), die einen Vergleich der Inhaltsstoffe von rohem und geröstetem Kaffee vermitteln soll, zeigt indes, daß die Verhältnisse doch etwas anders liegen. Zwar ist in Röstkaffee keine Saccharose mehr enthalten, wie auch die Konzentrationen an niedermolekularen Eiweißverbindungen, Säuren und Trigonellin deutlich erniedrigt sind.

Vor allem fällt aber der stark erniedrigte Gehalt an Rohfaser ins Auge, während sich eine neue Gruppe brauner, meist polymerer Verbindungen unbekannter Struktur gebildet hat. Diese Ergebnisse machen deutlich, daß sich während des Röstens von Kaffee auch andere Reaktionsmechanismen abspielen müssen, als sie aus herkömmlichen chemischen Reaktionen bekannt sind. Solche Mechanismen, die offenbar auch Polymersubstanzen leicht in ihre Reaktionen mit einbeziehen, sind in der Tat bei pyrolytischen Fragmentierungen beobachtet worden. Wie wir heute wissen, kann man mit Hilfe pyrolytischer Methoden in polymeren Festkörpern reproduzierbar ganz bestimmte Bindungen lösen, was man inzwischen zur Analytik ausnutzt.

Wir wollen daher heute einmal der Frage nachgehen, welche Veränderungen in der Kaffeebohne während

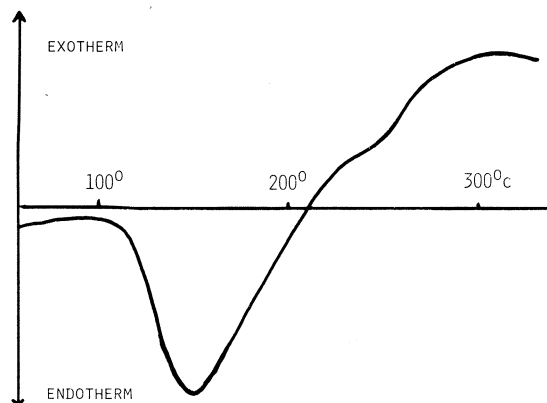
Abb. 1. — Chemical composition of raw and roasted Arabica coffee



des Röstens ablaufen und welche Konsequenzen sich daraus für die Zusammensetzung von Röstkaffee ergeben.

Gewisse Einblicke in das Geschehen liefert die Differentialthermoanalyse (DTA). Es handelt sich hier um eine Methode, die eine Messung des thermischen Verhaltens von Substanzen in Abhängigkeit von der Temperatur gestattet. In Verbindung mit der Thermogravimetrie, die den Gewichtsverlust in Abhängigkeit von der Temperatur ermittelt, soll sie verschiedentlich auch zur Bestimmung des Röstverhaltens von Kaffee verwendet werden. — Die DTA-Kurve von Arabica-Kaffee ist in Abbildung 2 dargestellt. Sie zeigt im Temperaturbereich von 100-150 °C endotherme Veränderungen der Substanz an, die zumeist durch Verdampfen von Wasser hervorgerufen werden.

Abb. 2. — Differential - thermo-analysis (DTA) of green Arabica coffee



Tatsächlich beträgt der Wasserverlust beim Rösten 7-9 %. Im gleichen Bereich überlagert diese Verdampfung wahrscheinlich aber auch exotherme Kohlenhydrat-Aminosäurereaktionen nach dem Schema der Maillard-Reaktion (4), was hier offenbar nicht angezeigt wird. — Ab 150° C beginnen exotherme Reaktionen zu überwiegen, was durch Ansteigen der Kurve registriert wird. Von 200° C an laufen solche Reaktionen dann recht stürmisch ab bis zum Verkohlen der Kaffeebohnen. Lediglich im Bereich von 220-300 °C zeigt ein Knick in der Kurve das vorübergehende Vorliegen endothermer Reaktionen an. Dieses Verhalten wird sich je nach Provenienz des Kaffees charakteristisch gestalten, weshalb auch die Röstung nach unterschiedlichen Programmen durchgeführt wird. — Normalerweise wird Kaffee bei ansteigenden Temperaturen zwischen 170-240° C geröstet. Dabei wird die Röstzeit umso kürzer sein, je höher die Temperatur eingestellt wurde. Eine Verschiebung zu höheren Temperaturen bzw. längeren Röstzeiten wird man allerdings registrieren, wenn unter höherem Druck z.B. bei der Trommelröstung gearbeitet wird (5).

Visuell erkennt man, daß die Kaffeebohnen sich beim Rösten braun färben, wobei gleichzeitig ihre Schale zusehends härter und spröder wird. Gegen Ende des Röstens blähen sie sich sichtlich auf und platzen unter hörbarem Knacken. Um ein Verbrennen zu unterbinden, müssen sie anschließend sofort gekühlt werden. Den Röstverlust bezeichnet man als Einbrand, die Werte liegen normalerweise zwischen 13-20 %. Um den eigentlichen Substanzverlust zu erfassen, zieht man hiervon den Wasserverlust ab, so daß Werte um 5-8 % resultieren. Einbrand, Röststärke und Farbtiefe verlaufen meist parallel, weshalb der Röstmeister das Ende der Röstung durch Farbvergleich erkennt.

Um selbst einen direkten Einblick in die beim Rösten ablaufenden Veränderungen zu bekommen, haben wir

Tab. II. — Roasting of coffee at 200 ± 5°C

ROASTING TIME:	7	10	13	16 MINUTES
WEIGHT LOSS:	12,6	16	22,3	22,8 %
APPEARANCE OF BEANS:	LIGHT BROWN	BROWN	DARK BROWN, FATTY	NEARLY BLACK, FATTY
ODOUR:	CARAMEL-LIKE	COFFEE	PUNGENT MERCAPTANE-LIKE	BURNT
TASTE OF BEVERAGE:	SOUR, MUSTY	LIKE COFFEE	BURNT, TARRY	
PH (GLASS ELECTRODE):	4,9	5,1	6,2	6,2

Arabica-Kaffee in einem Laborröster einer isothermen Röstung bei etwa 220° C unterworfen. Einige der erhaltenen Werte sind in Tabelle II wiedergegeben.

In Röstzeiten zwischen 7 und 16 min erzeugten wir dabei Produkte von hellbraunem bis fast schwarzem Aussehen, wobei der Austritt von Fett teilweise eine zu starke Röstung anzeigte. Daraus bereitetes Kaffeegetränk ergab nach einer Röstzeit von 10 min optimales Aroma (pH = 5,1), während alle länger behandelten Partien teilweise teerige und verbrannte Geschmacksnoten besaßen und zunehmend bitter waren.

In gewisser Weise läßt sich die Menge an wasserlöslichen Extraktstoffen zum Röstgrad in eine Beziehung setzen (6).

Wie wir heute wissen (8), zerfällt es unter Bildung von Nicotinsäure, Pyridin und N-Methylpyrrol. Die Nicotinsäure zeigt dabei volle biologische Wirksamkeit (9).

In normalen Röstkaffees des Handels liegt der Trigonellengehalt je nach Provenienz bei 0,2-1 %, der Röstverlust an dieser Substanz beträgt etwa 30-50 %. In stark gerösteten Kaffees hat man schon Pyridingehalte bis 200 mg/kg nachgewiesen (8), das zusammen mit Pyrazinen solchen Kaffeeproben deutlichen Basengeschmack verlieh.

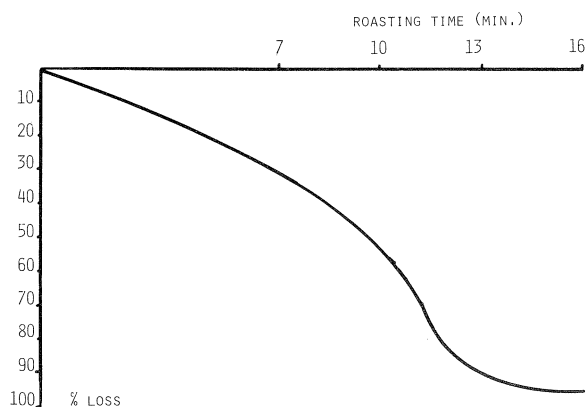
Tab. III. — Influence of roast-degree on amount of water-extrakt (%) (Pekkarinen U. Porkaa, 1963)

	ROBUSTA	R10
LIGHT ROAST	27	23,6
MEDIUM ROAST	27,6	23,7
DARK ROAST	28,8	24,7
VERY DARK ROAST	29,8	25,1
"BURNT" ROAST	32,0	25,9

Grundsätzlich kann man demnach eine Zunahme des wäßrigen Extraktes mit der Röstzeit diskutieren, wobei allerdings gewisse Unterschiede provenienzbedingt auftreten werden. Unabhängig hiervon kann die Extraktmenge durch Temperaturerhöhung des Wassers vergrößert werden (7). Beide Betrachtungen zeigen, daß offenbar hochpolymere Kohlenhydrate des Kaffees sowohl bei der Röstung als auch durch Wasserdampf bei etwa 180° C Spaltungen erfahren können.

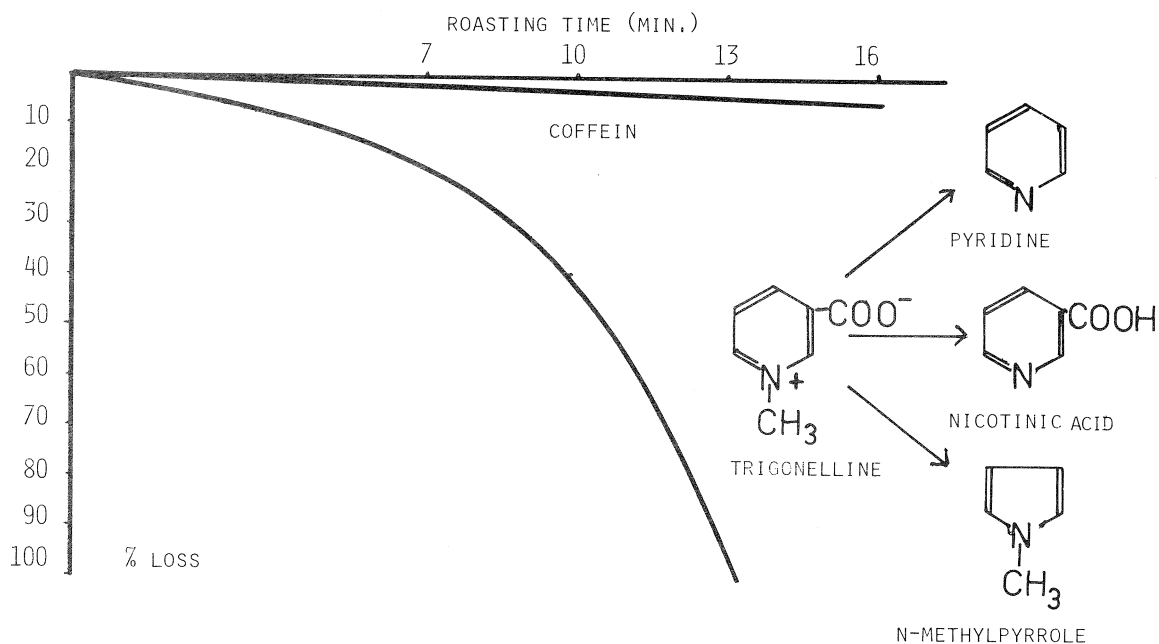
In recht unterschiedlichem Maße verhalten sich Coffein und Trigonellin beim Rösten. Während sich ersteres als recht temperaturstabil erwies und selbst nach extremer Röstung weniger als 10 % Verlust erfuhr, wurde Trigonellin fast völlig abgebaut. (Abb. 3, S. 88)

Abb. 4. — Influence of roasting time at 220°C on the degradation of chlorogenic acid



Auch Chlorogensäure wird beim Rösten in nicht unerheblichem Maße abgebaut. In unserem Versuch lag die Abbaurate nach 10 min langem Rösten bei etwa 50 %, nach weiteren 3 min betrug der Abbau dann 95 %. Auch Kung u. Mitarb. (10) fanden Verluste, die entsprechend dem Röstgrad bis 80 % erreichten. (Tab. IV, S. 88).

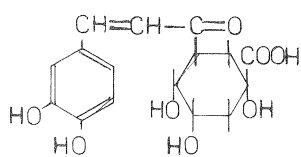
Abb. 3. — Influence of roasting time at 220°C on degradation of caffeine and trigonelline



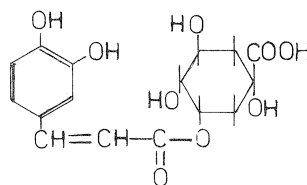
Tab. IV. — Changes in phenolic acids during roastings (Feldman, Ryder and Kung)

% OF DRY COFFEE BEAN BASIS

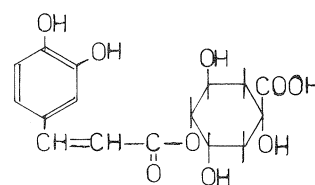
ACID	SANTOS				COLUMBIAN			
	GREEN	LIGHT ROAST	MEDIUM ROAST	DARK ROAST	GREEN	LIGHT ROAST	MEDIUM ROAST	DARK ROAST
CHLOROGENIC	5.56	2.90	1.96	1.11	3.77	2.74	2.16	0.93
NEOCHLOROGENIC	0.88	1.59	1.02	0.63	0.60	1.53	1.16	0.49
COFFEIC	0.24	0.24	0.27	0.28	0.17	0.17	0.18	0.21



CHLOROGENIC ACID
(3-CAFFEYOYLQUINIC ACID)



NEOCHLOROGENIC ACID
(5-CAFFEYOYLQUINIC ACID)



KRYPTOCHLOROGENIC ACID
(4-CAFFEYOYLQUINIC ACID)

Interessant ist in diesem Zusammenhang ein leichtes Ansteigen der Gehalte von Neochlorogensäure, was eine intermediäre Umlagerung der in 3-Stellung an Chinasäure gebundenen Kaffeesäure in die 5-Stellung bedeutet. Unabhängig davon scheint die Kaffeesäure schließlich mehr und mehr abgespalten zu werden (11, 12). Während die dabei freigewordene Chinasäure

pyrolytisch zu Hydrochinon und Pyrogallol zerfällt, entsteht aus Kaffeesäure über Dihydroxystyrol und Protocatechualdehyd in der Hauptsache Brenzkatechin. — In gleicher Weise werden die Isochlorogensäuren (Dicafeoylchinasäuren) und nicht zuletzt auch freie Kaffeesäure abgebaut, so daß diese Säuren dem Kaffee mit wachsender Röstzeit zunehmend entzogen

werden. Auf diese Weise wird natürlich der Säuregrad des Kaffeegetränkes beeinflusst.

Zunächst beobachtet man durch hydrolytische Spaltung der Esterbindung eine Zunahme an Säure und damit ein Absinken des pH.

Tab. V. — Effect of roasting on PH of Arabica coffee beverages (Sivetz, 1972)

DEGREE OF ROAST	APPROXIMATE WEIGHT LOSS (%)	PH OF BEVERAGE	
		SANTOS	COLOMBIAN
LIGHT	12	5,88	5,83
	13	5,48	5,73
	14	5,18	5,41
OPTIMUM	15	5,12	5,16
DARK	16	-	5,23
	17	-	5,48

Sicherlich wirken hier auch Säuren mit, die sich durch pyrolytischen Zerfall von Kohlenhydraten bilden, wie z.B. Essig- und Ameisensäure. Eine Reihe weiterer Säuren, wie Malein- und Fumarsäure sowie Itacon-, Mesacon- und Citraconsäure, sind durch Pyrolyse aus Äpfel- bzw. Citronensäure entstanden (13). Sie alle werden freilich mit zunehmendem Röstgrad mehr und mehr decarboxyliert, so daß die pH-Werte stark gerösteter Kaffees höher liegen (14).

Nun hat Sivetz einen direkten Zusammenhang zwischen dem pH des Kaffeegetränkes und seiner Aromaqualität herzustellen versucht (15). Demnach sollte der pH aromatisch optimaler Kaffeegetränke bei 4,95-5,15 liegen. Am sauersten scheinen dabei Arabica-Kaffees aus Brasilien und Kolumbien zu sein, während Robusta-Kaffees z.B. von der Elfenbeinküste etwas weniger saure Aufgüsse ergaben. Einen nicht zu übersehenden Einfluß besitzt hierbei natürlich auch die

Tab. VI. — Increase of polycyclic hydrocarbons during roasting of coffee (PPB) (Fritz, 1968)

	MEDIUM ROAST		EXTREMELY DARK ROASTED BEANS	
	I	II	I	II
ANTHRACENE	1,5	2,0	6,2	7,1
PHENANTHRENE	28,0	30,0	74,0	68,3
PYRENE	3,5	6,0	28,0	31,2
FLUORANTHRENE	3,9	4,2	34,0	36,3
1-2-BENZANTHRACENE	1,5	1,8	14,2	14,6
CHRYSENE	-	-	14,8	14,3
3-4-BENZOPYRENE	0,3	0,5	5,8	6,1
1-2-BENZOPYRENE	0,7	0,8	7,0	7,2
PERYLENE	-	-	0,6	0,7

Alkalität des verwendeten Wassers. Eine wichtige Frage, die in Zusammenhang mit gerösteten Lebensmitteln immer anzusprechen ist, gilt den cancerogenen Kohlenwasserstoffen. Untersuchungen hierzu liegen u.a. von Fritz (16) und Grimmer (17) vor. Wie Fritz zeigen konnte, nimmt der Gehalt an diesen Verbindungen in der Tat mit steigendem Röstgrad stark zu.

Nun waren diese Werte allerdings besonders durch Daten aus der Röstung von Kaffee-Ersatzstoffen sehr in den Mittelpunkt des Interesses gerückt (18). Wie Fritz dann allerdings ausführte, stammten diese sehr viel höheren Werte aus einer kohlebeheizten Anlage, während sie bei indirekter Heizung deutlich zurückgingen. Allerdings wies Fritz auf relativ hohe Benzpyrenwerte in den Kaffeehäutchen und im Kaffeeteer hin. Hingegen ist der Benzpyrengehalt normal gerösteter Kaffees zu vernachlässigen, wie auch von anderer Seite bestätigt wurde (19).

Auch Proteine und Aminosäuren werden bei der Kaffeeröstung angegriffen. Unter ihnen werden die freien Aminosäuren, die im Kaffee etwa 10 % der Gesamtproteinsubstanz ausmachen, am stärksten abgebaut. Die meisten von ihnen sind bereits nach milder Röstung restlos zerstört. In Tabelle VII ist der Rösteffekt auf die gesamte Proteinsubstanz (incl. freier Aminosäuren) dargestellt.

Tab. VII. — Effect of roasting on amino (protein)-nitrogen in coffee (% calc. on dry basis) (Feldman, Ryder and Kung)

	AMINO NITROGEN			TOTAL PROTEIN		
	GREEN	ROASTED		GREEN	ROASTED	
		1	2		1	2
HAITI	1,63	1,25	1,16	10,19	9,04	8,76
COLOMBIA	1,55	1,27	1,15	9,69	9,24	8,70
ANGOLA ROBUSTA	1,61	1,15	0,94	10,07	7,16	5,86

Es wird deutlich, daß bei den ersten beiden Sorten der Verlust offenbar fast ausschließlich von den freien Aminosäuren getragen wird. Schwerer fällt indes eine Deutung bei dem dargestellten Robusta-Kaffee, der möglicherweise viel härter geröstet wurde.

Aminosäuren sind wesentliche Aroma-Precursoren, die auf verschiedenen Reaktionswegen wesentliche Aromakomponenten liefern können. Eine der am meisten diskutierten Reaktionen ist in diesem Zusammenhang der Abbau nach Strecker, aus dem vorwiegend Aldehyde und Pyrazine entstehen. Als Reaktionspartner werden α -Dicarbonylverbindungen benötigt, die jedoch bei der Fragmentierung von Kohlenhydraten in genügender Menge entstehen. — Daneben kennt man aber auch Verbindungen des Kaffee-Aromas, die offensichtlich durch pyrolytische Zersetzung von Aminosäuren entstanden sind, so daß man auch diesen Reaktionsweg hier ernsthaft in Betracht ziehen muß. So fanden z.B. Kato u. Mitarb. (20, 21) in Pyrolyseansätzen von Hydroxyaminosäuren verschiedene Pyra-

zine und Pyrrole. Nach entsprechender Zersetzung von Phenylalanin und anderen aromatischen Aminosäuren isolierten sie Toluol, Styrol, Indol, Äthylbenzol und viele weitere charakteristische Verbindungen, die ebenfalls im Kaffee-Aroma vorkommen. Weitere Beiträge hierzu lieferten Merritt Jr u. Mitarb. (22). Insgesamt bedarf dieses Gebiet noch weiterer Bearbeitung, und es ist zu erwarten, daß dabei noch die Genese mancher Aromastoffe aufgeklärt wird.

Unter anderem isolierten Kato u. Mitarb. (20) nach Pyrolyse von Serin 3-6-Dimethyl-2-5-Diketopiperazin. Zum Chemismus dieser Reaktion wurde nichts ausgesagt. Man kann aber diskutieren, daß die Reaktion über Dehydroalanin abgelaufen ist. Interessant ist dieser Befund insofern, als vor kurzem von einer Schweizer Arbeitsgruppe (23) nachgewiesen wurde, daß der Bittergeschmack von Kakao auf solche Diketopiperazine zurückgeht, die ganz offensichtlich beim Rösten der Kakaobohnen entstehen und mit Theobromin Komplexverbindungen eingehen.

Wie auch andere Proteine wird Kaffeeprotein beim Rösten keine nennenswerten Gewichtsverluste erleiden, zumal beachtliche Anteile von ihm an polymere Kohlenhydrate der Kaffeebohne gebunden zu sein scheinen. Allerdings machten Belitz u. Mitarb. (24) eine wichtige Entdeckung, als sie im Rahmen ihrer Untersuchungen über hitzebedingte Proteinschädigungen den dabei auftretenden Bittergeschmack testeten. Wie sie dabei nämlich fanden, reichen die Geschmacksschwellenwerte durchaus an den des Chinins heran.

Tab. VIII. — Occurrence of bitter taste after roasting of proteins (Belitz et al., 1976)

PROTEIN	WATER EXTRACT AFTER PYROLYSIS THRESHOLDS (%)	
CASEIN	0,003	- 0,004
SOJA-PROTEIN	0,001	- 0,002
ZEINE	0,001	- 0,002
GLIADINE (WHEAT)	0,001	- 0,002
GLUTENE (WHEAT)	0,0005	- 0,0015
EGG-ALBUMINE	0,006	- 0,008
GELATINE	0,4	- 0,6
CHININHYDROCHLORIDE	0,001	

Es sollte anzunehmen sein, daß diese bitteren Geschmacksnoten durch thermische Abspaltung polarer Reste aus dem Protein entstehen, wie sie in Bezug auf Wertigkeitsminderungen von Nahrungseiweiß seit längerem diskutiert werden. Hierzu ist bekannt, daß bei Hitzeeinwirkung auf Eiweiß freie SH- und OH-Gruppen abgespalten werden und dabei aus Cystein- bzw. Serinresten im Molekül Dehydroalanin entsteht. Dieses besitzt eine reaktive Methylengruppe, die ihrerseits mit

der endständigen Aminogruppe von Lysin oder der Guanidinogruppe des Arginins reagieren kann und über Lysinoalanin oder Argininoalanin zusätzliche Vernetzungen im Molekül bildet. — Man sieht also, daß eine orientierende Gesamtstickstoffbestimmung nach Kjeldahl nicht ausreicht, um Veränderungen im Proteinmolekül zu beschreiben. Vielmehr ist anzunehmen, daß auch Kaffeeproteine beim Rösten Bitterstoffe entwickeln, über deren Aufbau jedoch noch nichts bekannt ist.

Die Kohlenhydrate der grünen und gerösteten Kaffees sind bei weitem besser untersucht als die Proteine. Besonders durch Arbeiten von Thaler (25-29), Wolfrom (30-32) und Courtois (33) verfügen wir heute über Erkenntnisse, die die in dieser Stoffgruppe ablaufenden Veränderungen verständlicher werden lassen. — Neben etwa 6 % Saccharose und Glucose enthält Rohkaffee 3 weitgehend definierte Polysaccharidfraktionen. Die erste, die etwa 3-4 % in grünem Kaffee ausmacht, besteht aus 60 % Galactan, 20-30 % Araban und 10 % Mannan. Diese Fraktion ist teilweise in heißem, zum anderen Teil in kaltem Wasser löslich, zeigt aber keine chemischen Unterschiede, so daß sie in Abbildung 5 als eine einheitliche Fraktion aufgeführt ist.

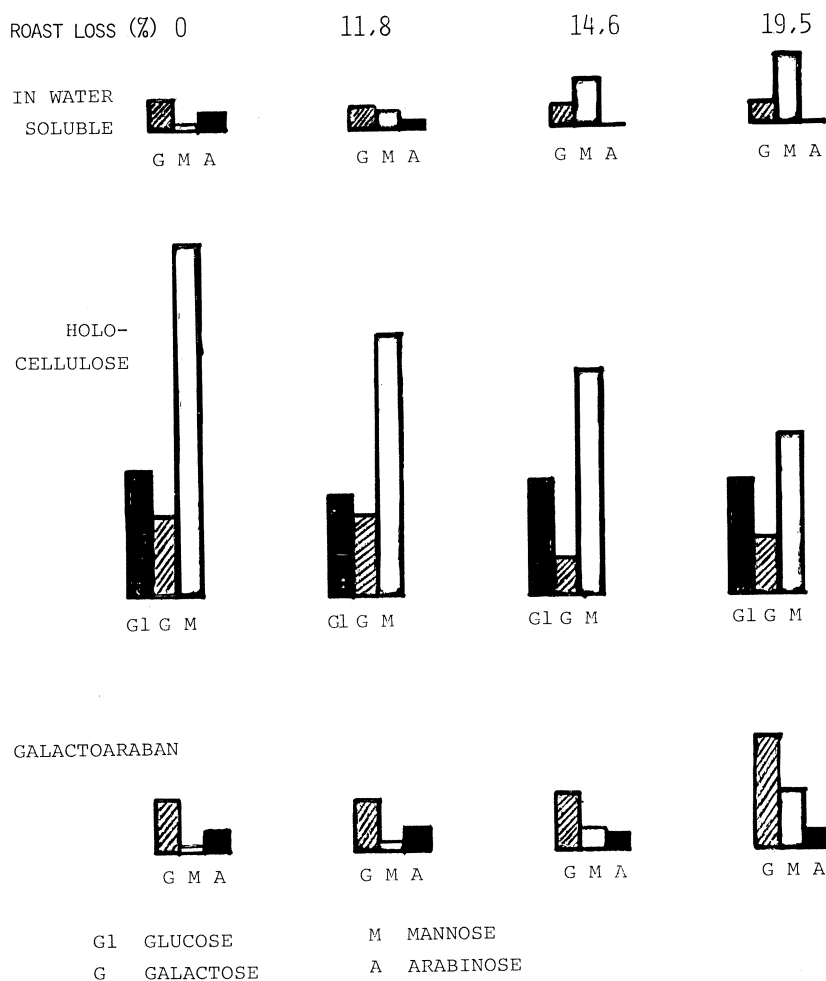
Am bedeutendsten mit 30-40 % ist sicherlich die sogenannte Holocellulose, die in sich Cellulose (Glucan), Mannan und Galactan vereinigt, während die 3. Fraktion (5-9 %), das Arabinogalactan, ebenfalls ein wasserunlösliches Zellwandpolysaccharid, darstellt.

An letzteres sind offenbar große Teile Protein gebunden. Es besteht nach Untersuchungen von Wolfrom (30) aus Galactoseeinheiten, die Arabinosemoleküle in der Seitenkette gebunden enthalten. Die genannte Zusammensetzung scheint gleichermaßen für Arabica- und Robusta-Kaffees zuzutreffen. In Abbildung 5 sind die genannten Polysaccharidkomplexe unter Berücksichtigung ihrer Mengenverhältnisse in grünem Kaffee sowie nach unterschiedlichen Röstungen dargestellt. Man erkennt hier gewisse Verschiebungen: zum ersten sieht man, daß beachtliche Teile des wasserunlöslichen Mannans aus der Holocellulose verschwinden. Sie erscheinen zum Teil wieder in der Galactoarabanfraktion, vor allem aber finden wir sie nach Rösten in der wasserlöslichen Fraktion. Zum zweiten stellt man eine Erhöhung des Galactananteils in der unlöslichen Galactoarabanfraktion fest. Insgesamt betragen die Verluste an polymeren Kohlenhydraten nach einer Schätzung Thalers 20-25 %, wobei ansteigende Verluste in der Reihenfolge:

Mannan
Cellulose (Glucan)
Galactan und
Araban

registriert wurden. Im Kaffeegetränk findet man dann hauptsächlich lösliches Mannan und Galactan, deren Mengenverhältnisse zueinander sich auch mit ansteigendem Röstgrad nicht ändern. Die restliche Holocellulose sowie unverändertes Galactoaraban findet man dann im Kaffeesatz. Wie Thaler (34) mittels Rasterelektronenmikroskopie und unter dem Polarisationsmi-

Abb. 5. — Degradation of polysaccharides in coffee during roasting



kroskop sehr schön zeigen konnte, besitzt nicht abgebaute Holo-cellulose der Zellwand auch nach dem Rösten noch die gleiche Struktur.

Die in der Zellschubstanz enthaltene Saccharose und andere niedermolekulare Zucker werden dagegen während der Röstung fast völlig abgebaut.

Tab. IX. — Sucrose in green and roasted coffee (% on dry bean basis) (Feldman, Ryder and Kung)

	GREEN	LIGHT ROAST	MEDIUM ROAST	DARK ROAST
COLOMBIAN	4,59	0,45	0,17	0,06
SANTOS	5,47	0,68	0,27	0,10

Zunächst steigt der Gehalt reduzierender Zucker zwar an. Dieser Effekt ist jedoch auf eine Invertierung von Saccharose während des ersten Teils der Röstung zurückzuführen, zumal man in Röstkaffees schon Fructose gefunden hat, die in grünem Kaffee nicht vorkommt.

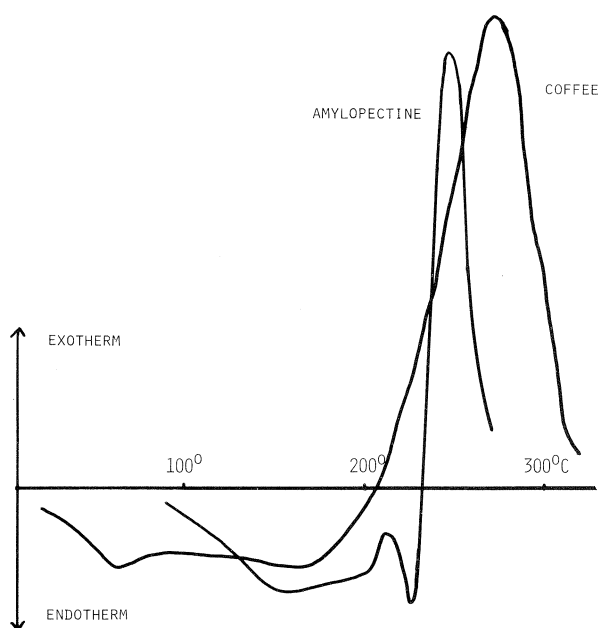
Einige Gedanken seien der pyrolytischen Zersetzung der Polysaccharide gewidmet.

In Abbildung 6 (S. 92) sind die Diagramme der Differential-Thermo-Analyse (DTA) von grünem Kaffee und von Amylopektin gegenübergestellt (*).

Um Wärmeverluste durch verdampfendes Wasser zu vermeiden, haben wir die Reaktion in verschlossenen

(*) Herrn Dr. Schulz in Fa. Heraeus/Hanau danken wir für die Aufnahme der Kurven.

Abb. 6. — Comparison of DTA-diagrams of amylopectine and green Arabica coffee (both heated in closed vessels)



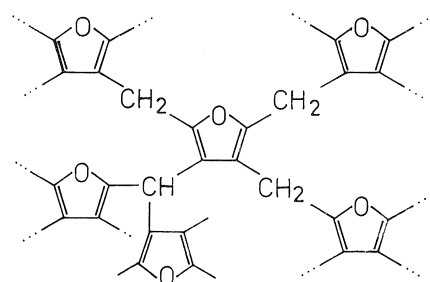
Glasampullen durchgeführt, wobei die zweifellos aufgetretenen Druckerhöhungen auch das Geschehen in der Kaffeebohne weitgehend simulierten.

Wie man unschwer erkennen kann, sind die Verläufe beider Kurven recht ähnlich. Natürlich liegt das Temperaturprofil von reinem Amylopektin, das wir wegen seiner Verzweigungen eingesetzt haben, enger als das des Kaffees. Trotzdem weist die Ähnlichkeit beider Kurven möglicherweise darauf hin, daß sich ein großer Teil pyrolytischer Reaktionen beim Rösten an den Polysacchariden abspielt. — Es ist bekannt, daß bei der Pyrolyse von polymeren Kohlenhydraten eine Aufspaltung der glykosidischen Bindung eintritt. Diese Reaktion läuft deutlich schneller ab, wenn eine Säurekatalyse möglich ist. Als Folgereaktionen können Umorientierungen des Polysaccharidmoleküls eintreten, die als Transglykosidierungen zu verstehen sind. Daneben beobachtet man z.B. bei Cellulose aber auch die Entstehung von Lävoglucosan (35, 36), das durch Wasserabspaltung zwischen der intermediär frei-gewordenen glykosidischen Hydroxylgruppe und der OH-Gruppe am C-Atom 6 entsteht.

Wie Shafizadeh u. Mitarb. (37) vor kurzem zeigten, ist als das nächste Abbauprodukt das Lävoglucosenon zu diskutieren, von dem sich weitere Abbauprodukte ableiten (38). Bei der thermischen Zersetzung von Kohlenhydraten entsteht eine Vielzahl von flüchtigen Produkten (39, 40), von denen die Furane eine der wichtigsten Stoffklassen darstellen. Dagegen gibt es über den Aufbau der nichtflüchtigen Polymersubstanz bisher nur Vermutungen, weil ihre Isolierung trotz vielfältiger Versuche bisher noch nicht gelungen ist, so daß man nach wie vor auf eine Deutung flüchtiger

Produkte angewiesen ist. Berechnungen über die Menge an abgespaltenem Wasser lassen jedoch auf die Entstehung von polymeren Furankörpern schließen, wie sie als kondensierte Verbindungen von Flament (41) isoliert wurden oder wie sie von Prey (42) vermutet werden. Prey vermutet allerdings über die Bildung von Linearpolymeren hinaus auch das Vorliegen vernetzter Produkte, wie sie in Abbildung 7 dargestellt sind.

Abb. 7.



Spaltprodukte einer Pyrolyse derart vernetzter Furanpolymerer sollten dann aber auch in der 3- bzw. 4-Stellung des Furanringes substituiert sein. Solche Verbindungen sind in der Tat schon gefunden worden. Zum Beispiel wies Schmahl (43) bei hochfrequenzpyrolytischen Untersuchungen an verschiedenen Mono-, Di- und Polysacchariden unter den etwa 150 Spaltprodukten 16 Furane nach, die in jedem Pyrogramm in größeren Mengen auftreten (Abbildung 8).

Vier von ihnen sind auch in der 3-Stellung substituiert! Auch im Kaffeearoma hat man einige dieser Verbindungen nachweisen können (Zusammenstellung siehe 44). Eine Vernetzung innerhalb von Polysaccharidmolekülen über Ätherbrücken soll übrigens bei Temperaturen unter 300° C nicht eintreten (45, 46)!

Die wahrscheinlich bedeutendste Gruppe von Inhaltsstoffen des Kaffees sind die braunen Röststoffe. Hier handelt es sich um Verbindungen, die dem Chemiker nach wie vor Rätsel aufgeben und die sich offenbar hartnäckig gegen ihre Aufklärung wehren. — Ihr Entstehungsweg ist in den Anfangsstufen bekannt und entspricht der Maillardreaktion. Hierunter verstehen wir die Umsetzung von Aldosen mit Aminosäuren unter Bildung von N-Glykosiden, die über eine Amadori-Umlagerung in die entsprechenden Ketozucker verwandelt werden. Diese werden schnell über reaktive Formen zu Hydroxymethylfurfural, Methylglyoxal, Diacetyl usw. abgebaut, die dann ihrerseits zu braunen Melanoidinen weiterreagieren. Da solche Ausgangsverbindungen aber auch über pyrolytische Mechanismen während des Röstens von Kaffee gebildet werden können, ist mit einer Vielzahl von braunen Körpern zu rechnen, deren Abbau- oder Zwischenstufen zuletzt auch in den vielen flüchtigen Röstaromastoffen des Kaffees zu erkennen sind. — Die Melanoi-

Abb. 8. — Furanes from pyrolytic degradation of mono-, di- and polysaccharides

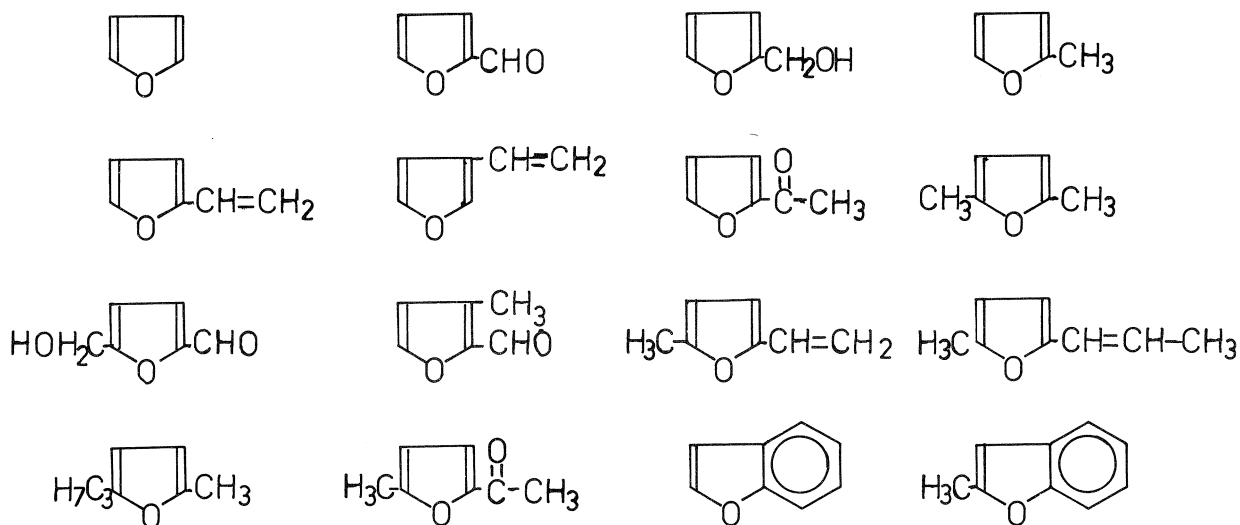
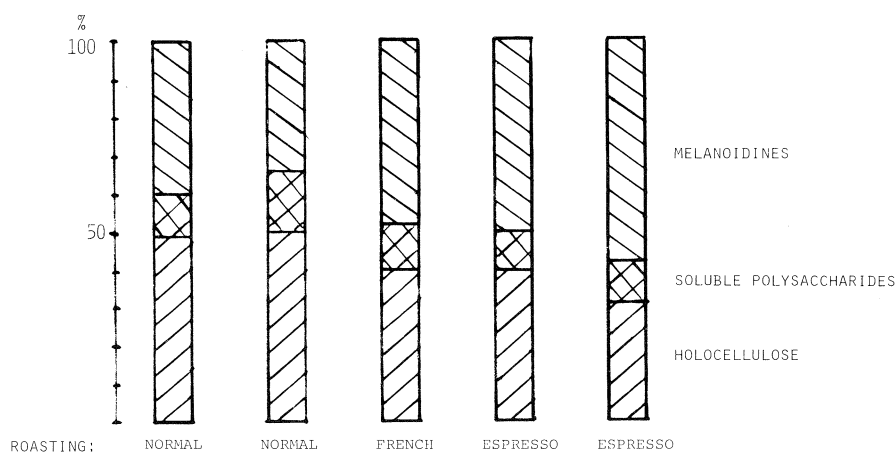


Abb. 9. — Composition of coffee-grounds (Thaler and Arneth)



dine findet man sowohl im Kaffeeaufguß als auch im Kaffeesatz. Von Thaler (47) stammt eine Graphik (Abbildung 9), die die Zunahme von Melanoidinen mit steigendem Röstgrad darstellt.

Diese Melanoidine sind jedoch an Kaffeesatz gebunden, mithin in Wasser unlöslich.

Natürlich nimmt auch der Melanoidingehalt in der wasserlöslichen Fraktion mit steigendem Röstgrad zu, so daß man letztlich über die Braunfärbung von Kaffeepulver Rückschlüsse darauf ziehen kann. Bekanntlich absorbieren sie sehr stark im Bereich oberhalb von 400 m μ . Messungen der diffusen Reflektion (Remission) von Kaffeepulvern lassen daher bei Wellenlängen über 400 m μ Rückschlüsse auf den Röstgrad zu (5):

$$\text{ROAST-DEGREE: } R = \frac{100}{\text{REMISSION-RATE}}$$

	R:
LIGHT ROAST:	3,5 - 3,8
MEDIUM ROAST:	~ 4,0
DARK ROAST:	4,2 - 4,5

Für derartige Messungen benötigt man allerdings ein spezielles Spektralphotometer, das mit einer sogenannten Ulbricht-Kugel ausgerüstet ist. Andere Methoden stützen sich auf die Absorption eingestellter wäßriger Lösungen bei 520 m μ (6) oder auf die spektralphotometrisch meßbare Abnahme von Chlorogensäure und Kaffeesäure (48).

Tab. X. — Influence of roast degree on absorptions of aqueou solutions (Mohr, 1971)

ROAST-DEGREE:	E_{231}^x	E_{282}^x	E_{321}^x	$\frac{E_{231}}{E_{282}}$	$\frac{E_{282}}{E_{321}}$
LIGHT ROAST	0,650	0,632	0,590	0,908	0,934
NORMAL LIGHT	0,631	0,595	0,527	0,836	0,886
NORMAL	0,596	0,563	0,470	0,797	0,844
DARK	0,547	0,508	0,383	0,700	0,754
FRENCH ROASTED	0,524	0,481	0,284	0,542	0,591

Bei dieser Methode sind vor allem die in Tabelle X angegebenen Quotienten eine wertvolle Hilfe zur Ermittlung des Röstgrades.

Es hat nicht an Versuchen zur Isolierung und Konstitutionsanalyse von Melanoidinen gefehlt. Sie sind mit Säuren oder Bleisalzen aus wäßriger Lösung fällbar. Ihr chemisches Verhalten läßt höhere Molekulargewichte vermuten, weshalb Streuli (49) ihre Reindarstellung durch Anwendung der Gelchromatographie versuchte. Er erhielt dabei drei Fraktionen, deren erste offensichtlich ein Molgewicht über 4 000 aufwies, während die UV-Spektren der beiden übrigen auf Trigonellin und Coffein bzw. Chlorogensäure deuteten. Allerdings entsprachen diese Retentionszeiten nicht ihren Molekulargewichten.

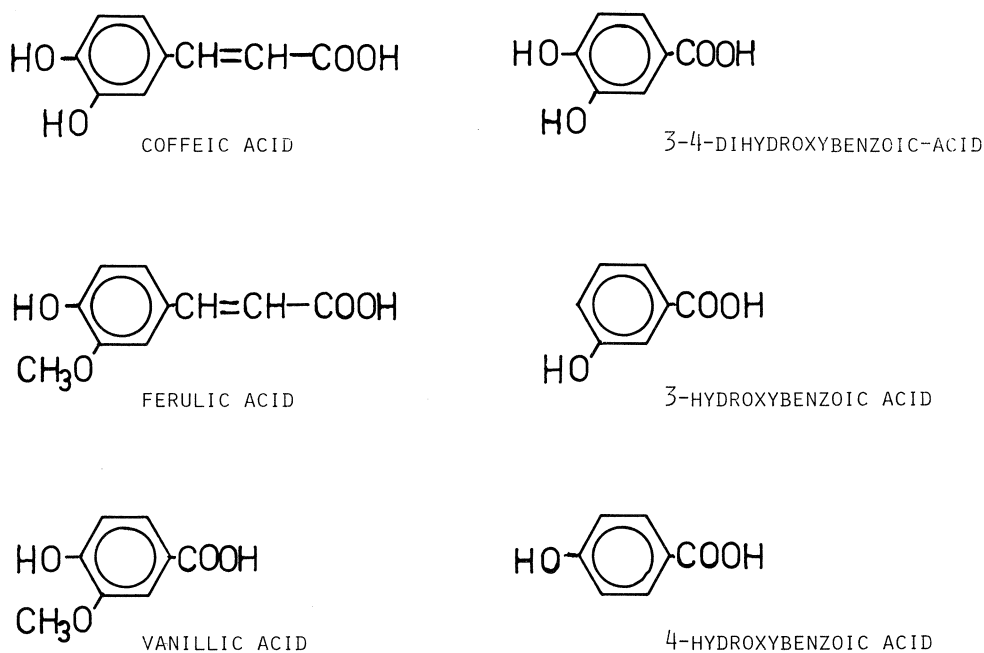
Interessante Versuche führten Mücke u. Mitarb. (50-53) durch. Auch sie versuchten, die brau-

nen Kaffeefraktionen durch Gelfiltration zu trennen und stellten dabei Parallelen zu Huminsäuren aus Moorwasser fest. Sie diskutierten Molekulargewichte in einem Bereich von 1 000-10 000. Da die UV-Spektren der erhaltenen Fraktionen phenolische Gruppierungen erkennen ließen, hat man sie einer alkalischen Druckhydrolyse unterworfen, wobei eine Reihe von Phenolen entstanden (Abbildung 10).

Es sind dies Abbauprodukte der Kaffee- und Ferulasäure, die somit neben Kohlenhydraten und Proteinen als wesentliche Bestandteile der Kaffee-Melanoidine aufgefaßt wurden.

Auch Maier u. Mitarb. (54, 55) untersuchten die braunen Kaffeeröststoffe, wobei ihnen eine Abtrennung chlorogensäurehaltiger Fraktionen durch Einsatz von Nylon gelang. Durch nachgeschaltete Gelchromatographie isolierten sie zwei Fraktionen der Molekular-

Abb. 10. — Degradation products of « coffee humic acids » (Mücke *et al.*, 1971)



gewichtsbereiche 5 000-10 000 bzw. 10 000-50 000. Sie enthielten pro Molekül 6-12 Aminosäuren und bestanden zur Hauptsache aus Galactomannan sowie aus Araban.

Eigene Versuche (56) bestätigen weitgehend die Ergebnisse von Maier u. Mitarb. (54). Mit acetyliertem Nylon, das sich zur Trennung von Pflanzenphenolen bereits bewährt hatte (57), wurden eine Reihe von wasserlöslichen, braunen Fraktionen vorgetrennt, die in der Hauptsache jedoch aus Kohlenhydraten und wechselnden Mengen Chlorogensäure bestanden. Die zugehörigen Kohlenhydrate wurden in einem Falle als das von Thaler beschriebene Arabinogalactomannan der wasserlöslichen Polysaccharidfraktion identifiziert, die anderen enthielten nur Galactose. In jedem Fall waren Aminosäuren in geringen Mengen gebunden. Zu den Chlorogensäuren ist zu sagen, daß sie sich in Säulentrennversuchen zusammen mit Melanoidinen deutlich anders verhielten als die reinen Substanzen. Daher sollte das Vorliegen komplexer Bindungen vermutet werden, die jedoch in saurem bzw. alkalischem Milieu gelöst werden.

Durch weitere Auftrennungen mit Sephadex LH-20 wurde eine Unterfraktion ziemlich rein erhalten und zeigte chromatographisch einheitliches Verhalten. Sie enthält, offenbar kovalent gebunden, 1,7 % Chlorogensäure bzw. Kaffeesäure und besteht daneben zum größten Teil aus Galactan. Die Behandlung in der Ultrazentrifuge ergab dann aber doch eine Auftrennung in drei Fraktionen der Molekulargewichte 9 500, 12 000 und 17 500.

Demnach scheint sich die von Thaler (34) ausgesprochene Vermutung, nach der die farbgebenden Melanoidine fest mit der Polysaccharidkette bzw. dem Protein verbunden sind, zumindest für einen großen Teil der Melanoidine des Kaffees zu bestätigen. Möglicherweise verläuft die Maillardreaktion an den Verknüpfungsstellen zwischen Polysaccharid und Protein. Daneben sollte jedoch ein Abbau von Teilen der Polysaccharidketten zu Furankörpern nicht ausgeschlossen werden, die sich dann anschließend mit geeigneten Reaktionspartnern zu Melanoidinen umsetzen.

LITERATUR

1. H. STREULI. — 6. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Bogotá, 1973. (ASIC, Paris), 1974, S. 61.
2. J. POKORNÝ, NGUYEN-HUY CÔN, H. BULANTOVÁ, G. JANÍČEK. — *Nahrung*, **18** (1974), 799.
3. H.P. KAUFMANN, R. SCHICKEL. — *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, **65** (1963), 1012.
4. W. BALTES. — 7. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Hambourg, 1975. (ASIC, Paris) 1976, S. 91.
5. R. HEISS, R. RADTKE. — *Verfahrenstechnik*, **2** (1968), 474.
6. L. PEKKARINEN, E. PORKKA. — *Z. Lebensmittel-Unters. u.-Forsch.*, **120** (1963), 20.
7. E. MOHR. — *Kaffee Tee Markt*, **24** (1974), H. 16, S. 3.
8. H. STREULI. — In: Aroma- und Geschmacksstoffe in Lebensmitteln. S. 119. Zürich: Forster, 1967.
9. R. BRESSANI, R. GOMEZ-BRENES, R. CONDE. — *Arch. venez. Nutr.*, **12** (1962), 93.
10. J.R. FELDMAN, W.S. RYDER, J.T. KUNG. — *J. agric. Food Chem.*, **17** (1969), 733.
11. C.W. KAUFMAN. — *Food Technol.*, **5** (1951), 154.
12. O. HÖGL. — *Mitt. Gebiete Lebensmittelunters. u. Hyg.* (Bern), **49** (1958), 433.
13. J.S. WOODMAN, A. GIDDEY, R.H. EGLI. — 3. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Trieste, 1967. (ASIC, Paris), 1967, S. 137.
14. H. HADORN, W. BEETSCHEN. — *Mitt. Gebiete Lebensmittelunters. u. Hyg.*, **64** (1973), 206.
15. M. SIVETZ. — *Food Technol.*, **26** (1972), No 5, 70.
16. W. FRITZ. — *Nahrung*, **12** (1968), 799.
17. G. GRIMMER, A. HILDEBRANDT. — *Dtsch. Lebensmittel-Rdsch.*, **62** (1966), 19.
18. H.G. MAIER, W. STENDER. — *Dtsch. Lebensmittel-Rdsch.*, **65** (1969), 341.
19. U. BRACCO. — *Riv. Ital. Sostanze Grasse*, **50** (1973), 166.
20. S. KATO, T. KURATA, R. ISHITSUKA, M. FUJIMAKI. — *Agric. Biol. Chem.* (Tokyo), **34** (1970), 1826.
21. S. KATO, T. KURATA, M. FUJIMAKI. — *Agric. Biol. Chem.* (Tokyo), **35** (1971), 2106.
22. C. MERRITT JR, D.H. ROBERTSON, D.J. McADOO. — 4. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Amsterdam, 1969. (ASIC, Paris), 1969, S. 144.
23. W. PICKENHAGEN, P. DIETRICH, B. KEIL, J. POLONSKY, F. NOUAILLE, E. LEDERER. — *Helv. chim. acta*, **58** (1975), 1078.
24. H. JUGEL, H. WIESER, H.D. BELITZ. — *Z. Lebensmittel-Unters. u.-Forsch.*, **161** (1976), 267.
25. H. THALER, W. ARNETH. — *Z. Lebensmittel-Unters. u.-Forsch.*, **138** (1968), 26.
26. H. THALER. — *ibid.*, **143** (1970), 342.
27. H. THALER, W. ARNETH. — *ibid.*, **138** (1968), 137.
28. H. THALER, W. ARNETH. — *ibid.*, **140** (1969), 101.
29. H. THALER. — *Chem., Mikrobiol., Technol. Lebensmittel*, **3** (1974), 1.
30. M.L. WOLFROM, D.L. PATIN. — *J. org. Chem.*, **30** (1965), 4060.
31. M.L. WOLFROM, R.A. PLUNKETT, M.L. LAVER. — *J. agric. Food Chem.*, **8** (1960), 58.
32. M.L. WOLFROM, M.L. LAVER, D.L. PATIN. — *J. org. Chem.*, **26** (1961), 4533.
33. J.E. COURTOIS, F. PERCHERON, J.CI. GLOMAUD. — *Café Cacao Thé*, **7** (1963), 231.
34. H. THALER. — 7. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Hambourg, 1975. (ASIC, Paris), 1976, S. 175.
35. F. SHAFIZADEH. — *Advances Carbohydrate Chem.*, **23** (1968), 419.

36. F. SHAFIZADEH, Y.L. FU. — *Carbohydrate Res.*, **29** (1973), 113.
37. F. SHAFIZADEH, P.P.S. CHIN. — *Carbohydrate Res.*, **46** (1976), 149.
38. G.A. BYRNE, D. GARDINER, F.H. HOLMES. — *J. appl. Chem.*, **16** (1966), 81.
39. K. HEYNS, R. STUTE, H. PAULSEN. — *Carbohydrate Res.*, **2** (1966), 132.
40. K. HEYNS, M. KLIER. — *Carbohydrate Res.*, **6** (1968), 436.
41. I. FLAMENT, F. GAUTSCHI, M. WINTER, B. WILLHALM, M. STOLL. — 3. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Trieste, 1967. (ASIC, Paris), 1967, S. 197.
42. V. PREY, W. EICHBERGER, H. GRUBER. — *Stärke*, **29** (1977), 60.
43. W. BALTES, H.J. SCHMAHL. — *Z. Lebensmittel-Unters. u. Forsch.*, **167** (1978), 69.
44. O.G. VITZTHUM. — In: O. Eichler, Kaffee und Cofein, 2. Aufl., S. 3. Berlin: Springer 1976.
45. I.J. GOLDSTEIN, T.L. HULLAR. — *Advances Carbohydrate Chem.*, **21** (1966), 431.

46. J.W. LISKOWITZ, B. CARROLL. — *Carbohydrate Res.*, **5** (1967), 245.
47. H. THALER, W. ARNETH. — 3. Colloque international sur la Chimie des Cafés verts, ... Trieste, 1967. (ASIC, Paris), 1967, S. 127.
48. E. MOHR. — *Kaffee Tee Markt*, **21** (1971), H. 5, S. 3.
49. H. STREULI. — *Chimia*, **16** (1962), 371.
50. R. OBENAU, H.J. NEUMANN, D. MÜCKE. — *Naturwiss.*, **53** (1966), 19.
51. R. KLÖCKING, R. HOFMANN, D. MÜCKE. — *Z. Lebensmittel-Unters. u. Forsch.*, **135** (1967), 1.
52. H. AURISCH, R. HOFMANN, R. KLÖCKING, D. MÜCKE. — *ibid.*, **135** (1967), 59.
53. R. KLÖCKING, R. HOFMANN, D. MÜCKE. — *ibid.*, **146** (1971), 79.
54. H.G. MAIER, W. DIEMAIR, J. GANSSMANN. — *ibid.*, **137** (1968), 282.
55. H.G. MAIER, H. BUTTLE. — *ibid.*, **150** (1973), 331.
56. W. BALTES, M. KÄSSER. — Unveröff.
57. W. GASSMANN, H. HÖRMANN, A. HARTL. — *Makromol. Chem.*, **21** (1956), 37.

BALTES (W.). — **Influence de la torréfaction sur la composition du café.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 85-96, fig., tabl., réf.

Le café, ainsi que de nombreux autres aliments, présente un arôme caractéristique dû à un traitement thermique. Une multitude de réactions se passent durant cette opération ; ces réactions sont reliées entre elles par la haute réactivité des substances formées. Les plus importantes sont la réaction de brunissement non enzymatique (réaction de Maillard) et les dégradations d'acides aminés (dégradation de Strecker). D'autre part, les réactions de pyrolyse augmentent lorsque le degré de torréfaction est plus poussé. Ces réactions, décrites dans l'exposé, aboutissent à l'établissement d'une relation entre arôme de café, sensibilité des composants du café vert à la chaleur et nature des produits obtenus par pyrolyse.

BALTES (W.). — **Rösteffekte auf die Kaffeezusammensetzung.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 85-96, fig., tabl., réf.

Wie bei vielen Lebensmitteln wird auch in Kaffee das Aroma erst durch gezielte Erhitzung des Rohproduktes entwickelt. Hierbei laufen eine Reihe verschiedener Reaktionen ab, die durch die leichte Umsetzbarkeit der Reaktionspro-

BALTES (W.). — **Influence of roasting process on the composition of coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 85-96, fig., tabl., réf.

As in most foods the aroma of coffee is formed by special heating of the raw product. During this process a great many of different reactions take place which are closely connected to one another by the high reactivity of the arising reaction products. Most important among them are the non enzymatic browning reaction (Maillard Reaction) and degradation of amino acids (Strecker Degradation). On the other hand pyrolytic fragmentation rises with roasting temperature. Besides representation of reaction types mentioned, a view of the effect of heat stability and of pyrolytic fragmentation products on roast coffee aroma is given.

dukte eng miteinander zusammenhängen. Die bedeutendsten von ihnen sind die nichtenzymatische Bräunung (Maillard-Reaktion) sowie der Aminosäureabbau nach Strecker. Daneben spielen pyrolytische Zersetzungsreaktionen umso mehr eine Rolle, je höher die Rösttemperatur ist. — Neben einer Darstellung der genannten Reaktionstypen wird versucht, die Temperaturbeständigkeit der im Rohkaffee enthaltenen Inhaltsstoffe sowie die daraus entstehenden pyrolytischen Spaltprodukte in eine Relation zu Kaffee Aroma zu bringen.

ÜBER BEOBACHTUNGEN AN SCHÄDLINGSBEFALLENEN ROHKAFFEES

J. WURZIGER

Aus dem Hygienischen Institut der Freien und Hansestadt Hamburg

Kaffeesträucher werden während der gesamten Vegetationszeit von einer Vielzahl verschiedenster Schädlinge bedroht und bei unzureichender Pflege und unsachgemäßer Behandlung auch mehr oder minder stark befallen. Die jährlich geernteten handelsfähigen Rohkaffeemengen werden weitgehend von den Schäden mitbestimmt, die Schädlinge an Kaffeepflanzen und insbesondere auch an Kaffeefrüchten verursachen.

Für die Rohkaffeebehandlung und -beurteilung kann es unter Umständen wesentlich sein zu wissen, ob Kaffeebohnen bereits vor der Ernte in der Kaffeekirsche oder während der Lagerung der naß oder trocken aufbereiteten Kaffeekirschen befallen sind. Zur Beantwortung dieser Fragen sind sichere, aber möglichst auch einfache und schnell durchführbare Untersuchungsweisen bzw. Erkennungsmerkmale erwünscht.

Zu den gefährlichsten und gefürchtesten Kaffeeschädlingen gehört der Kaffeebohnenbohrer (*Stephanoderes coffeae*), der über viele Kaffeeanbaugebiete verbreitet ist und jährlich insgesamt sehr großen Schaden anrichtet. Der Schädling zeigt eine große Anpassungsfähigkeit, die sich u. a. auch darin ausdrückt, daß alle Kaffeearten, also Arabica-, Robusta- und Liberica-Kaffeekirschen befallen werden. Die verschiedentlich beobachtete unterschiedliche Anfälligkeit der Kaffeearten dürfte zumindest teilweise mit den Wachstumsbedingungen in den Anbauländern zu erklären sein. Vom Kaffeebohnenbohrer werden grüne bis rote bzw. unreife bis überreife Kaffeekirschen befallen. Als Brutstätten dienen jedoch nur ältere Früchte, das sind Samen mit hartem Endosperm, also im wesentlichen reife und überreife Kaffeekirschen, unabhängig davon, ob diese noch am Kaffeestrauch sitzen oder bereits abgefallen sind.

An frischen Kaffeebohnen aus frisch gepflückten befallenen, reifen und überreifen Kaffeekirschen fällt auf, daß die Bohnenmasse an den runden Bohrlöchern und in der näheren und weiteren Umgebung um die Tunneleingänge mehr oder minder deutlich grün verfärbt ist. In vielen befallenen Kaffeekirschen und Kaffeesamen können noch lebende Larven und Käfer des Kaffeebohnenbohrers angetroffen werden. Die Verfärbungen werden an verschiedenen Beispielen erläutert. Dabei wird auch auf neben Grundverfärbungen auftretende rötliche Farbtöne eingegangen.



Sämtliche Aufnahmen, insbesondere die mit grünen Verfärbungen der Bohnenmasse, wurden sehr bald nach dem Herauslösen der Samen aus den selbst gepflückten, noch frisch-farbigen, reifen bis überreifen Kaffeekirschen gemacht. Die große Frische der Kaffeesamen ist allein schon daraus abzuleiten, daß Larven und Käfer in den befallenen Kaffeekirschen noch lebten. Die Robusta-Kaffeekirschen wurden von Kaffeesträuchern gepflückt, die im Raum von Aboisso (Elfenbeinküste) unter großen Schattenbäumen wachsen und offensichtlich keine besondere Pflege erfahren. Zwischen dem Pflücken und Aufarbeiten der Kaffeekirschen lagen insgesamt etwa 36 Stunden.

Die an den Kaffeebohnen bereits erkennbare Verfärbung von grün nach rot bzw. rötlich wird besonders deutlich, wenn die grün verfärbten Bohnenteile der direkten oder indirekten Einwirkung von Salzsäure ausgesetzt werden. Aus dem Verhalten gegen Salzsäure folgt, daß es sich bei den grünen Verfärbungen um Viridinsäure handelt, die bereits in der Kaffeekirsche nach dem Befall mit dem Kaffeebohnenbohrer gebildet wurde. Somit führt bei Kaffeebohnen der Befall der Kaffeekirschen durch den Kaffeebohnenbohrer nicht nur zu einer Wertminderung der Kaffeebohnen durch die angebohrten Stellen, sondern es tritt auch durch die entstandene Viridinsäure eine noch sehr

viel weitergehende Wertminderung ein. Über die Bildung von Viridinsäure in am Kaffeestrauch befallenen Kaffeekirschen wurde nach der hier zur Verfügung stehenden Literatur bisher nicht berichtet.

Mitunter fallen herumliegende Kaffeebohnen auf, deren Oberfläche teilweise bis weitgehend grün verfärbt ist. Vereinzelt werden solche Kaffeebohnen auch in altertägigen Handelspartien angetroffen und in Einzelfällen sogar als angeschimmelt angesprochen. Kaffeebohnen erfahren diese Umfärbung, wenn sie z. B. an feuchter, ammoniakhaltiger Luft gelagert werden. An gemahlene rohen Kaffeebohnen ist zu verfolgen, daß die Verfärbung an der Oberfläche beginnt und sich langsam ins Innere fortsetzt. Schließlich erscheint die gesamte Kaffeebohnenmasse grün verfärbt. Die Farb-reaktion tritt auch ein, wenn an Stelle von Ammoniak z. B. Ammoniumsulfat oder Magnesiumcarbonat eingesetzt wird. Voraussetzung für eine Grünfärbung ist die gleichzeitige Anwesenheit von Chlorogensäure, Eiweiß bzw. bestimmten Aminosäuren oder Aminen und Wasser.

Mit Magnesiumcarbonat werden die reinsten Farbtöne erhalten. Dabei bleibt anzumerken, daß die Färbungen von blau bis grün reichen. Es entstehen also die Farben, die frischfarbige Arabicas auszeichnen. Bei geeigneter Versuchsführung kann mit dieser Farb-reaktion sowohl auf Chlorogensäuren als auch auf Eiweiß geprüft werden. Gemahlener Rohkaffee oder wässrige Auszüge aus Rohkaffee werden in einem Becherglas mit z. B. Gelatinelösung (5 Gramm gelöst in 200 ml Wasser) sowie Magnesiumcarbonat versetzt und diese Mischung wird dann unter Benutzung eines Magnetrührers etwa 30 Minuten bei Zimmertemperatur gerührt, wobei möglichst viel Luft an die Mischung kommen soll.

Bei Anwesenheit von Chlorogensäure tritt bereits während des Rührens eine starke Grünfärbung auf, die sich bei längerem Stehen an der Luft noch verstärkt. Die Lösung sollte insgesamt etwa zwei Stunden der Luft ausgesetzt bleiben.

Nach Zusatz von Äthanol wird durchgemischt und durch ein Faltenfilter filtriert. Die entstandene Viridinsäure bleibt mit der Gelatine und dem Magnesiumcarbonat auf dem Filter zurück. Das Filtrat ist farblos bis gelblich gefärbt. Mit Salzsäure (25 %) löst sich die Viridinsäure unter Bildung einer roten Lösung.

Arabica- und Robusta-Rohkaffees wurden zunächst mit Äthanol extrahiert. Die mit Äthanol isolierten Kaffeesubstanzen sowie die extrahierten Rohkaffees wurden mit Gelatinelösung und Magnesiumcarbonat

vermischt. Die Farbunterschiede der Mischungen unmittelbar nach Zugabe von Magnesiumcarbonat und Gelatinelösung und nach zwei Stunden werden gezeigt.

Bemerkenswert ist, daß sowohl die aus Arabicas als auch aus Robustas mit Alkohol extrahierten Substanzen schwächere Grünfärbungen ergaben als die Rohkaffee-Rückstände. Hierin drückt sich aus, daß die Chlorogensäuren aus zerkleinerten Rohkaffees mit Alkohol nicht vollständig extrahiert werden können. Hierin zeigt sich aber auch, daß die Chlorogensäuren an Kaffeebestandteilen gebunden sind, die erst durch Wassereinwirkung gelöst werden. Darauf soll aber in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden.

Die gefärbten Mischungen wurden filtriert und die Filtrerrückstände mit Salzsäure angesäuert. Die verschiedenen umgefärbten Lösungen werden gezeigt. Die Rohkaffeerückstände lieferten stärkere rote Lösungen als die mit Alkohol extrahierten Kaffeebestandteile. In diesem Verhalten bestanden zwischen Arabicas und Robustas keine Unterschiede.

Kaffeesamen aus reifen und überreifen Robusta-Kaffeekirschen wurden nach dem Aussehen in hell- und dunkelfarbige sowie in normale und angebohrte eingeteilt. Die beschädigten Kaffeebohnen waren an den Bohrlöchern deutlich erkennbar grün verfärbt. In Tabelle I sind die Chlorogensäure- und Coffeinemengen angeführt, die in den verschiedenen rohen Kaffeebohnen gefunden wurden. Anzumerken bleibt noch, daß es sich um Samen von einem Robusta-Kaffeestrauch handelte.

Die in Tabelle I aufgeführten Kaffees wurden aus den Kaffeekirschen in gleicher Weise gewonnen und getrocknet. Damit kann davon ausgegangen werden, daß die Wassergehalte ähnlich waren. Die Coffeingehalte bewegten sich zwischen 2,16 % und 2,21 %. Bei diesen verschiedenen Rohkaffees gab es im Coffeingehalt damit keinen Unterschied. Viridinsäurebildung hat also auf den Coffeingehalt keinen Einfluß. Auch der Käferfraß wirkt sich nicht aus.

Unter vergleichbaren Versuchsbedingungen wurden in den dunkel- und hellfarbigen Kaffeebohnen 8,56 % und 9,04 % Chlorogensäuren ermittelt. In den angebohrten, teilweise verfärbten Kaffeebohnen wurden jedoch 10,22 % Chlorogensäuren festgestellt. Damit war der Chlorogensäuregehalt in den angebohrten und grünverfärbten Kaffeebohnen merkbar höher, obwohl Chlorogensäure für die Viridinsäurebildung verbraucht worden war. Insbesondere auch das Verhältnis aus Chlorogensäuren und Coffein verdeutlicht, daß in der Zusammensetzung der angebohrten Kaffeebohnen

Tab. I. — Chlorogensäuren- und Coffeingehalte in Robusta-Rohkaffees

Bezeichnung	Chlorogen-säuren % (a)	Coffein % (b)	Verhältnis aus a/b
Robusta-Rohkaffee, dunkelfarbig	8,6	2,2	3,95
Robusta-Rohkaffee, hellfarbig	9,0	2,2	4,10
Robusta-Rohkaffee, angebohrt, teilweise grün verfärbt	10,2	2,2	4,75

durch den Befall Veränderungen nicht ausgeschlossen werden können.

Die Larven des Kaffeebohnenbohrers ernähren sich von der Bohnenmasse, die bei der Tunnelbildung anfällt. Das Larvenstadium dauert zwischen 10 und 26 Tagen. Die vollständige Entwicklung vom Ei bis zum Käfer wird zwischen 25 und 35 Tagen angegeben. Im Durchschnitt beträgt die Entwicklungszeit 27,5 Tage bei 24,5°C.

Ein höherer Chlorogensäuregehalt in angebohrten Kaffeebohnen mit Viridinsäure ist zu erklären, wenn davon ausgegangen wird, daß die Larven während der Entwicklungszeit zumindest überwiegend chlorogensäurearme bzw. chlorogensäurefreie Kaffeesubstanz verzehren. Dies setzt aber voraus, daß die Chlorogensäuren in der Kaffeebohnenmasse nicht gleichmäßig verteilt sind.

Die Beispiele in Tabelle I geben einen Einblick in die Verteilung der Chlorogensäuren in der Bohnenmasse und damit eine mögliche Erklärung zu einer Anreicherung von Chlorogensäuren in von Kaffeebohnenbohrern befallenen Rohkaffees. Robusta-Rohkaffees wurden gemahlen und zunächst am Soxhlet mit Petroläther (PAe) und danach mit Methanol extrahiert. Der extrahierte Kaffeerückstand wurde nach dem Trocknen über ein Sieb in groberes und feineres Gut aufgetrennt. Beide Anteile wurden anschließend noch einmal erschöpfend extrahiert und zwar mit Benzol und Äthanol im Gemisch 1 (V/V). Beide Anteile wurden auf den Gehalt an Coffein und Chlorogensäuren geprüft.

Die Rohkaffees wiesen Unterschiede im Coffeingehalt auf, nicht jedoch im Gehalt an Chlorogensäuren. Mit 9,24 % bis 9,64 % wurden Gehalte gefunden, wie sie bei Robustas häufig vorkommen. Damit ergaben

sich aber auch Verhältniszahlen wie sie für Robustas die Regel sind. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß sich die Samen aus grünen Kaffeekirschen von solchen aus roten Kaffeekirschen über Coffein und Chlorogensäure nicht unterscheiden lassen. Dies erscheint insbesondere wichtig, weil das Pflückgut bei Robustas allgemein aus grünen und reifen Kaffeekirschen besteht.

Die zerkleinerten Robusta-Rohkaffees wurden erschöpfend mit Petroläther extrahiert und die PAe-Extraktlösungen mit wässriger-alkoholischer Kalilauge ausgeschüttelt. Danach wurden die Schichten in eine obere und eine untere Phase getrennt.

Aus der oberen Phase ergaben sich — auf Kaffee bezogen — zwischen 4,4 % und 4,8 % Kaffeeöl. Die Kaffeeölmengen sind selbst für Robusta-Rohkaffees recht niedrig. Aus dem Ausfall der Kaliumjodid-Eisessig-Reaktion ist zu ersehen, daß reine Robusta-Rohkaffees vorlagen.

Die für die untere Phase ermittelten Extinktionen zeigen recht deutlich, daß an den Rohkaffees noch keine Veränderungen eingetreten waren. Die Rohkaffees erschienen auch hiernach erntefrisch.

Die mit PAe und Methanol extrahierten Kaffeerückstände wurden über ein einfaches Sieb in einen groberen und einen feineren Anteil aufgetrennt. Der grobere Anteil war größer als der feinere. Dies ist in der Regel so. Beide Anteile wurden zunächst noch mit einem Gemisch aus Benzol/Äthanol wie 1/1 (V/V) am Soxhlet extrahiert, um möglicherweise noch vorhandene lösliche Substanzen zu entfernen. Die getrockneten Rückstände wurden auf Coffein und Chlorogensäuren geprüft. Bemerkenswert ist, daß im groberen Anteil zwischen 0,10 und 0,62 % Coffein ermittelt wurden, die feineren Anteile enthielten dagegen kein Coffein mehr

Tab. II. — Untersuchungen an Robusta-Rohkaffees

Bezeichnung	Robusta-Rohkaffees					
	1 x)		2 xx)		3 xxx)	
<u>Rohkaffee</u>						
Coffein % (a)	2,53		3,00		2,33	
Chlorogensäuren % (b)	9,55		9,64		9,24	
Verhältnis a/b	3,77		3,20		3,97	
<u>PAe-Extrakt aus Rohkaffees</u>						
<u>Obere Phase:</u>						
Fett %	4,5		4,4		4,8	
Kaliumjodid-Eisessig-Reaktion	keine Umfärbung nach grün					
<u>Untere Phase:</u>						
Extinktion für wässrig-alkoholische Kalilauge	0,050		0,030		0,035	
<u>Über Sieb Auftrennung:</u>						
Coffein %	0,56 0,0		0,10 0,0		0,62 0,16	
Chlorogensäuren %	8,88 3,8		7,9 2,6		8,9 4,4	
Prüfung auf Viridinsäure nach Waschen mit Wasser	grün farblos		grün farblos		grün farblos	

- 1) Flachbohnen aus grünen Kaffeekirschen (unreif). Helle große Samen aus frisch gepflückten Kaffeekirschen.
- 2) Flachbohnen aus grünen Kaffeekirschen. Kaffeekirschen wurden aus gepflücktem Gemisch aus reifen und unreifen Kaffeekirschen ausgelesen.
- 3) Flachbohnen aus reifen Kaffeekirschen. Kaffeekirschen wurden aus gepflücktem Gemisch ausgelesen.

oder nur sehr wenig. Hierin zeigt sich, daß das Coffein mit Methanol bzw. mit einem Gemisch aus Benzol und Äthanol sehr weitgehend herausgelöst werden kann. Auf einen möglichen Einfluß des Reifegrades soll nicht eingegangen werden. Besonders auffällig sind die großen Unterschiede, die bei den Chlorogensäurebestimmungen beobachtet wurden. Unabhängig vom Reifegrad der eingesetzten Kaffeekirschen wurden in den groberen Kaffeesamenanteilen mit 7,9 bis 8,9 % sehr gleichmäßig hohe Mengen gefunden. Unter vergleichbaren Bedingungen lieferten die feineren Samenanteile nur zwischen 2,64 % bis 4,37 %. Nach dem Aussehen und den Chlorogensäuregehalten handelt es sich damit um sehr unterschiedliche Kaffeesubstanzen. Anzumerken bleibt dazu, daß bei Kaffee unabhängig von der Sorte und Provenienz stets gröbere und feinere Anteile anfallen, die sich auch analytisch unterscheiden.

Auswaschen mit Wasser führt bei den feineren Anteilen sehr bald zu chlorogensäurefreien Rückständen. Mit den groberen Anteilen gelingt dies nur nach sehr intensiver Wasserbehandlung.

Viridinsäurebildung in befallenen reifen Kaffeekirschen bzw. in Samen reifer Kaffeekirschen beruht darauf, daß in den Kaffeebohnen genügend Feuchtigkeit vorhanden ist. Gebildete Viridinsäure ist in der Regel auch noch an getrockneten Kaffeebohnen zu erkennen, da die Viridinsäure sehr beständig ist. Dies wird an Beispielen gezeigt.

WURZIGER (J.). — **Observations sur des fèves de café endommagées par des insectes.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 97-100, tabl.

Les grains de café attaqués par des scolytes sont reconnaissables par l'acide viridique qui se forme en général simultanément. Des fèves scolytées sont présentées et les modifications sont expliquées.

Les fèves scolytées contiennent, comme on a pu le montrer, plus d'acides chlorogéniques que les fèves normales. Les rapports éventuels sont discutés. On montre également que la poudre de café extraite par l'éther de pétrole et le méthanol fournit après tamassage simple deux fractions de teneurs en acides chlorogéniques différentes.

Il ne se forme pas d'acide viridique dans les grains de café attaqués après la récolte et la préparation. Sa mise en évidence est donc très importante pour la distinction et l'appréciation des dommages.

WURZIGER (J.). — **Über Beobachtungen an schädlingbefallenen Rohkaffees.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 97-100, tabl.

Von Kaffeebohnenbohrern befallene Kaffeesamen sind an der sich häufig gleichzeitig bildenden Viridinsäure zu erkennen. Es werden befallene Kaffeebohnen gezeigt und die Veränderungen erläutert.

Befallene Kaffeebohnen haben, wie gezeigt werden konnte,

Damit läßt sich aus diesen Verfärbungen sehr sicher ableiten, daß die Schäden an reifen Kaffeekirschen während des Wachstums eingetreten sind. Damit läßt sich auch sehr gut beweisen, daß zumindest während der Reifezeit keine Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt wurden.

Viridinsäure färbt sich, wie auch bereits ausgeführt wurde, mit Salzsäure rot. Unter der Einwirkung von Säuren erfahren auch rohe Kaffeebohnen, die vom Kaffeebohnenbohrer befallen sind, diese Umfärbungen. Dabei treten die roten Farbtöne jedoch nicht immer sehr deutlich auf. Umfärbungen, wie sie an Kaffeebohnen aus Handelskaffees angetroffen werden können, werden an Beispielen gezeigt.

Die Umfärbungen erscheinen an den Tunneleingängen als mehr oder minder dunkle Stellen. Diese Umfärbungen lassen sich durch Salzsäureeinsatz bei allen grün verfärbten rohen Kaffeebohnen zeigen.

Unabhängig von den Käferarten, die Kaffeebohnen am Lager befallen, sind Viridinsäurebildungen an getrockneten Kaffeebohnen nicht mehr möglich. Während der Lagerung befallene Kaffeebohnen sind daher von am Strauch befallenen dadurch zu erkennen, daß die Bohrlöcher und die Umgebung der Tunneleingänge keine Umfärbungen erkennen lassen. Dies wird an Beispielen deutlich gemacht.

WURZIGER (J.). — **Observations on pest damaged coffee beans.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 97-100, tabl.

Coffee beans infested by the coffee berry borer may be detected by the viridic acid which is generally formed simultaneously. Infested beans are presented and the modifications explained.

The beans damaged by the coffee berry borer contain, as it has been shown, more chlorogenic acids than the normal beans. The possible relations are discussed. It is also pointed out that coffee powder extracted with petroleum ether and methanol gives, after a simple screening, two fractions with different chlorogenic acid contents.

No viridic acid appears in the coffee beans infested after the harvest and the processing. Showing up viridic acid is so very important for the differentiation and appreciation of the damages.

mehr Chlorogensäuren als normale. Die möglichen Zusammenhänge werden besprochen. Außerdem wird aufgezeigt, daß mit Petroläther und Methanol extrahiertes Kaffeemehl durch einfaches Absieben in 2 Teile mit unterschiedlichem Chlorogensäuregehalt aufgetrennt werden kann.

An nach der Ernte und der Aufbereitung angefressenen Kaffeebohnen kann keine Viridinsäure gebildet werden. Damit ist sie für die Unterscheidung und Beurteilung des Schädlingsbefalls sehr wesentlich.

ÜBER ARABUSTA- ROH- UND RÖSTKAFFEE

J. WURZIGER, R. DREWS, G. BUNDESEN (*)

Aus dem Hygienischen Institut der Freien und
Hansestadt Hamburg

Handelsübliche Roh- und Röstkaffees lassen sich in der Regel nach den äußeren Formen und den geschmacklichen Eigenschaften den Kaffeearten « Arabicas » oder « Robustas » zuordnen. Beide Kaffeearten kommen jedoch in einer durch gezielte Auswahl, durch Mutation oder durch verschiedenliche Kreuzungen entstandenen größeren Zahl von Spielarten vor. Hierin und in den Anbau- und Wachstumsbedingungen der Kaffeesträucher sowie in der Aufbereitung der Kaffeekirschen liegt es zumindest mitbegründet, daß die zwischen Arabicas und Robustas bestehenden Unterschiede nicht immer sehr eindeutig zu erkennen sind. Dadurch ist die Zuordnung insbesondere einzelner Kaffeebohnen zu der richtigen Kaffeeart oftmals ohne analytische Hilfsmittel nicht möglich. Wenn von der allgemeinen chemischen Zusammensetzung ausgegangen wird, dann reichen für eine sichere Zuordnung selbst mehrere Kennzahlen nicht immer aus.

Arabica- und Robusta-Rohkaffees unterscheiden sich am häufigsten im Gehalt an Coffein und Chlorogensäuren. In Einzelfällen läßt sich auch aus dem Fettgehalt auf die Kaffeeart schließen. Allerdings ist es dabei nicht vorteilhaft, den über einen Säureaufschluß erhaltenen Fettgehalt für diese Zuordnung einzusetzen. Eine verhältnismäßig sichere Beurteilung der Art ist über Kaffeebestandteile der genannten Art allerdings nur dann zu erreichen, wenn möglichst alle Bestandteile herangezogen werden. Sehr schnell sind gute Ergebnisse sowohl bei Roh- als auch bei Röstkaffees über die von Johs. Wurziger und H. Purazrang (1) beschriebene Farbreaktion zu erhalten. Arabica-Kaffeeöle färben sich beim Erhitzen mit Kaliumjodid und Eisessig intensiv grün bzw. grünblau. Unabhängig von der Provenienz und Aufbereitung liefern Kaffeeöle aus frisch- und alterntigen Robustas die Farbreaktion nicht. Da jedoch Kreuzungen aus Arabicas und Robustas die Farbreaktion auch ergeben, allerdings in unterschiedlicher Stärke, sind sichere Rückschlüsse aus der

qualitativen Farbreaktion zumindest dann nicht mehr möglich, wenn solche Kreuzungen als Handelskaffees am Markt erscheinen.

Die Farbreaktion wird mit Extraktions-Kaffeeölen, z.B. Petroläther (PAe)-Extrakten aus Kaffeebohnen vorgenommen. Der unterschiedliche Ausfall der Farbreaktion hat seine Ursache in der Kaffeeölzusammensetzung.

Kaffeeöle unterscheiden sich von normalen fetten Ölen durch ihren Gehalt an Diterpenen. Nach verschiedenen Untersuchungen, über die an anderer Stelle (2) bereits berichtet wurde, kommt aber nur in Arabica-Kaffeeölen Cafestol und Kahweol vor. Nach den bisherigen Untersuchungen fehlt jedenfalls in Robusta-Kaffeeölen Kahweol. Darauf ist auch das Ausbleiben der Grünfärbung beim Erhitzen von Robusta-Kaffeeöl mit Kaliumjodid und Eisessig zurückzuführen.

Über die Messung der Extinktion können nicht nur Arabicas und Robustas eindeutig getrennt werden, sondern damit gelingt es gleichzeitig, Unterschiede in der Zusammensetzung von Arabicas und möglicherweise auch von Kreuzungen wie z.B. Arabustas und Catimors leichter zu erkennen und sicherer zu beurteilen.

Bei früheren Untersuchungen an Arabusta-Rohkaffees des Erntejahres 1975/76 aus verschiedenen Anbauzonen der Elfenbeinküste (3) wurde festgestellt, daß der Kahweolgehalt — nach der Extinktion für die Kaliumjodid-Eisessig-Reaktion — in den Arabusta-Rohkaffees sehr schwankte und außerdem teilweise auch sehr niedrig war. Aus den Extinktionen war abzuleiten, daß manche Arabustas wie Robustas erschienen, andere zwischen Arabicas und Robustas einzuordnen waren und wieder andere Arabicas ähnelten. Die früheren Untersuchungen wurden ausschließlich an Rohkaffees vorgenommen. Die nachfolgenden Untersuchungen erstrecken sich auf Arabustas aus der Ernte 1976/77 und wurden sowohl an Roh- als auch an Röstkaffees vorgenommen.

Da Diterpene sehr eng mit dem Kaffeeöl verknüpft sind und Diterpene, insbesondere das Kahweol, leicht Veränderungen erfährt, wurde für diese Untersuchungen ein besonderer, auf alle Kaffees in gleicher Weise anzuwendender Arbeitsgang gewählt.

(*) Die Untersuchungen wurden möglich durch die Unterstützung der zuständigen Ministerien der Rep. Elfenbeinküste, des IFCC Abidjan-Bingerville und der Firma IBERO in Abidjan

Arbeitsweise (Kurzfassung)

10 g gemahlener Roh- oder Röstkaffee werden mit Petroläther (PAe) (40°-60 °C) am Soxhlet drei Stunden extrahiert. Die PAe-Lösung wird im Meßkolben auf 50 ml eingestellt.

Bei dieser Arbeitsweise wird zwar nicht die gesamte im Kaffee vorkommende Ölmenge erfaßt, wenn die beim Säureaufschluß anfallenden Fettmengen zum Vergleich herangezogen werden. Für diese Untersuchungen erwies sich Kaffeeöl günstiger, an dem auf die Gewinnung zurückgehende Veränderungen möglichst sicher auszuschließen sind. Darüber hinaus liefert die Kaliumjodid-Eisessig-Reaktion auch nur mit Extraktionsölen auswertbare Ergebnisse.

Jeweils 25 ml PAe-Extrakt (Auszug aus 5 g Kaffee) werden in ein Schliffreagenzglas gefüllt, mit 2 ml wässrig-alkoholischer Kalilauge (100 %ige wässrige Kalilauge/Äthanol (96 %) wie 1/1 (V/V) versetzt und kurze Zeit kräftig geschüttelt. Nach erfolgter Schichtentrennung wird in eine obere Phase (PAe-Fett-Lösung) und in eine untere Phase (wässrig-alkoholische Kalilauge) aufgeteilt.

Die PAe-Lösung (obere Phase) wird auf 50 ml (Meßkolben) aufgefüllt. In einem aliquoten Teil wird die Fettmenge in üblicher Weise ermittelt. 1 ml PAe-Lösung (entspricht 0,1 g Kaffee) wird in ein kleines Becherglas pipettiert und nach Zugabe von 2 ml Eisessig und 0,10 ml einer gesättigten wässrigen Kaliumjodidlösung zehn Minuten im Trockenschrank bei 105 °C erhitzt. Nach dem Erhitzen wird die Eisessiglösung, die sich gelb oder grün bzw. grünblau verfärbt hat, in einen 5 ml Meßkolben übergeführt und der Kolben mit Eisessig bis zur Marke aufgefüllt. Unmittelbar vor der Extinktionsmessung wird ein kleiner Natriumthiosulfatkristall in den 5 ml Kolben gegeben und zur Beseitigung des entstandenen freien Jods tüchtig geschüttelt. Die Essiglösung wird dabei farblos, wenn Robustas und schwach bis kräftig blau, wenn Arabicas, Arabustas bzw. andere Kreuzungen vorliegen. Die Farbtiefe wird in einer 1 cm Küvette bei 630 nm in einem Spektralphotometer gegen Eisessig gemessen.

Bei Röstkaffee ist zu beachten, daß durch den Einbrand ein direkter Vergleich mit Rohkaffee nicht möglich oder doch zumindest sehr erschwert ist. Die Verhältniszahl aus Kaffeeöl und der Extinktion für die KJ-Eisessig-Umfärbung eignet sich für Vergleiche.

Die mehr oder minder stark bräunlich gefärbte untere Phase wird in einen Meßkolben (10 ml) übergeführt und mit wässrig-alkoholischer Kalilauge aufgefüllt bis zur Marke (entspricht 5 g Kaffee). Von dieser Lösung, die der Alkalifarbzahl bei Fetten entspricht, wird die Extinktion in einer 1 cm Küvette bei 470 nm im Spektralphotometer gemessen. Für die Extinktion wird die Abkürzung « AF-K » (Alkali-Färbung bei Kaffeeöl) gewählt.

Jeweils 25 ml PAe-Extrakt (Auszug aus 5 g Kaffee) werden in gleicher Weise in einem Schliffreagenzglas mit wässrig-alkoholischer Kalilauge ausgeschüttelt und nach der Schichttrennung in zwei Phasen geteilt. Die untere Phase wird anschließend mit 10 %iger Salzsäure angesäuert und danach mit PAe mehrere Male ausge-

schüttelt. Der zum Ausschütteln verwendete PAe wird auf 2 ml im Rotationsverdampfer eingengt. Auf eine Kieselgel-Soda-Dünnschichtplatte (wie für C-5-HT-Bestimmung) wird 1 ml PAe-Lösung aufgetragen und wie bei der C-5-HT-Bestimmung chromatographiert und besprüht. Unter diesen Versuchsbedingungen wird aus der unteren Phase eine blaue Substanz erhalten. Aus dem abgekratzten Kieselgel wird der gebildete Farbstoff mit Formamid herausgelöst, in einem 5 ml Meßkolben mit Formamid bis zur Marke aufgefüllt und die Extinktion in einer 1 cm Küvette bei 580 nm im Spektralphotometer gemessen. Für die Extinktion dieser Substanz aus der unteren Phase wird die Abkürzung « SUP » verwendet (Substanz aus unterer Phase).

Der nach der Extraktion mit PAe zurückbleibende Kaffee wird anschließend jeweils zwei Stunden mit Methanol extrahiert. Aus der Methanollösung wird unter den bekannten Bedingungen C-5-HT bestimmt. In Abb. 1 ist der Analysengang, der für die nachfolgenden Untersuchungen allgemein eingesetzt wurde, übersichtlich dargestellt.

Von den Substanzen, die beim Ausschütteln der PAe-Lösung mit Alkali zu Umfärbungen führen, ist ein mehr oder minder großer Anteil wasserlöslich. Er geht insbesondere bei Röstkaffees bei der Getränkebereitung in den Aufguß. In der Übersicht wird auf die Erfassung dieser Substanzen bereits hingewiesen.

In Tabelle I sind Untersuchungsergebnisse zusammengestellt, die nach den beschriebenen Arbeitsweisen für Arabica und Robusta-Rohkaffees gefunden wurden.

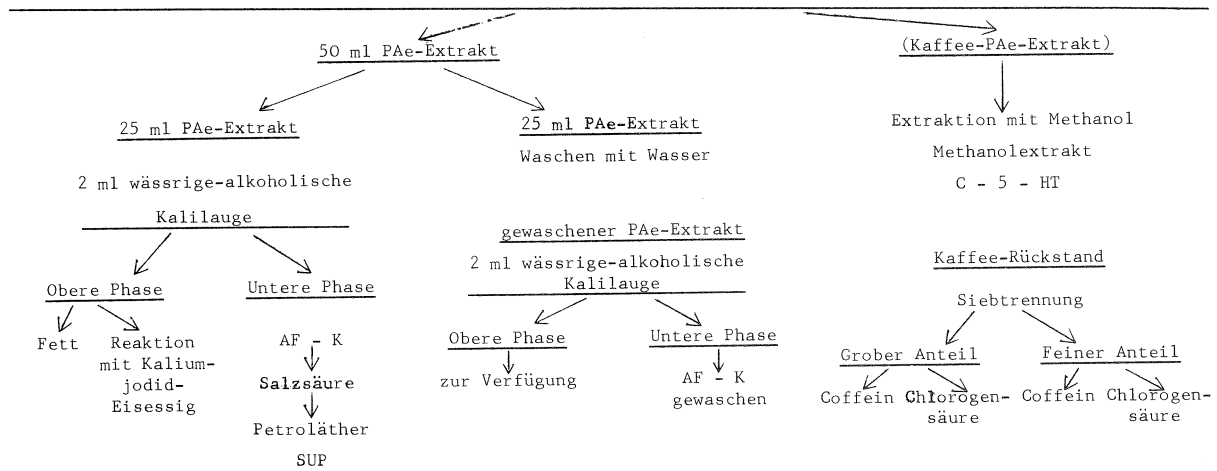
Aus diesen Beispielen ist zu ersehen, daß die größten Unterschiede zwischen Arabica- und Robusta-Rohkaffees in der oberen Phase zu erwarten sind. Arabica-Rohkaffee liefert auch unter diesen gewählten Versuchsbedingungen die größten Fettwerte. Außerdem liegen in den mit PAe extrahierten Fetten die Diterpene sehr vollständig vor, so daß aus der Kaliumjodid-Eisessig-Farbreaktion verhältnismäßig sichere Rückschlüsse möglich sind. Robusta-Rohkaffees haben nicht nur weniger Fett, sondern auch kein Kahweol. Die extremen Unterschiede sind an den ausgewählten Beispielen deutlich zu erkennen.

Über die Alkalibehandlung gehen aus den PAe-Extraktlösungen nur sehr geringe Mengen an färbenden Substanzen in Lösung. Daher ergeben sich aus den Untersuchungen an den unteren Phasen für Arabica- und Robusta-Rohkaffees keine Unterschiede. Den Untersuchungsergebnissen für die unteren Phasen ist aber außerdem zu entnehmen, daß normal aufbereitete erntefrische Rohkaffees keine Substanzen enthalten, die aus der angesäuerten unteren Phase mit PAe extrahiert und als Indophenolfarbstoffe nachgewiesen werden können.

Die C-5-HT-Gehalte schwanken bei Arabica- und Robusta-Rohkaffees in weiten Grenzen. Zu beachten ist, daß die Methanolextrakte aus mit PAe extrahierten Rohkaffees gewonnen wurden. Da C-5-HT in PAe nicht löslich sind, ist dieser Arbeitsweg der direkten Extraktion vorzuziehen. Darauf soll in diesem Zusammenhang aber nicht eingegangen werden.

In Tabelle II sind Untersuchungsergebnisse zusam-

Abb. 1. — Übersicht über Analysengang 10 g gemahlener Kaffee. Extraktion mit Petroläther (PAe)



Tab. I. — Untersuchungen an Arabica- und Robusta-Rohkaffees

Bezeichnung	Obere Phase		Untere Phase			Methanol-Extrakt C-5-HT ppm
	Fett %	Extinktion KJ-Eisessig	AFK	AFK n. Waschen	SUP	
Rohkaffee-Arabica	13,6	0,660	0,065	0,035	0,0	809
Rohkaffee-Arabica	11,1	0,350	0,060	0,060	0,0	912
Rohkaffee-Arabica	12,2	1,100	0,069	0,052	0,0	851
Rohkaffee-Robusta	4,5	0,0	0,050	0,050	0,0	660
Rohkaffee-Robusta	4,8	0,0	0,035	0,030	0,0	775
Rohkaffee-Robusta	4,4	0,0	0,029	0,025	0,0	1.085

Tab. II. — Untersuchungen an oberer Phase von PAe-Extrakten aus Arabusta-Rohkaffees

Bezeichnung	PAe-Extrakt : Obere Phase	
	Fett %	Extinktion für KJ-Eisessig-Farbreaktion
Arabusta, Clone 1313	7,4	0,032
Arabusta, Clone 402	5,8	0,010
Arabusta, Clone 1304	5,4	0,007
Arabusta, Clone 1312	7,9	0,144
Arabusta, Clone 3068	7,2	0,032
Arabusta, Clone 1333	8,5	0,050
Arabusta, Clone 3046	8,5	0,093
Arabusta, Clone 702	6,1	0,125
Arabusta, Clone 721	6,5	0,168
Arabusta, Clone 712	7,1	0,177
Arabusta, Clone 4419	8,7	0,195
Arabusta, Clone 3166	7,3	0,224

mengestellt, die an der oberen Phase von PAe-Extrakten aus Arabusta-Rohkaffees gewonnen wurden. Die Rohkaffees sind aus der Ernte 1976/77.

Die Beispiele zeigen, daß in Arabusta-Kaffeebohnen die Fettgehalte sowie die Extinktionen für die Kaliumjodid-Eisessig-Reaktion sehr erheblich schwanken. Nach den chemischen Befunden erscheinen Rohkaffees mit hohen Fettgehalten und hohen Extinktionen für die Kahweol-Reaktion den Arabica-Rohkaffees am

ähnlichsten. Aus der Zusammenstellung ist aber auch zu erkennen, daß unter den Arabustas Kaffeesamen angetroffen werden können, die sich analytisch wie Robustas erhalten.

In Tabelle III (S. 104) sind Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt, die an Arabustas aus der Ernte 1974/75 und aus der Ernte 1976/77 gewonnen wurden. Dabei ist bemerkenswert, daß die Untersuchungen an Kaffees aus gleichen Anbauabschnitten mit vegetativ vermehrtem Pflanzenmaterial vorgenommen werden konnten.

In den Kaffeeölmengen sowie in den Kahweol-Extinktionen unterschieden sich die untersuchten Kaffeebohnen aus den Ernten 1974/75 und 1976/77 nur wenig, wenn davon abgesehen wird, daß in einem Fall eine wesentliche Steigerung der Kahweol-Extinktion beobachtet wurde. Bessere Übereinstimmungen sind nach früheren Untersuchungen an Kaffeebohnen auch aus einem Clone nicht zu erwarten. Die Untersuchungsergebnisse zeigen nicht nur, daß diese Arabustas nach den analytischen Befunden Arabica-Kaffees ähnlicher sind als Robusta-Kaffees, sondern aus diesen Beispielen ist auch zu ersehen, daß unabhängig vom Erntejahr gut vergleichbare Rohkaffees erwartet werden können.

Vor wenigen Monaten wurde in Brasilien eine in den letzten Jahren gezüchtete Kaffeesorte vorgestellt, die

Tab. III. — Untersuchungen an Rohkaffees aus den Erntejahren 1974/75 und 1976/77

Bezeichnung	Erntejahr 1974/75		Erntejahr 1976/77	
	PAe-Extrakt : Obere Phase			
	Fett %	Extinktion KJ-Eisessig	Fett %	Extinktion KJ-Eisessig
Arabusta, Clone 4302	7,4	0,204	9,5	0,205
Arabusta, Clone 4305	6,9	0,235	5,9	0,225
Arabusta, Clone 4308	8,5	0,093	7,8	0,310
Arabusta, Clone 4401	8,6	0,147	9,0	0,160

Tab. IV. — Untersuchungen an « Catimor » -Kreuzungskaffee aus Brasilien

Bezeichnung	PAe-Extrakt : Obere Phase		Chlorogensäure %	Coffein %	Methanol- Extrakt C-5-HT ppm
	Fett %	Extinktion KJ-Eisessig			
Timor-Robusta- Rohkaffee	8,1	0,0	8,1	1,9	598
Brasilian. Catimor-Kaffee	11,2	0,730	6,9	1,0	903
Brasilian. Catimor	11,9	0,760	7,2		
Columbian. Caturra	12,3	0,475	7,4	1,0	705

gegen Kaffeekrankheiten z.B. Rost und große Dürre besonders widerstandsfähig sein soll. Darüber hinaus soll diese Kaffeesornte höhere Erträge liefern als die bisher bekannten Sorten. Diese als « Catimor » bezeichnete Kaffeesornte ist eine Kreuzung aus Timor-Robusta und Arabica der Sorte « Roter Caturra ». Nach vorliegenden Presseberichten wird in diesem Jahre auf einer Versuchspflanzung die erste Ernte von 1 1/2 jährigen Sträuchern eingebracht.

In Tabelle IV sind Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt, die an Kaffeebohnen der Bezeichnung « Catimor » ermittelt wurden. Gleichzeitig werden Untersuchungsergebnisse für einen Timor-Robusta- und einen Caturra-Arabica-Kaffee angeführt. Dazu ist jedoch anzumerken, daß es sich um einen altertümlichen Columbia-Caturra aus dem Anbaugebiet um Medellín handelt. Möglicherweise bestand das früher selbst entnommene Muster nicht ausschließlich aus Caturra-Arabica. Die Untersuchungsergebnisse sind damit nicht direkt vergleichbar.

Nach diesen Untersuchungen erscheinen die « Catimor »-Rohkaffees sowohl im Fettgehalt, in den Extinktionen für die Kahweolumfärbung sowie im Chlorogensäure- und Coffeingehalt wie Arabica-Kaffees. Aufgrund des analytischen Verhaltens müssen sie ohne Einschränkungen den Arabicas zugeordnet werden. Sie können über diese Untersuchungen nicht als Kreuzungen erkannt werden. Diese « Catimor »-Röstkaffees wiesen auch in der Zubereitung keine Robustanote auf.

Da Chlorogensäuren, Coffein und C-5-HT keinen Einfluß auf die geschmacklichen Kaffeeart-Besonderheiten haben, sind Hinweise auf die geschmacklichen Besonderheiten nur aus dem Verhalten

der Kaffeeöle gegen Kaliumjodid-Eisessig zu erwarten, sofern solche analytisch überhaupt ansprechbar sind. Wenn hiervon ausgegangen wird, dann könnten die Verhältniszahlen aus dem Fettgehalt und der Extinktion für die KJ-Eisessig-Färbung als Anhaltspunkt für die geschmacklichen Besonderheiten — hier Robustanote — dienen.

In Tabelle V sind Fettgehalte und Extinktionen für die KJ-Eisessig-Färbung für die obere Phase von PAe-Extrakten aus verschiedenen Rohkaffees angeführt. In die Zusammenstellung wurde außerdem die für 100 mg Kaffeeöl errechnete Kahweol-Extinktion aufgenommen. Neben normalen, unbearbeiteten Rohkaffees wurden bearbeitete genannt, um die Veränderungen an diesen aufzuzeigen und damit gleichzeitig die Übergänge zu den ausgewählten Arabustas deutlich zu machen.

Die auf 100 mg Kaffeeöl bezogene Extinktion, in der sich der Anteil an Kahweol zum Vergleich am besten ausdrückt, bewegt sich nach bisherigen Untersuchungen für Arabica-Rohkaffees etwa zwischen 4 und 10. Hohe Extinktionen wurden bisher am häufigsten bei hochgewachsenen frischerntigen Rohkaffees angetroffen. Niedrige Extinktionen kommen am häufigsten bei Rohkaffees vor, die durch lange oder unsachgemäße Lagerung oder aber durch verschiedenste zur Zeit übliche Bearbeitungen Veränderungen erfahren haben. Dafür sind in der Zusammenstellung verschiedene Beispiele angeführt.

Die Kreuzungskaffees « Catimor » sind auch nach diesen Untersuchungen ohne Einschränkungen der Kaffeeart « Arabica » zuzuordnen. Die Kreuzungskaffees « Arabusta » — es handelt sich in der Zusammenstellung um ausgewählte Muster — entsprechen insbe-

sondere aufgrund der für 100 mg Kaffeeöl errechneten Extinktionen bearbeiteten Arabica-Rohkaffees. Geschmackliche Überprüfungen wurden bisher noch nicht vorgenommen. Ähnlichkeiten sind aber nicht sicher auszuschließen.

Unter den üblichen Röstbedingungen erfahren die Chlorogensäuren sehr starke Veränderungen. In Röstkaffees aus Arabica-Kaffees beträgt die Chlorogensäure oftmals nur die Hälfte der Chlorogensäuren im Ausgangskaffee. Damit gibt der Chlorogensäuregehalt, insbesondere sofern der Ausgangskaffee bekannt ist, einen guten Einblick in die angewandten Röstbedingungen. In Tabelle VI sind Chlorogensäuregehalte zusammengestellt, die in Arabusta-Kaffees vor und nach dem Rösten der Kaffees in einem Proberöster ermittelt wurden. Sehr einheitliche Röstgrade konnten damit nicht erwartet werden. Die Zusammenstellung enthält

nur Arabusta-Kaffees aus der Ernte 1976/77. Alle Kaffees wurden nach dem Rösten in gleicher Weise gemahlen, aufgegossen und verkostet. Die Geschmackseindrücke sind ebenfalls in der Zusammenstellung kurz vermerkt. Mit der Geschmacksprüfung sollte zu klären versucht werden, ob und in welcher Intensität die Kaffeezubereitungen noch an Robusta-Kaffee erinnern. Bemerkenswert an diesen Arabusta-Mustern aus der Ernte 1976/77 ist, daß nur bei einigen Kaffees eine Robustanote zu erkennen war. In der Regel erwies diese sich dann auch nur als sehr schwach. Besonders herauszuheben ist, daß sich einige der geprüften Arabusta-Muster sogar als ausgesprochen mild herausstellten.

Die Chlorogensäureverluste bewegten sich zwischen 50 % und 72 %. Abgesehen von den großen Schwankungen, die sich aus den ungewohnten Bedingungen im

Tab. V. — Auf jeweils 100 mg Kaffeeöl bezogene Kahweol-Extinktion für Rohkaffees verschiedener Art

Bezeichnung	PAe-Extrakt : Obere Phase		Extinktion f. 100 mg Öl
	Fett %	Extinktion KJ-Eisessig	
Arabica-Rohkaffee, normal	12,2	1,100	9,0
Arabica-Rohkaffee, normal	12,0	0,916	7,6
Arabica-Rohkaffee, normal	13,6	0,660	4,9
Arabica-Rohkaffee, bearbeitet	8,2	0,413	5,0
Arabica-Rohkaffee, bearbeitet	11,1	0,352	3,2
Arabica-Rohkaffee, bearbeitet	10,4	0,273	2,6
Kreuzungskaffee "Catimor"	11,9	0,760	6,4
Kreuzungskaffee "Catimor"	11,2	0,730	6,5
Rohkaffee "Arabusta", Ernte 74/75	7,3	0,224	3,1
Rohkaffee "Arabusta", Ernte 74/75	6,9	0,235	3,4
Rohkaffee "Arabusta", Ernte 76/77	6,9	0,225	3,4
Rohkaffee "Arabusta", Ernte 76/77	8,5	0,310	3,6

Tab. VI. — Chlorogensäuregehalte in rohen und gerösteten Arabusta-Kaffees aus der Ernte 76/77

Bezeichnung	Geschmack der Zubereitung	Chlorogensäure in Kaffee		Chlorogensäure Verlust %
		roh	geröstet	
Arabusta, Clone 4211	neutral	8,0	3,3	58,8
Arabusta, Clone 4212	etwas unreif	6,8	2,7	68,3
Arabusta, Clone 4238	ganz leichter Robustageschmack	7,0	3,1	55,7
Arabusta, Clone 4308	recht gut	8,0	2,5	68,8
Arabusta, Clone 4305	fast neutral	7,8	2,4	70,0
Arabusta, Clone 4313	etwas unreif, leichte Robustanote	6,6	2,6	60,6
Arabusta, Clone 4401	recht neutral	7,4	2,7	63,5
Arabusta, Clone 4409	sehr gut, neutral	6,3	3,1	50,8
Arabusta, Clone 4714	fast mild	7,8	2,3	70,5
Arabusta, Clone 5030	schmeckt gut, wenig Robustanote	7,5	3,3	56,0
Arabusta, Clone 5327	leichter bis mittlerer Robustaton, leichte Unreife	7,1	2,0	71,8
Arabusta, Clone 5430	relativ viel Robustageschmack	7,5	3,2	57,3
Arabusta, Clone 5624	leichter Robustageschmack	7,1	2,8	60,6

IFCC in Bingerville zumindest teilweise mit erklären, waren die Verluste sehr hoch, obwohl die Kaffees nur auf normale Farbtiefe geröstet wurden. Es wird noch nachzuprüfen sein, ob die Chlorogensäurezersetzungen bei diesen Kaffees stärker sind als bei z.B. Arabicas. Bemerkenswert ist, daß die Chlorogensäuregehalte in den gerösteten Kaffees mit 2,0 bis 3,3 % etwa denen in hier üblichen Arabica-Röstkaffees entsprachen. Vielleicht liegt es hierin mitbegründet, daß sich verschiedene Röstkaffees geschmacklich als ausgesprochen mild erwiesen.

In Tabelle VII sind Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt, die aus den oberen und unteren Phasen der PAe-Extrakte aus Arabica- und Arabusta-Röstkaffees gewonnen wurden. Einen Einblick in vorgenommene Bearbeitungen geben die aus den Methanolextrakten ermittelten C-5-HT-Gehalte. Zu beachten ist, daß die Methanolextrakte aus zunächst mit PAe extrahierten Röstkaffees erhalten wurden.

Aus der Zusammenstellung ist zu ersehen, daß bei diesen Untersuchungsweisen Unterschiede nur in den Extinktionen für die KJ-Eisessig-Umfärbung bestehen. Den Beispielen ist aber auch zu entnehmen, daß sich diese Unterschiede sehr verwischen und dann sogar kein klares Ergebnis mehr liefern, wenn Arabusta-Röstkaffees mit Röstkaffees aus bearbeiteten Arabicas verglichen werden.

Die untere Phase der PAe-Extrakte aus den Röstkaffees enthält insbesondere Substanzen, die unter den gewählten Bedingungen mit wässrig-alkoholischer Kalilauge in Petroläther unlösliche Substanzen bilden. Zumindest ein Teil dieser Substanzen färbt die wässrige alkoholische Kalilauge mehr oder minder stark bräunlich. Wird der aus dem Röstkaffee gewonnene PAe-Extrakt vor dem Versetzen mit wässriger-alkoholischer Kalilauge mit Wasser gewaschen, dann

wird die untere Phase weniger stark verfärbt. Über diesen Weg läßt sich die Extinktion für den Kaffee-Anteil ermitteln, der mit dem Aufgußwasser bei der üblichen Getränkezubereitung aus dem Kaffee herausgelöst wird. In Tabelle VIII sind Untersuchungsergebnisse zusammengestellt, die für Arabica- und Arabusta-Röstkaffees ermittelt wurden.

Bemerkenswert ist an dieser Zusammenstellung, daß unabhängig von der Kaffeeart und unabhängig von der Höhe der Extinktion für die untere Phase (AFK) aus vielen PAe-Extrakten durch die Wasserbehandlung vor dem Zusatz der wässrigen alkoholischen Kalilauge etwa die Hälfte der färbenden Substanzen ausgewaschen wurden. Wenn von den Extinktionen ausgegangen wird, dann geht etwa die Hälfte der mit Alkali löslichen Substanzen in das Kaffeegetränk und die andere Hälfte bleibt im Kaffeerückstand. Nach den Beispielen in Tabelle VIII verhalten sich Arabusta-Röstkaffees im allgemeinen nicht anders als Arabica-Röstkaffees. Es bestehen auch noch nicht einmal Unterschiede in der Extinktionshöhe, die als Differenz für die wasserlöslichen Substanzen errechnet wird. Bei den geringen Unterschieden in der Substanzmenge — nach den Differenzen in den Extinktionen — dürften sich die Substanzen, die mit Alkali die Farbreaktion ergeben, auch auf den Geschmack nicht auffallend auswirken, insbesondere nicht auf die Robustanote.

Nach den bisherigen Feststellungen an gerösteten Arabusta-Kaffees des Erntejahres 1976/77 aus verschiedenen Anbauabschnitten mit vegetativ vermehrtem Pflanzenmaterial sind Zusammenhänge zwischen dem Geschmack — hier interessiert zunächst die Robustanote — und den Diterpenen in den Kaffeebohnen nicht auszuschließen. Danach könnten geschmackliche Verbesserungen möglicherweise dann erwartet werden, wenn es gelingen würde, den Kaf-

Tab. VII. — Untersuchungen an Arabica- und Arabusta-Röstkaffees

Bezeichnung	PAe-Extrakt : Obere Phase			Untere Phase Extinktion AFK	Methanol- Extrakt C-5-HT ppm
	Fett %	Extinktion KJ-Eisessig	Extinktion f. 100 mg O1		
Arabica-Röstkaffee	11,65	0,570	4,9	0,270	250
Arabica-Röstkaffee	11,60	0,255	2,2	0,385	800
Arabica-Röstkaffee	15,00	0,890	5,9	0,317	589
Arabica-Röstkaffee	12,80	0,980	7,7	0,710	1.118
Arabica-Röstkaffee	11,74	1,020	8,7	0,515	215
Arabica-Röstkaffee	10,97	0,850	7,7	0,530	538
Arabica-Röstkaffee	14,60	0,760	5,2	0,444	860
Arabica-Röstkaffee	12,70	0,530	5,0	0,461	230
Arabica-Röstkaffee	14,05	0,520	3,7	0,595	886
Arabica-Röstkaffee	12,20	0,410	3,4	0,510	585
Arabusta-Kaffee, Clone 4211	11,80	0,118	1,0	0,315	903
Arabusta-Kaffee, Clone 5430	11,5	0,052	0,5	0,435	903
Arabusta-Kaffee, Clone 5327	11,0	0,077	0,7	0,445	722
Arabusta-Kaffee, Clone 5624	11,1	0,105	0,9	0,254	n. b.
Arabusta-Kaffee, Clone 4238	11,8	0,076	0,6	0,456	n. b.
Arabusta-Kaffee, Clone 4212	10,6	0,120	1,1	0,390	735
Arabusta-Kaffee, Clone 4305	10,1	0,162	1,6	0,325	940
Arabusta-Kaffee, Clone 4401	11,1	0,247	2,2	0,423	791
Arabusta-Kaffee, Clone 4308	11,2	0,272	2,4	0,462	566
Arabusta-Kaffee, Clone 4714	11,6	0,305	2,6	0,495	989
Arabusta-Kaffee, Clone 4313	11,7	0,320	2,7	0,365	636
Arabusta-Kaffee, Original- Röstung Ursprungsland	10,9	0,041	0,4	0,385	636

feeölanteil sowie den Kahweolgehalt in den Ölen zu erhöhen. Die Mengen an Kaffeeöl und Kahweol könnten damit dann vielleicht als Indikatoren dienen für die zu erwartenden Geschmackseigenschaften der Kaffeetränke aus Robustas. Eine mehr oder minder deutliche Verschiebung läßt sich bereits durch einfaches Absieben der feinen Anteile von den groben eines gemahlene Röstkaffees erreichen. In Tabelle IX (S 108) sind Untersuchungsergebnisse zusammengestellt, die einen Einblick geben in die Zusammensetzung von aus gemahlene Arabusta-Röstkaffees durch einfaches Absieben erhaltenen feinen und groben Anteilen. Die Teilchengröße wurde nicht bestimmt. Die Röstkaffees wurden in einer Haushaltsmühle gemahlen.

Für die ausgewählten Arabusta-Röstkaffees wurden gleiche Mengen an feinen und groben Anteilen sowie über und unter 50 % liegende feine bzw. grobe Anteile ermittelt. Unabhängig von diesen Mengen wurden in den feinen Anteilen die höchsten Fettmengen, die höchsten Extinktionen für die KJ-Eisessig-Umfärbung und die höchsten C-5-HT-Gehalte festgestellt. Die Extinktionen für die unteren Phasen waren weniger unterschiedlich. Nach diesen Beispielen ist es über eine einfache Siebtrennung der gemahlene Kaffees in einen groben und einen feinen Teil möglich, Röstkaffees zu gewinnen, die in der Zusammensetzung, aber auch im Verhalten der Zubereitungen mehr oder minder deutlich voneinander abweichen. Nach diesen mitgeteilten Untersuchungsergebnissen erscheint der feinere Röstkaffeeanteil — wenn die obere Phase als Beurteilungsbasis gewählt wird — Arabica-Kaffee ähnlicher als der gesamte gemahlene Arabusta-Röstkaffee. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu beachten, daß insbesondere beim Absieben der gemahlene Röstkaffees unterschiedliche Mengen verloren gehen.

Außerdem wurden die Untersuchungen an den ganzen und den aufgetrennten Röstkaffees in erheblich großen Abständen vorgenommen.

Nach der Extraktion der gemahlene Röstkaffees mit Petroläther und Methanol wurden die Rückstände in einen groben und feinen Anteil aufgeteilt. Diese wurden nochmals mit Benzol/Alkohol wie 1/1 (V/V) über mehrere Stunden extrahiert und dann wurden die getrockneten Rückstände auf ihren Gehalt an Chlorogensäuren untersucht. In Tabelle X sind die Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt.

Bei den angeführten Arabusta-Röstkaffees ergaben sich nach dem Extrahieren und Absieben mehr feinere Anteile als grobe. Die groben Anteile lagen zufällig um 32 %. Nach diesen ungefähren Mengen werden mit Petroläther und Methanol um 25 % bis 28 % Kaffeesubstanzen aus den gemahlene Röstkaffees herausgelöst. Bemerkenswert ist einmal, daß mit Petroläther, Methanol und Benzol/Alkohol extrahierten Röstkaffees immer noch Chlorogensäuren vorhanden sind. Aus den für die Anteile ermittelten Chlorogensäuren errechnen sich 1,62 %, 1,95 % und 1,28 % für die gesamten extrahierten Rückstände. Bemerkenswert ist aber auch, daß in den groberen Anteilen mehr Chlorogensäure festgestellt wurde als in den feinen Anteilen.

Tab. X. — Chlorogensäuren in extrahierten und nach Korngrößen aufgeteilten Arabusta-Röstkaffees

Bezeichnung	Arabusta-Röstkaffee		
	4308	4212	4305
Grober Anteil %	32	32	32
Chlorogensäure %	1,89	2,28	1,53
Feiner Anteil %	43	40	42
Chlorogensäure %	1,151	1,84	1,15

Tab. VIII. — Untersuchungen an der unteren Phase von PAe-Extrakten aus Arabica- und Arabusta-Röstkaffees

Bezeichnung	PAe-Extrakt : Untere Phase		Differenz (a - b)
	Extinktion AFK (a)	Extinktion AFK n. Waschen (b)	
Arabica-Röstkaffee	0,540	0,243	0,297
Arabica-Röstkaffee	0,765	0,314	0,451
Arabica-Röstkaffee	0,715	0,310	0,405
Arabica-Röstkaffee	0,480	0,227	0,253
Arabica-Röstkaffee	0,390	0,205	0,185
Arabica-Röstkaffee	0,317	0,152	0,165
Arabica-Röstkaffee	0,530	0,265	0,265
Arabica-Röstkaffee	0,433	0,222	0,211
Arabica-Röstkaffee	0,650	0,327	0,323
Arabica-Röstkaffee	0,270	0,156	0,114
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4211	0,315	0,148	0,167
Arabusta-Röstkaffee, Clone 5430	0,435	0,210	0,225
Arabusta-Röstkaffee, Clone 5327	0,445	0,217	0,228
Arabusta-Röstkaffee, Clone 5624	0,254	0,119	0,135
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4238	0,456	0,185	0,271
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4212	0,390	0,178	0,212
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4305	0,325	0,156	0,169
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4401	0,423	0,173	0,250
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4308	0,462	0,200	0,262
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4714	0,495	0,263	0,232
Arabusta-Röstkaffee, Clone 4313	0,365	0,163	0,202
Arabusta-Röstkaffee, Original-Röstung Ursprungsland	0,385	0,190	0,195

Tab. IX. — Untersuchungen an Arabusta-Röstkaffees sowie an aus gemahlene Arabusta-Röstkaffees durch einfaches Absieben erhaltenen feinen und groben Anteilen

Bezeichnung	Arabusta-Röstkaffee		
	Clone 4308	Clone 4212	Clone 4305
<u>Gemahlener Röstkaffee</u>			
<u>PAe-Extrakt</u>			
Obere Phase : Fett %	11,2	10,6	10,1
0,1 g Kaffee E ₁ cm, 630 nm	0,272	0,120	0,162
Extinktion für 100 mg Kaffeeöl	2,4	1,1	1,6
Untere Phase : AFK	0,462	0,390	0,325
<u>Methanolextrakt</u> : C-5-HT in ppm	566	735	940
<u>Abgesiebter feiner Anteil</u>	56,7 %	43,6 %	50,0 %
<u>PAe-Extrakt</u>			
Obere Phase : Fett %	13,1	12,6	11,8
0,1 g Kaffee E ₁ cm, 630 nm	0,400	0,140	0,225
Extinktion für 100 mg Kaffeeöl	3,0	1,1	1,9
Untere Phase : AFK	0,470	0,270	0,295
<u>Methanolextrakt</u> : C-5-HT in ppm	600	920	1.032
<u>Abgesiebter groberer Anteil</u>	43,3 %	56,4 %	50,0 %
<u>PAe-Extrakt</u>			
Obere Phase : Fett %	10,2	10,5	10,0
0,1 g Kaffee E ₁ cm, 630 nm	0,200	0,098	0,185
Extinktion für 100 mg Kaffeeöl	2,0	0,9	1,85
Untere Phase : AFK	0,325	0,305	0,328
<u>Methanolextrakt</u> : C-5-HT in ppm	330	610	765

LITERATUR

- (1) *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 68, S. 117 (1972)
 (2) Wurziger, Johs., *Kaffee und Tee Markt* XXVI/12, S. 3 (1976)

- (3) Wurziger, Johs., J. Capot und J.C. Vincent, *Kaffee und Tee Markt* XXVI/12, S. 3 (1977)

WURZIGER (J.), DREWS (R.), BUNDESEN (G.). — **Composition du café Arabusta à l'état vert et torréfié.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 101-108, tabl., fig., réf.

WURZIGER (J.), DREWS (R.), BUNDESEN (G.). — **About green and roasted Arabusta coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 101-108, tabl., fig., réf.

Cette étude sur différents cafés Arabusta verts et torréfiés de la récolte 1976/1977 montre que de nombreux cafés, en fonction de la composition de l'huile de café, apparaissent comme des Arabica, et ici comme des Arabica traités ou vieillissants. En ce qui concerne leur sapidité, de nombreux cafés Arabusta torréfiés présentent déjà une note assez douce, sans touche de Robusta. La recherche appliquée et les contrôles chimiques pourraient permettre d'améliorer encore ces résultats et d'obtenir des cafés plus homogènes.

This study on different green and roasted Arabusta coffees from the 1976/1977 crop shows that many coffees, according to the coffee oil composition, appear like Arabica coffees and here like treated or ageing Arabica coffees. As far as their taste is concerned, many roasted Arabusta coffees are rather soft without any Robusta taste. The applied research and the chemical controls could still allow to improve these results and to obtain more homogeneous coffees.

WURZIGER (J.), DREWS (R.), BUNDESEN (G.). — **Über Arabusta-Roh- und Röstkaffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 101-108, fig., tabl., réf.

viele Kaffees nach der Zusammensetzung des Kaffeeöls, wie Arabicas und hier wie bearbeitete oder alterntige Arabicas erscheinen. Im Geschmack erwiesen sich viele Arabusta-Röstkaffees bereits recht mild und ohne Robustanote. Durch gezielte Förderung auch unter Einbeziehung der chemischen Kontrolle dürften die Ergebnisse noch zu verbessern und einheitlichere Kaffees zu erreichen sein.

Aus diesen Untersuchungen an verschiedenen Arabusta-Roh- und Röstkaffees aus der Ernte 1976/77, ergibt sich, daß

A CRITICAL COMPARISON OF SIX SPECTROPHOTOMETRIC METHODS FOR MEASURING CHLOROGENIC ACIDS IN GREEN COFFEE BEANS

M.N. CLIFFORD, P.S. STANIFORTH

Department of Science and Food Technology,
Grimsby College of Technology, England

INTRODUCTION

The group of compounds known as chlorogenic acids may constitute up to 10% of the dry mass of green coffee beans. Much of the literature about these compounds is complicated by the use of confusing trivial nomenclatures (1). To avoid further confusion the following systematic nomenclature will be used in this report.

The term chlorogenic acids (CGA) will refer to the total complex and will include:

1) caffeoylquinic acids (CQA) which are esters of caffeic acid with quinic acid;

2) dicaffeoylquinic acids (diCQA) which are esters involving two residues of caffeic acid attached to the same residue of quinic acid; total caffeoylquinic acids (total CQA) includes the CQA and diCQA;

3) feruloylquinic acids (FQA) are esters of ferulic acid with quinic acid — they are the monomethyl ethers of the CQA;

4) p-coumaroylquinic acids (CoQA) are esters of p-coumaric acid (4-hydroxycinnamic acid) with quinic acid;

5) caffeoylferuloylquinic acids (CFQA) are little-studied esters consisting of one residue of caffeic acid and one residue of ferulic acid attached to the same residue of quinic acid — they are monomethyl ethers of the diCQA.

These five groups have been presented in order of their decreasing percentage contribution to the CGA. The data concerning the CoQA(2) and CFQA(3) suggest that these two fractions together will not exceed 2% of the CGA. The CQA, diCQA, FQA and CoQA each consist of three positional isomers, but the CFQA have not been fully characterised in this respect. It is clear however that the CGA in green coffee beans include at least thirteen components.

Numerous methods have been reported for measuring the CGA (eg see previous ASIC Colloquia and references 1 and 4). The ideal analytical method for the CGA would have the following attributes:

1) it would give equal emphasis on a molar basis to each of the many isomers;

2) it would not be subject to interference from other substances.

If the method were required for routine industrial use it would also require the following attributes:

3) easily achieved high repeatability and reproducibility;

4) simplicity, rapidity and economy of labour, capital and operating costs.

This report deals with the investigation of six spectrophotometric methods to determine which most closely approaches the ideal.

EXPERIMENTAL

Extraction of green coffee beans

Samples were ground in a hammer mill to pass a sieve with a 0.7 mm aperture. The ground material was

extracted as previously described (4) and the extracts stored in a refrigerator at 3-4 °C. The green bean moisture contents were determined by drying to constant weight at 105 °C.

Spectrophotometry

All measurements were made on a Unicam SP800 twin beam recording spectrophotometer using a 1 cm quartz cuvette and a temperature controlled cuvette holder. In all cases a 2-propanol solution of 3CQA was used as a standard.

Spectrophotometric reagents

Molybdate reagent, pH 6.5

The molybdate reagent was prepared as previously described (4). It yields a yellow colour (λ_{\max} 370 nm) those CGA having a caffeic acid residue (i.e. CQA and diCQA) and it is believed that all such positional isomers show identical molar extinction coefficients of approximately 16,400 per caffeic acid residue. It is normal to use 3CQA as standard, but since the colorimetric response is independent of the caffeic acid — quinic acid ratio, this leads to an overestimation of the diCQA fraction. In fact each molecule of diCQA (molecular weight = 516) is determined as two molecules of CQA (molecular weight = $2 \times 354 = 708$). The actual diCQA content is therefore overestimated by :

$$\frac{(2 \times 354) - 516}{516} \times \frac{100}{1} = 37\% .$$

Caffeic acid will interfere if present but since it gives a molar response only 60 % that of the CQA and is present only in trace amounts in fresh extracts, interference from this source may be ignored.

Borate reagent, pH 7.0

The neutral borate reagent and buffers were prepared and used as described by Kwasny (5). This reagent is employed in German (6) and Swiss (7) standard methods for determining chlorogenic acids in coffee. This reagent is also specific for CQA and diCQA (λ_{\max} 357 nm). Since it has been reported that the diCQA have a higher molar extinction coefficient than the CQA (8), it is reasonable to assume that this reagent will over-estimate the diCQA content (cf above).

Molybdate ascorbate reagent, pH 6.5

It has been suggested (9) that orthodihydroxyphenols such as CQA and diCQA are easily oxidised to ortho-quinones during the extraction of plant materials and that the incorporation of ascorbate in the solvent may prevent or even reverse such oxidation. To investigate the possibility of avoiding such artefactual oxidation the molybdate reagent was modified by the addition of 0.2 % ascorbate. This reagent was prepared freshly each day and used precisely as described for the molybdate reagent. It has been assumed that it would suffer from the same limitations when applied to extracts containing diCQA.

Borate ascorbate reagent, pH 7.0

The borate ascorbate reagent was prepared by adding 0.2 % ascorbate to the borate reagent described above. Unfortunately the ascorbate was highly unstable at pH 7.0 and browned rapidly. Therefore this reagent was not investigated further.

Periodate reagent

The periodate reagent was prepared as previously described (4). It gives an equal response on the basis of the caffeic and/or ferulic acid content to individual isomers of the CQA, FQA, diCQA and CFQA. As with the molybdate reagent the diCQA are overestimated by approximately 37 %.

Free caffeic and ferulic acids are detected by this reagent, but the molar response is only 25 % that of the CQA and FQA. With typical extracts the interference caused by these acids can be ignored.

The method previously described involved taking absorbance measurements at room temperature. However atypical results observed during the abnormally high summer temperatures of 1976 indicated that the reaction temperature should be standardised. This was achieved by placing stoppered test tubes containing 10.00 cm³ of reagent in a waterbath and allowing the reagent temperature to stabilise. The extracts to be analysed were added to these tubes while they were still in the waterbath, the contents mixed immediately and thoroughly by shaking and the tubes returned to the waterbath. The absorption was read ten minutes after mixing, a temperature controlled cuvette holder being used. It was found that the highest molar extinction coefficients (1790-1800) were obtained at a temperature of 27 °C with 3CQA and 3FQA. Accordingly this temperature has been adopted for all future work.

Thiobarbituric acid (TBA) reagent

The TBA reagent used in this investigation was identical to that used by Pierpoint (11), which was based upon the quinic acid-measuring reagent of Levy and Zucker (12). The only modification was to extend the final colour development stage to twenty minutes in a boiling water bath.

When using this reagent to measure quinic acid released from CGA by saponification it is necessary to examine extracts before and after saponification so that a correction may be applied if free quinic acid is present.

Statistical analysis

The statistical analyses were performed using the methods reported by Steiner (13). The following values were calculated :

- 1) repeatability — the closeness of agreement between successive results obtained on the same samples by the same operators using the same equipment,
- 2) reproducibility — the closeness of agreement between successive results obtained on the same samples by the same operator using the same equipment but on different occasions.

RESULTS AND DISCUSSION

Repeatability and reproducibility

TBA reagent

The calculated values for repeatability and reproducibility are presented in table I. Application of the TBA reagent to quinic acid gave good (i.e. low) values for repeatability and reproducibility (3.9 % and 7.5 %) but application to pure 3CQA or coffee bean extracts after saponification led to massive repeatability and reproducibility standard deviations (up to 74 %). Further systematic investigation of the procedure has shown that the periodate oxidation step and possibly the colour generation step are highly pH sensitive. The poor reproducibility arose from the difficulty involved in precisely neutralising the saponified sample prior to determining the released quinic acid. So far it has not been possible to find a satisfactory method that is also convenient enough for routine use with large numbers of samples. In its present form the TBA reagent is far from ideal for routine industrial use.

Borate ascorbate and molybdate ascorbate reagents

Of the four reagents specific for the total CQA content the borate ascorbate reagent was found to be too unstable and was discarded. The molybdate ascorbate reagent had an acceptable repeatability (3.9 %) but a significantly worse reproducibility (11.7 %). The relatively poor reproducibility probably reflects some reagent instability which renders the reagent less than ideal for routine use.

Borate reagent

The borate reagent gave poor results although the repeatability and reproducibility were not significantly different (8.0 % and 18.8 %). These results are much worse than those reported by Kwasny (5) (3.3 % and

5.5 %), who never the less commented upon poor reproducibility initially. He recommended that all solutions be stored in polyethylene containers and that the « neutral » boric acid should be reneutralised after 24 h and prior to mixing with the pH 7.0 phosphate buffer. Both precautions were adhered to in the current investigation but in retrospect it appears that 24 h is insufficient for stabilisation of the « neutral » borate. It is interesting to note that Panio and Sloman (14) have reported occasional poor reproducibility with the same reagent and suggested the following factors might be individually or collectively responsible :

- 1) varied exposure to light after mixing sample and reagent but before spectrophotometry,
- 2) varied time between mixing and spectrophotometry.

Molybdate reagent

The molybdate reagent gave the best results for repeatability and reproducibility (5.5 % and 8.7 %) for total CQA content, but these results were not as good as those reported by Kwasny for the borate reagent (3).

Periodate reagent

Of the six reagents examined the periodate reagent gave the best results (2.2 % and 4.6 %). It has the added attribute, compared to the borate and molybdate reagents, of reacting with FQA as well as CQA and therefore in theory measuring at least 98 % of the total CGA in green coffee beans. The very good repeatability and reproducibility doubtless reflect the simplicity of the procedure. Although some non-phenolic coffee bean constituents may react with periodate, of the many tested none produced colour under the conditions employed for measuring CGA. Neither do the minor phenolic components interfere since they either do not produce colour at the wavelength employed or they are present at such a low level that the contribution can be completely ignored (15, 16).

Table I. — Repeatability and reproducibility standard deviations for five spectrophotometric reagents

Reagent	Repeatability Standard deviation		Reproducibility Standard deviation		Variance Ratio	Degrees of Freedom
	σ_0		σ_x			
	Actual	% of Mean	Actual	% of Mean		
Molybdate	0.031	5.5	0.048	8.7	2.40 NS	54/5
Molybdate-ascorbate	0.022	3.9	0.066	11.7	9.0 *	36/3
Borate	0.030	8.0	0.070	18.8	5.44 NS	45/4
Periodate	0.013	2.2	0.027	4.6	4.32 NS	45/4
TBA 1	0.102	21.5	0.350	73.5	11.77 *	15/4
2	0.033	3.9	0.065	7.5	3.88 NS	15/4
3	0.160	50.5	0.210	66.6	1.72 NS	5/4

Key : TBA 1 = bean extracts, TBA 2 = quinic acid, TBA 3 = 3CQA
NS = Not significant, * = significant at 99,9 % level

Discussion

The major limitation of the periodate reagent is its tendency to overestimate the content of diCQA, a tendency shared with the molybdate reagent and probably the borate reagent. However if the precise content of diCQA is known then a precise correction can be applied. Reference to the work of Rees and Theaker (10) suggests that the diCQA form a fairly constant percentage of the CGA and therefore general correction factors may be calculated. Such correction factors for the molybdate and periodate reagents, and green arabica, robusta and arabusta coffee beans are shown in table II. Corrected values for total CQA and CGA are shown in table III.

Table II. — Correction factors for DiCQA inflation when using the molybdate and periodate reagents

Species of green coffee bean	Reagent and fraction measured	
	Molybdate reagent CQA and DiCQA	Periodate reagent CQA, DiCQA and FQA
Arabica	Reduce by 5 %	Reduce by 4,5 %
Arabusta	Reduce by 8 %	Reduce by 7 %
Robusta	Reduce by 10 %	Reduce by 8,25 %

The periodate reagent provides a simple, rapid and economic method for measuring virtually the whole CGA complex in green coffee beans. The procedure described in this paper, incorporating a correction to avoid overestimating the diCQA, is not subject to significant interference and has high repeatability and

reproducibility. It is clear therefore that the periodate reagent most closely approaches the ideal specified in the introduction for a routine CGA — determining reagent.

Calculated chlorogenic acids contents

In table III are presented the calculated mean values and ranges (\pm reproducibility standard deviations) for the appropriate CGA fractions after correction for diCQA inflation. The FQA contents have been calculated as the difference between the periodate and molybdate reagent results, as previously reported (4). The range in this case is based upon a reproducibility standard deviation of 13.3 % (4.6 + 8.7) since the estimated FQA contents are subject to the accumulated errors in both steps of the procedure. It is to be anticipated that the HPLC technique of Rees and Theaker (10) will give more precise values for FQA. The values quoted for the arabica and robusta coffee beans are consistent with previous reports (e.g. see reference 4) and as might be expected the values for the hybrid arabusta fall between the ranges of values associated with the parents.

The borate, molybdate and molybdate ascorbate reagents would be expected to show identical specificity. The values quoted in table III are consistent with this expectation, but it is possible that minor differences in response are masked by the relatively large reproducibility standard deviations obtained with the molybdate ascorbate and borate reagents. It follows therefore that the molybdate ascorbate reagent cannot have reduced much oxidised CQA and possibly not any. It is not possible to decide whether this is because there is no oxidised CQA present, or because the reagent is ineffective.

Table III. — Chlorogenic acid contents of three species of green coffee beans determined by five spectrophotometric reagents

Species	Spectrophotometric reagent and content of relevant CGA fraction mean and range (\pm reproducibility standard deviation), % DMB				
	Molybdate CQA and DiCQA	Molybdate ascorbate CQA and DiCQA	Borate CQA and DiCQA	Periodate CQA, DiCQA and FQA	Periodate minus molybdate FQA
Arabica	5.57 5.09 - 6.05	5.08 4.48 - 5.77	5.79 4.70 - 6.88	6.14 5.86 - 6.42	0.57 0.49 - 0.65
Arabusta	6.46 5.90 - 7.02	6.09 5.38 - 6.80	6.72 5.46 - 7.98	7.06 6.74 - 7.38	0.60 0.52 - 0.68
Robusta	6.90 6.30 - 7.50	6.82 6.02 - 7.62	6.89 5.59 - 8.19	7.80 7.44 - 8.16	0.90 0.78 - 1.02

Note : All values have been corrected using the factors shown in Table II.

It has been assumed that the correction factors for the borate and molybdate ascorbate reagent are the same as for the molybdate reagent

FUTURE WORK AND CONCLUSIONS

The results reported here are part of an on-going investigation. Future developments will include :

1) conversion of the molybdate reagent and periodate reagent into automated procedures ;

2) further examination of the TBA reagent since such a reagent might prove particularly useful for examining coffee-cereal products with a higher proportion of CoQA (17) ;

3) an investigation of CGA destruction during the grinding of green coffee beans ;

4) a comparison of various solvents for convenience and efficiency of extraction of CGA.

In conclusion of the six spectrophotometric reagents examined the periodate reagent most closely approaches the ideal for the measurement of total CGA in green coffee beans.

REFERENCES

1. M.N. CLIFFORD. — *Process Biochemistry*, 1975, **10** (2), 30 and (4), 13.
2. K. RUBACH. — *Beitrag zur Analytik der Hydroxyzimtsäureester des Kaffees*, Dissertation, Techn. Univ. Berlin, 1969.
3. J.W. CORSE, R.E. LUNDIN, A.C. WAISS. — *Phytochemistry*, 1965, **4**, 527.
4. M.N. CLIFFORD, J. WIGHT. — *J. Sci. Fd Agric.*, 1976, **27**, 73.
5. H. KWASNY. — Septième Colloque international sur la chimie des cafés, Hambourg, 9-14 juin 1975, p. 303-309, tabl., réf.
6. DIN 767, Part 1, October 1976, Deutsches Institut für Normung e.v. Berlin.
7. *Schweizerisches Lebensmittelbuch*, 5. Aufl., 2. Band, Kapitel 35, 11-13, Bern, 1967, supplement 1973.
8. M. HAUSERMANN, H. BRANDENBURGER. — *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 1961, **115**, 516.
9. E. SONDEHEIMER. — *Botanical Review*, 1964, **30**, 687.
10. D.I. REES, P.D. THEAKER. — Huitième Colloque scientifique international sur le café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, p. 79-84, tabl., réf.
11. W.S. PIERPOINT, R.J. IRELAND, J.M. CARPENTER. — *Phytochemistry*, 1977, **16** (1), 29.
12. C.C. LEVY, M. ZUCKER. — *J. Biol. Chem.*, 1960, **235** (8), 2418.
13. E.R. STEINER. — In: W.J. YOU DEN: Statistical Techniques for Collaborative Tests, A.O.A.C., Washington D.C., 1967.
14. K.G. SLOMAN, M. PANIO. — Technicon International Congress, *Advances in Automated Analysis*, 1969, **2**, 83.
15. O.G. VITZTHUM. — *Chemie und Bearbeitung des Kaffees*. In: *Kaffee und Coffein*, Springer Verlag, Berlin, 1975.
16. M.N. CLIFFORD. — Unpublished data.
17. T.A. KRUPNIKOVA, L.I. DRANUIK, M.Ya. SHKOLNIK. — *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, 1968, **180** (6), 103.

Acknowledgments. — The authors wish to thank M. R. Coste of IFCC for arranging to supply a sample of arabusta coffee beans. Dr. D. I. Rees of Lyons Central Laboratories for supplying the arabica and robusta coffee beans used in this investigation, and Mr. D. Redman of Grimsby College of Technology for his willing technical assistance. Dr. D. I. Rees kindly allowed the authors to use his results prior to their publication.

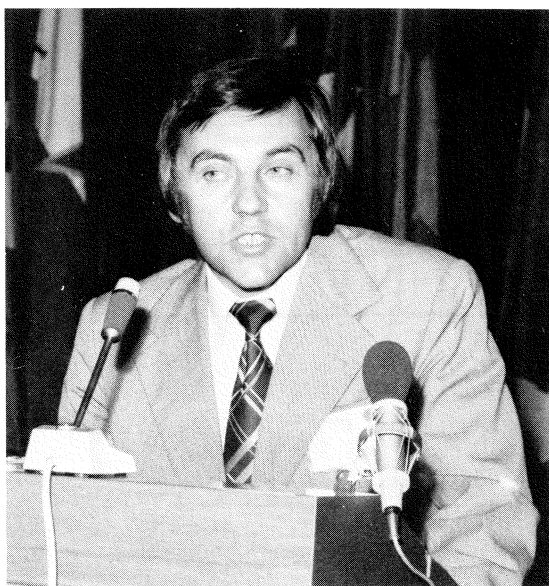
CLIFFORD (M.N.), STANIFORTH (P.J.). — **Comparaison critique de six méthodes spectrophotométriques pour doser les acides chlorogéniques dans les grains de café vert.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 109-113, tabl., réf.

Cet article définit la méthode analytique idéale pour le dosage des acides chlorogéniques dans les grains de café vert et évalue de façon critique six réactifs spectrophotométriques pour la manière avec laquelle ils permettent d'approcher le plus possible cet idéal.

CLIFFORD (M. N.), STANIFORTH (P.S.). — **A critical comparison of six spectrophotometric methods for measuring chlorogenic acids in green coffee beans.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 109-113, tabl., réf.

This paper defines the ideal analytical method for measuring chlorogenic acids in green coffee beans and critically assesses six spectrophotometric reagents for the closeness with which they approach this ideal.

GASCHROMATOGRAPHISCH-MASSENSPEKTROMETRISCHE UNTERSUCHUNG VON PHENOLEN UND DIPHENOLEN IN RÖSTKAFFEEES VERSCHIEDENER SORTEN



R. TRESSL

Lehrstuhl für Chemisch-technische Analyse der Technischen
Universität Berlin und Forschungsinstitut für
Chemisch-technische Analyse im Institut für Gärungsgewerbe
und Biotechnologie

EINLEITUNG

Unter den zahlreich identifizierten Aromakomponenten des Röstkaffees befinden sich auch viele Phenole, die sich durch phenolische, rauchige und gewürznelkenartige Geruchsqualitäten und sensorische Schwellenwerte im ppb-Bereich auszeichnen. Staudinger und Reichstein (1) identifizierten Guajakol, 2,3-Dihydroxyaceton und Resorcin in Röstkaffee mit konventionellen chemischen Methoden. Durch die Entwicklung der Gaschromatographie nahm die Zahl der charakterisierten Kaffeearomastoffe rasch zu und stieg bis 1975 auf etwa 500. Als Methode der Wahl erwies sich dabei die Kombination Kapillargaschromatographie-Massenspektrometrie. Stoll *et al.* (2) identifizierten zwanzig Phenole in einem Kaffeeöl und Vitzthum und Werkhoff (3) zeigten, daß einige dieser Komponenten schon im Rohkaffee enthalten sind. Bei den meisten dieser Untersuchungen wurden jedoch

keine Angaben über die Konzentrationen der bestimmten Aromastoffe gemacht. Eigene Untersuchungen ergaben, daß Phenole in vielen pflanzlichen Lebensmitteln durch thermische Fragmentierung der entsprechenden Phenolcarbonsäuren entstehen (4). Weiter konnten wir zeigen, daß auch viele Hefen und Bakterien Phenolcarbonsäuren in geruchs- und geschmacksaktive Phenole überführen (5). Als Precursor sind p-Cumar-, Ferula-, Kaffee-, Chinasäure und Chlorogensäuren im Rohkaffee enthalten. Sowohl die Kaffeessorte als auch die Röstbedingungen beeinflussen die Bildung von Phenolen in Röstkaffee. Es konnten etwa dreißig flüchtige Phenole, 10 Di- und Triphenole sowie einige Karamelkomponenten in verschiedenen Kaffeessorten identifiziert und (semi)quantifiziert werden. Über angewandte Methoden wird gesondert berichtet (6, 7).

FLÜCHTIGE PHENOLE IN ARABICA-, ROBUSTA- UND ARABUSTAKAFFEE

Die wasserdampf­flüchtigen Phenole werden durch Destillation abgetrennt, durch Flüssig-Flüssig-

Extraktion bei definiertem pH angereichert, adsorptionschromatographisch von Säuren und anderen Aro-

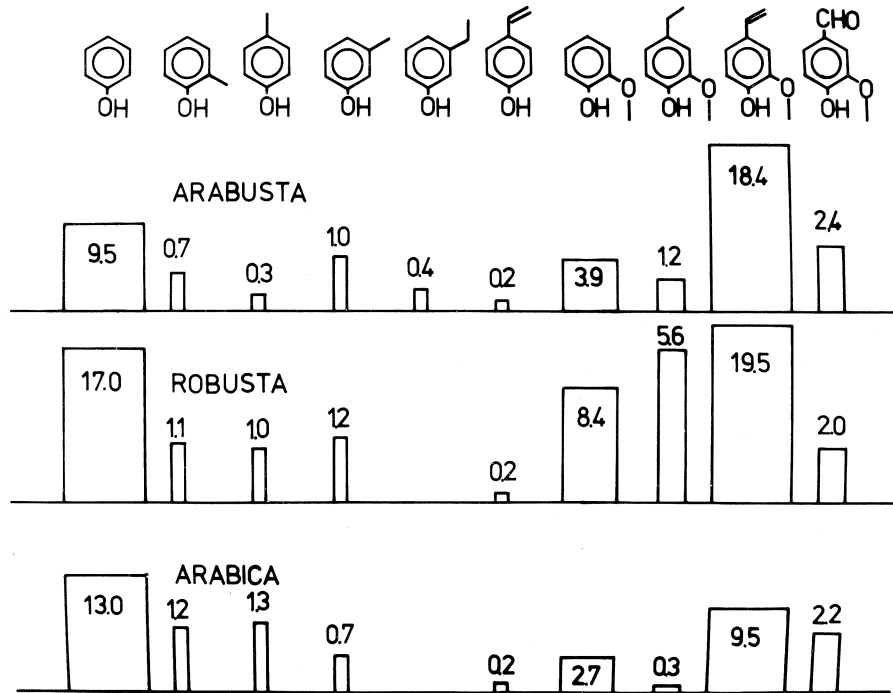


Abb. 1. — Flüchtige Phenole in Röstkaffees verschiedener Sorten (Zahlen entsprechen ppm)

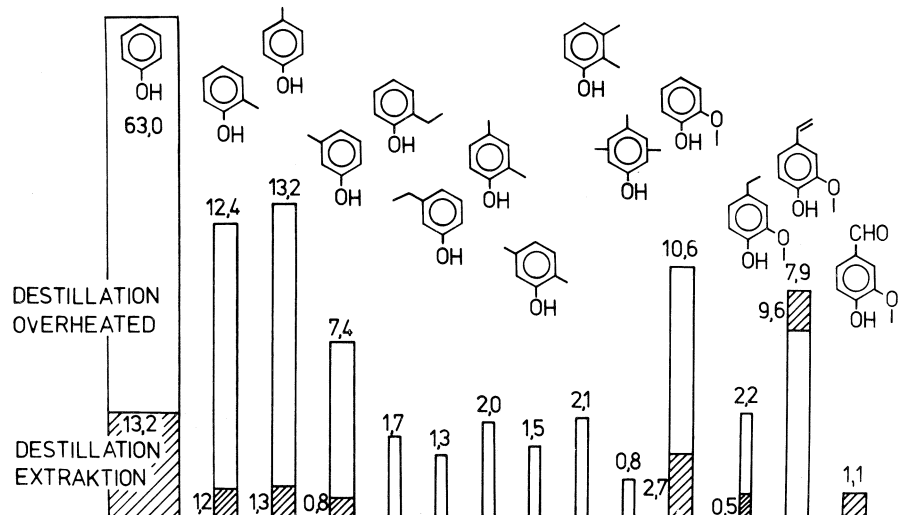


Abb. 2 — Flüchtige Phenole in normal und stark geröstetem Arabikakaffee (schraffierte Flächen = normal geröstet ; Zahlen entsprechen ppm)

mastoffen getrennt und schließlich mit der Methodik Kapillargaschromatographie-Massenspektrometrie untersucht. Alkylsubstituierte Monophenole und 2-Methoxyphenole werden dabei mit einer Wiederfindungsrate von 70 bis 90 % erfaßt. Die Sorten Arabica, Robusta und das neue Hybrid Arabusta (Elfenbeinküste), unter gleichen Bedingungen geröstet, wurden uns freundlicherweise von Dr. Vitzthum, Forschungsabteilung Hag, Bremen, zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 zusammengefaßt. Man erkennt, daß Röstkaffee etwa zehn flüchtige Phenole enthält, mit den Hauptkomponenten 4-Vinylguajakol, 4-Äthylguajakol, Guajakol und Phenol. Vanillin ist kaum wasserdampflich und wurde durch direkte Extraktion angereichert und gaschromatographisch bestimmt. Die Schwellenwerte der Phenole variieren von 5 ppb für 4-Vinylguajakol bis 50 ppb für Kresole, so daß sie zum Aroma des Kaffees beitragen. Aufgrund ihres hydrophilen Charakters sind sie auch im Filterkaffee und in Instantkaffee enthalten, wie entsprechende Untersuchungen zeigten. Aus Abb. 1 ist ersichtlich, daß Robusta die größten Mengen, insbesondere an 4-Vinylguajakol, 4-Äthylguajakol, Guajakol und Phenol besitzt, während Arabikakaffee die geringsten Phenolgehalte aufweist. Das neue Hybrid Arabusta nimmt eine Mittelstellung ein. Neben der Sorte beeinflussen auch die Röstbedingungen die Bildung dieser Aromastoffe. Abb. 2 zeigt die Verteilung von Phenolen in einem normal und stark gerösteten Arabikakaffee. Man erkennt, daß die Konzentrationen der meisten Verbindungen im stärker gerösteten Kaffee auf das fünf- bis zehnfache steigen. Nur 4-Vinylguajakol und Vanillin verhalten sich indifferent oder nehmen leicht ab. Außerdem entstehen zahlreiche Dimethyl-, Methyläthyl- und Trimethylphenole, die sonst nur im extremen Spurenbereich vorhanden sind. Als Precursors für Phenole sind Ferula- und p-Cumar-

säure anzunehmen. Abb. 3 zeigt Komponenten, die bei der thermischen Fragmentierung aus Ferulasäure entstehen. Analoge Schemata gelten auch für die Zersetzung von p-Cumar-, o-Cumar- und Sinapinsäure, wie die entsprechenden Modellversuche zeigten (4). Dimethylphenole und Methyläthylphenole wurden auch bei der pyrolytischen Zersetzung von Kohlenhydraten beobachtet (8). Thiophenole und Thioanisole, die von Stoll *et al.* (2) in Röstkaffee identifiziert worden sind, konnten bei unseren Untersuchungen nicht berücksichtigt werden, da sie nur in sehr geringen Konzentrationen auftreten.

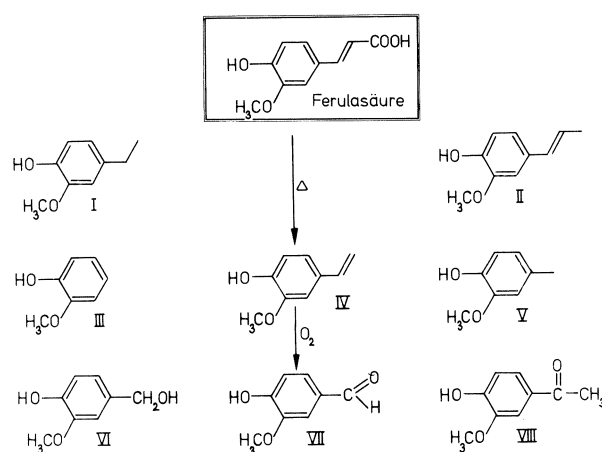


Abb. 3 — Thermische Fragmentierung von Ferulasäure beim Erhitzen

I) 4-Äthylguajakol, II) Isoeugenol, III) Guajakol, IV) 4-Vinylguajakol, V) 4-Methylguajakol, VI) Vanillinalkohol, VII) Vanillin, VIII) Acetovanillon

DI- UND TRIPHENOLE IN ARABICA-, ROBUSTA- UND ARABUSTAKAFFEE

Untersuchungen von Högl (9) ergaben, daß Röstkaffee Brenzkatechin, 4-Vinylbrenzkatechin, Pyrogallol und Hydrochinon enthält. Diese Verbindungen entstehen bei der thermischen Zersetzung von Chlorogensäure. Sie sind aufgrund ihrer hydrophilen Eigenschaften nicht wasserdampflich und lassen sich nicht unterivatisiert gaschromatographisch-massenspektrometrisch untersuchen. Nach Abtrennen der flüchtigen Phenole durch Destillation wird der Rückstand mit Pentan entfettet, mit Pentan/Äther extrahiert, der Extrakt über Na_2SO_4 getrocknet, mit BSTFA silyliert und mit der Methodik GC-MS untersucht. Sechs Diphenole und fünf Karamelkomponenten konnten erstmals in Röstkaffee identifiziert und größenordnungsmäßig bestimmt werden. Die Wiederfindungsraten betragen 50 % für Pyrogallol und 70 bis

80 % für die übrigen Komponenten. Über diese Ergebnisse wird gesondert berichtet.

Abb. 4 (S. 118) zeigt die Verteilung von Di- und Triphenolen in Arabica-, Robusta- und Arabustakaffees. Man erkennt, daß auch hier Robusta die höchsten Konzentrationen besitzt, während das neue Hybrid die niedrigsten Werte aufweist. Die bestimmten Mengen, insbesondere an Brenzkatechin und Pyrogallol sind erheblich. Der Einfluß der gewählten Röstbedingungen überwiegt den der Sorte. Lediglich 4-Äthylbrenzkatechin ist in Robustakaffee sehr viel stärker enthalten als in den übrigen. In stärker geröstetem Arabikakaffee stiegen die Konzentrationen von Phenol, Brenzkatechin, Hydrochinon, Pyrogallol und 4-Äthylbrenzkatechin stark an, während 4-Vinylbrenzkatechin, Vanillin, 3,4-Dihydroxybenzaldehyd

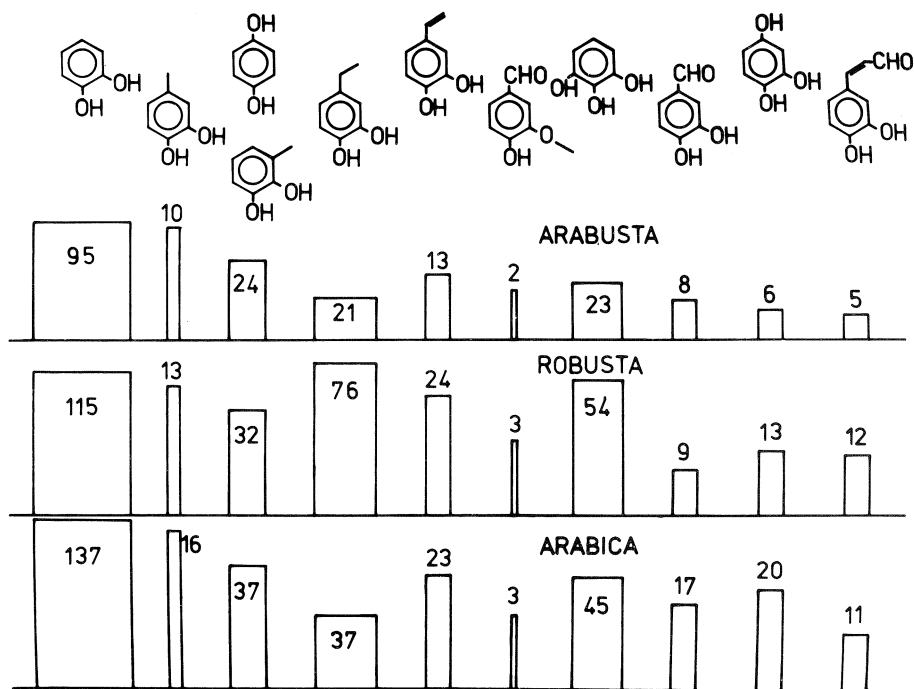


Abb. 4. — Di- und Triphenole in Röstkaffees verschiedener Sorten

und 3.4-Dihydroxymaldehyd sich indifferent verhielten oder gar leicht abnahmen. Modellversuche zeigten, daß Kaffeesäure und Chinasäure als Precursors dienen. Bei der thermischen Zersetzung von Kaffeesäure entstehen Brenzkatechin (58,0 %) und 4-Äthylbrenzkatechin (38,0 %) als Hauptkomponenten neben Spuren von 4-Vinylbrenzkatechin (0,8 %) und 3.4-Dihydroxymaldehyd (2 %). Chinasäure lieferte als Hauptkomponenten Phenol und Hydrochinon neben Resorcin, Pyrogallol, 1.2.4-Trihydroxybenzol und einige Phenolcarbonsäuren, wie aus Abb. 5 ersichtlich. Chlorogensäure lieferte in Modellzersetzungen nur Phenol als konzentrationstärkste Verbindung, während die übrigen Derivate der Kaffee- bzw. Chinasäure nur als Spuren auftraten. Offensichtlich ist zur Bildung dieser Phenole eine hydrolytische Spaltung der Chlorogensäure erforderlich. Einige der alkylsubstituierten Brenzkatechine besitzen rauchige Aromaten, doch liegen ihre Schwellenwerte deutlich höher als die der flüchtigen Phenole. Aufgrund ihres hydrophilen Charakters gelangen sie in Filterkaffee und werden in Kaffee-Extrakten angereichert. Sie tragen zum Aroma und zum Geschmack von Röstkaffee bei. Inwieweit sie dessen Bekömmlichkeit beeinflussen, ist augenblicklich nicht geklärt.

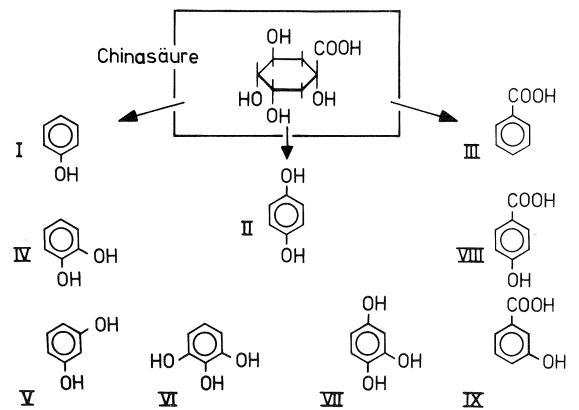


Abb. 5. — Thermische Fragmentierung von Chinasäure beim Erhitzen

I) Phenol, II) Hydrochinon, III) Benzosäure, IV) Brenzkatechin, V) Resorcin, VI) Pyrogallol, VII) 1.2.4-Trihydroxybenzol, VIII) 4-Hydroxybenzoesäure, IX) 3-Hydroxybenzoesäure

KARAMELKOMPONENTEN IN ARABICA-, ROBUSTA- UND ARABUSTAKAFFEES

Bei der Untersuchung von Diphenolen und Triphenolen in Röstkaffee identifizierten wir auch einige Komponenten mit karamelartigem Aromacharakter, die sich aufgrund ihres hydrophilen Verhaltens nur schwer bestimmen lassen. Einige dieser Komponenten sind in Abb. 6 zusammengefaßt. Sie werden karamelartig empfunden, wirken aber auch aromaverstärkend und antioxidantisch. Maltol wurde schon 1925 von Reichstein und Staudinger (1) nachgewiesen, Cycloten konnte von Vitzthum und Werkhoff (10) erstmals bestimmt werden. Die übrigen Komponenten sind unseres Wissens erstmals in Röstkaffee identifiziert worden. Cycloten hat zusätzliche Bedeutung als Vorstufe bicyclischer Pyrazine, die zahlreich in Röstkaffee vorkommen (11). Die Geruchschwelle von Furaneol wurde von Re *et al.* (12) mit 100 ppb, die Geschmackschwelle mit nur 30 ppb ermittelt. Bei höheren Konzentrationen tritt der karamelartige Aromacharakter gegenüber dem von verbranntem Zucker zurück, während im Bereich der Geruchsschwellenwerte fruchtartige Aromanoten empfunden werden. Bemerkenswert ist der gleichartige Aromaeindruck dieser Verbindungen, die durch die planare Anordnung von Carbonylgruppe, enolischer Hydroxylgruppe und Methylgruppe hervorgerufen wird, die sensorische Wahrnehmung hier also mit der stereochemischen Anordnung weniger Strukturelemente korreliert.

Die Tabelle I zeigt die Verteilung dieser Komponenten in Robusta, Arabica und Arabusta. Man erkennt, daß sich die unter gleichen Bedingungen gerösteten Kaffeesorten deutlich unterscheiden. Auch hier fügt sich das neue Hybrid gut zwischen Arabica und Robusta ein. Arabica-Kaffee weist höhere Konzentra-

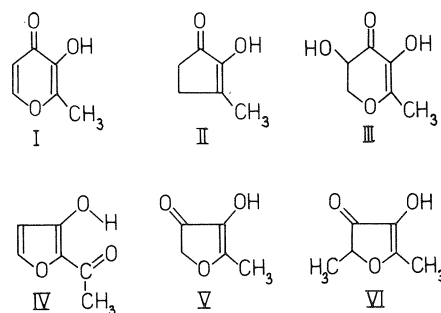


Abb. 6. — Komponenten mit karamelartigem Aromacharakter

I) Maltol, II) Cycloten, III) 5-Hydroxy-5.6-dihydromaltol, IV) Isomaltol, V) 5-Methyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon, VI) 2.5-Dimethyl-4-hydroxy-3 (2H)-furanon (« Furaneol »)

tionen an Furaneol, Äthylfuraneol, Isomaltol, Cycloten und 5-Hydroxy-5.6-dihydromaltol auf als Robusta. Robusta-Kaffee zeigt dagegen die größten Gehalte an Maltol. Höhere Röstbedingungen bewirkten keine Zunahme der Karamelkomponenten, doch werden Furaneol, Äthylfuraneol und 5-Hydroxy-5.6-dihydromaltol offensichtlich zersetzt. Alle in Tabelle I enthaltenen Komponenten liegen in relativ hohen Konzentrationen in Röstkaffee vor und tragen zu Aroma und Geschmack bei. Aufgrund ihres hydrophilen Verhaltens gelangen sie in Filterkaffee und werden in Kaffee-Extrakten angereichert.

Tabelle I. — Gaschromatographisch-massenspektrometrisch charakterisierte Furan- und Pyronkomponenten in Röstkaffee (ppm)

Komponente	¹ OV-101	M-TMS	Arabica	Arabusta	Robusta
1 Furfurylalkohol	987	170	300	150	520
2 Furancarbonsäure	1.118	184	80	50	55
3 HMF	1.295	198	35	30	10
4 Furaneol*	1.166	200	50	35	25
5 Äthylfuraneol*	1.249	214	8	4	2
6 Cycloten	1.187	184	40	17	26
7 Isomaltol*	1.256	198	8	2	1,5
8 Maltol	1.271	198	39	20	45
9 5-Hydroxymaltol*	1.481	286	15	13	6
10 5-Hydroxy-5.6-dihydromaltol*	1.440	288	13	12	10

* Erstmals in Kaffee identifiziert

LITERATUR

1. H. STAUDINGER, T. REICHSTEIN. — DR-Pat. 489-613 (1925).
2. M. STOLL, M. WINTER, F. GAUTSCHI, J. FLAMENT, B. WILHALM. — *Helv. Chim. Acta*, **50**, 628 (1967).
3. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — 7. Internationales wissenschaftliches Kolloquium über Kaffee (Hamburg, 9.-14. Juni 1975), ASIC (Paris), S. 115.
4. R. TRESSL, T. KOSSA, R. RENNER, H. KÖPPLER. — *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.*, **162**, 123 (1976).
5. K. WACKERBAUER, T. KOSSA, R. TRESSL. — EBC-Proc. 16th Congr. Amsterdam 1977, 495.
6. R. TRESSL, K.G. GRÜNEWALD, H. KÖPPLER, R. SILWAR. — *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.*, **167**, 108 (1978).
7. R. TRESSL, D. BAHRI, H. KÖPPLER, A. JENSEN. — *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.*, **167**, 111 (1978).
8. W. BALTES. — 8. Internationales wissenschaftliches Kolloquium über Kaffee, Abidjan, 28. Nov.-3. Dez. 1977, ASIC (Paris), 1979, S. 85-96.
9. O. HÖGL. — *Mitt. Lebensm. Unters. Hyg.*, **49**, 433 (1958).
10. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — *J. Agr. Food Chem.*, **23**, 510 (1975).
11. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF, E. ABLANQUE. — 7. Internationales wissenschaftliches Kolloquium über Kaffee, Hamburg, 9.-14. Juni 1975, ASIC (Paris), 1976, S. 115-123.
12. L. RE, B. MAURER, G. OHLOFF. — *Helv. Chim. Acta*, **56**, 1882 (1973).

TRESSL (R.). — **Etude des phénols et diphénols des cafés torréfiés de différentes variétés par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 115-120, fig., tabl., réf.

Trente phénols ont été isolés du café torréfié par extraction-distillation, séparés d'autres substances aromatiques par chromatographie d'adsorption, caractérisés et estimés par chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse. Les diphénols et les constituants du caramel ont été étudiés sous forme de dérivés O-TMS après silylation. C'est le café Robusta qui contient les quantités de phénols les plus importantes, suivi du nouvel hybride Arabusta (Côte d'Ivoire) et de l'Arabica. En sus de la variété, les conditions de torréfaction jouent également un rôle sur le nombre et la quantité de composés phénoliques.

TRESSL (R.). — **Gaschromatographisch-massenspektrometrische Untersuchung von Phenolen und Diphenolen in Röstkaffees verschiedener Sorten.** VIII^e Colloque Scientifique international sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 115-120, fig., tabl., réf.

Dreißig Phenole wurden durch Destillation-Extraktion aus Röstkaffee isoliert, adsorptionschromatographisch von ande-

TRESSL (R.). — **Study of the phenols and diphenols in different varieties of roasted coffees by gas chromatography and mass spectrometry.** VIII^e Colloque Scientifique international sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 115-120, fig., tabl., réf.

Thirty phenols of roasted coffee were enriched by distillation-extraction, separated from other constituents by liquid-solid-chromatography, and characterized by means of GC-MS. Diphenols and caramel components were silylated and investigated as O-TMS-derivatives. Robusta coffee contained the highest amounts of phenols, trailed by Arabusta hybrid (Ivory Coast) and Arabica. The formation of phenols depends on the variety as well as on the roasting conditions.

ren Aromastoffen getrennt, durch GC-MS charakterisiert und größenordnungsmäßig bestimmt. Diphenole und Karamelkomponenten wurden nach Silylierung als O-TMS-Derivate untersucht. Robustakaffee enthielt die größten Mengen an Phenolen, gefolgt vom neuen Hybrid Arabusta (Elfenbeinküste) und Arabica. Neben der Sorte beeinflussen auch die Röstbedingungen Anzahl und Menge phenolischer Verbindungen.

LIQUID CHROMATOGRAPHIC COFFEE WAX ANALYSIS

P. FOLSTAR*, W. PILNIK, H.C. VAN DER PLAS

Agricultural University, Wageningen, The Netherlands

(*Laboratory of Food Chemistry, De Dreijen 12

In recent years the composition of coffee wax and coffee oil has been subject of our investigations (Folstar *et al.*, 1, 2, 3, 4). Thereby **coffee wax** is defined as the residue upon evaporation of the extraction liquid which has been obtained by treatment of unground green beans of normal moisture content (about 10 %) with halogenated hydrocarbons. **Coffee oil** is usually obtained by extraction of ground beans with petroleum ether (40-60 °C).

Coffee wax was found to consist of both petroleum ether soluble- and insoluble substances (Table I).

The **petroleum ether soluble part of the wax and wax-free oil** (oil, obtained from dewaxed beans) were investigated in groups of fatty acids, triglycerides and unsaponifiable matter (3). It has been shown that the difference between the chemical composition of the petroleum ether soluble part of coffee wax and wax-free coffee oil is obvious as far as the fatty acid composition is concerned: wax shows a high percentage of saturated higher fatty acids, whereas oil is rich in unsaturated acids. These differences were more prominent for the diterpenealcohol esters than for the triglycerides (1).

In the **petroleum ether insoluble part of the wax** N_β-alkanoyl-5-hydroxytryptamine (C-5-HT) has been found (3, 5, 6). According to Dickhaut (5) the fractionation of the petroleum ether insoluble substances on columns of silicagel and alumina is difficult because these substances were found to be unstable with these column materials. The affinity between the substances and the column materials mentioned and their instability on the column could be reduced by acetylation of the phenolic hydroxyl group. In this way Harms (6) succeeded in isolating C-5-HT as its acetyl derivate.

Mass spectrometric analysis of C-5-HT indicated the presence of three compounds derived from



P. Folstar

5-hydroxytryptamine in which one of the hydrogens of the primary aminogroup is replaced by an arachidoyl-(C₂₀-5-HT), behenoyl-(C₂₂-5-HT) and lignoceroyl-(C₂₄-5-HT) group; the ratio of these amides is 12:12:1 respectively [Harms (6), Harms & Wurziger (7)].

This study was done in order to develop a method for the fractionation of the petroleum ether insoluble substances in coffee wax without preceding derivatization. Moreover the composition of C-5-HT was studied by high-pressure liquid chromatography and a method for the determination of C₂₂-5-HT in green coffee beans was given.

Table I. — Composition (%) of coffee wax obtained from unground green beans by stirring and refluxing for 30 min with chloroform (Folstar, 3)

Amount of wax (% green bean on dry basis)	0.23	
Petroleum ether soluble part in the wax :	36.8	
Unsaponifiable matter		10.1
Fatty acids		23.9
Rest (mainly glycerol)		2.8
Petroleum ether insoluble part in the wax :	63.3	
C-5-HT		25.3
Rest		38.0

EXPERIMENTS AND DISCUSSION

Coffee wax was isolated from 2 kg of unground green beans (*C. arabica*, Santos coffee) by stirring and refluxing with chloroform for 30 min. After evaporation of chloroform the petroleum ether (40-60 °C) soluble substances were extracted from the wax by refluxing with the solvent for four times 15 min. The residue constitutes 3.2 g of petroleum ether insoluble material. It was adsorbed on an aliquot of polyamide using about 20 ml of a mixture of benzene : methanol = 1 : 1. After evaporation the material was brought on top of a polyamide column.

The column was prepared by pouring a slurry of 125 g of polyamide (Woelm 03282 or Riedel-de Haën 33612) in benzene into a glass column which provided a bed of 30 × 4.2 cm. The column was eluted with 500 ml of benzene which was continuously mixed with successively 4 l of ether, 2 l of ether : acetone = 3 : 1, 2 l of ether : acetone = 2 : 1, 2 l of ether : acetone = 1 : 1, 5 l of acetone, 2 l of acetone : ethanol = 19 : 1 and 2 l of ethanol using the system in fig. 1. The apparatus is a simplified form of the gradient mixer described by Dickhaut (5).

500 ml of benzene is put in a 1 l flask (b) which is connected with the column (c) by a siphon system. (a) is a closed system equipped with ground-glass joints. When the column is eluted the solvent in (b) and (c) drops below the end of the air-inlet tube (d) of (a). Thereupon the more polar solvent, which was previously introduced into (a) streams from (a) into (b) through (e) until the original level is reached again. The solvents are continuously mixed in (b) with a magnetic stirrer. In this way an elution-gradient with continuously increasing eluotropic strength was obtained.

The amounts of material present in the eluate were determined gravimetrically, collecting fractions of 250 ml. The fractionation pattern is illustrated in fig. 2. The recovery as determined from the total weight of the fractions was found to be 75 %.

Fraction A consists mainly of caffeine as indicated by thin-layer chromatographic comparison with a reference compound.

In **fraction B** only one spot was found by t.l.c. on silicagel 60 F254 (Merck 5715) with benzene : ethylacetate : acetic acid = 5 : 5 : 1 as solvent and detection under u.v. light at 254 nm. Both the i.r. spectrum and the mass fragmentation pattern are fully consistent with those of C-5-HT. Fraction B was recrystallized from acetone and used for further experiments.

The **fractions C, D and E** contain the so-called « Begleitsubstanzen » (Harms, 6). The structures of these compounds have not yet been elucidated, but preliminary experiments indicate a close similarity with the structure of C-5-HT (Folstar, 3).

Next C-5-HT, which was obtained as described before, was analysed by high pressure liquid chromatography (h.p.l.c.) using a Spectra Physics 3500B liquid chromatograph equipped with UV-VIS 770 variable wavelength detector. A 10 µl sample of 0.1 % of C-5-HT in methanol was injected on a 25 × 0.46 cm

column with LiChrosorb 10RP18 and methanol as mobile phase at 1 ml/min ; detection was carried out by measuring the extinction of the eluate at 278 nm. The chromatogram is shown in fig. 3.

The peaks I ($k' = 1.4$), II ($k' = 2.1$) and III ($k' = 3.1$) were collected on semi-preparative scale. Mass

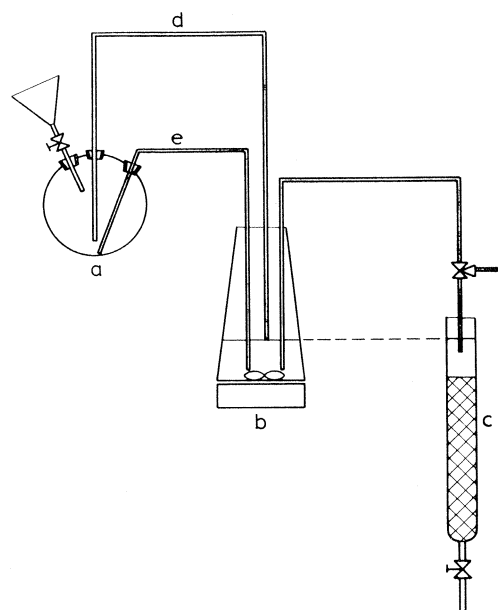


Fig. 1. — All-glass system for gradient elution with a solvent mixture of continuously increasing eluotropic strength (for explanation a-e is referred to the text).

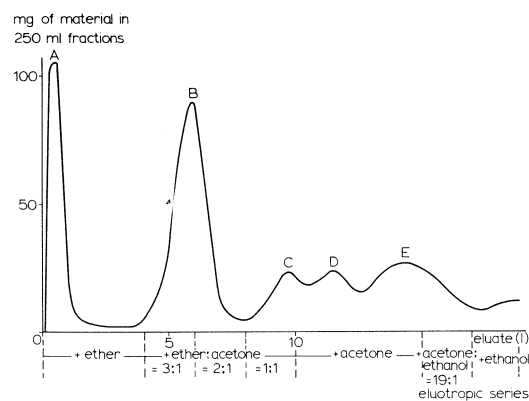


Fig. 2. — Fractionation of the petroleum ether insoluble substances in coffee wax on a polyamide column eluted with a continuous solvent gradient.

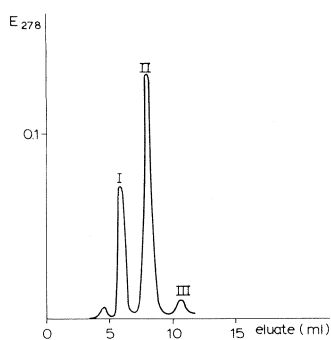


Fig. 3. — Fractionation of C-5-HT by high pressure liquid chromatography on a reversed phase system.

fragmentation patterns showed that these peaks were identical with C₂₀-5-HT, C₂₂-5-HT and C₂₄-5-HT respectively. The ratio of these compounds, as calculated from the areas of the peaks in the chromatogram, was found to be 33 : 63 : 5 %. During the completion of this work Hunziker & Miserez (8) also published this method of separation. Using methanol : water = 95 : 7 as mobile phase they found relatively large k' values. We also observed an increase of k' as a result of the addition of water to the mobile phase.

The high pressure liquid chromatographic method, mentioned before, was tested for its ability to serve as method for the determination of the amount of wax present in green beans (usually expressed as p.p.m. C-5-HT).

Since C₂₂-5-HT was found to be the component with the highest concentration it was chosen as parameter for quantitative analysis.

At first a standard response curve of the area of the C₂₂-5-HT peak in the chromatogram against the concentration of C₂₂-5-HT was established (a pure

standard of C₂₂-5-HT was obtained from Dr. G. H. D. v. d. Stegen, D. E. J. International Research Comp. B. V., Utrecht, The Netherlands).

At an injection volume of 10 µl this curve was found to be linear between concentrations of 0.1 and 15 mg of C₂₂-5-HT/25 ml of solvent. Using 10 g of green coffee beans for an analysis this means that the response curve is linear for amounts between 10 and 1,500 p.p.m. in coffee.

Next the standard deviation and recovery of the method were studied. 10 g of unground green coffee beans were extracted with methylenechloride for 4 h in a Soxhlet apparatus siphoning 5-6 times/h. Before extraction the Soxhlet apparatus was flushed with nitrogen. Next the solvent was evaporated in a rotating vacuum evaporator at 30 °C. The evaporator was also briefly flushed with nitrogen before evaporation. After evaporation the dry residue was immediately dissolved in 2-3 ml of toluene : methanol = 4 : 1 and purified over alumina (van der Stegen & Noomen, 9). The eluate (25 ml) was analysed by h.p.l.c. as mentioned before.

The analysis was done with and without addition of C₂₂-5-HT standard compound. This standard compound was added to the flask of the Soxhlet apparatus before extraction. In both series six determinations were made. The results are given in Table II.

The standard deviation was found to be below 3 % and the recovery was 100 %. After collecting the C₂₂-5-HT peak on semi-preparative scale t.l.c. of the residue upon evaporation indicated that no other spots but the C₂₂-5-HT spot were apparent in this h.p.l.c. peak.

If necessary the amount of C-5-HT can be calculated from the ratio of the area of the C₂₂-5-HT peak and those of the C₂₀-5-HT and C₂₄-5-HT peaks. The analysis of C₂₂-5-HT by h.p.l.c. is a rather fast and very precise assay. Further experiments have to be done with roasted and ground samples of coffee beans.

Table II. — C₂₂-5-HT analysis in unground green beans (p.p.m. on dry basis)

Sample	Content ppm	Standard deviation* ppm	Recovery %
Without standard	266	± 7 (= 2.6 %)	-
With 1.38 mg C ₂₂ -5-HT	404	± 11 (= 2.7 %)	100

* n = 6

REFERENCES

1. P. FOLSTAR, W. PILNIK, J. G. DE HEUS, H. C. VAN DER PLAS. — The composition of the fatty acids in coffee oil and coffee wax. *Lebensmittel-Wiss. u.-Technol.*, **8**, 286-288 (1975).
2. P. FOLSTAR, W. PILNIK, J. G. DE HEUS, H. C. VAN DER PLAS. — On the analysis of oil in green coffee beans. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, **66**, 502-506 (1975).
3. P. FOLSTAR. — The composition of wax and oil in green coffee beans. Dissertation Wageningen. Agricultural Research Report 854, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen (1976).
4. P. FOLSTAR, H. C. VAN DER PLAS, W. PILNIK, J. G. DE HEUS. — Tocopherols in the unsaponifiable matter of coffee bean oil. *J. Agric. Food Chem.* **25**, 283-285 (1977).

5. G. DICKHAUT. — Über phenolische Substanzen in Kaffee und deren analytische Auswertbarkeit zur Kaffee-wachsbestimmung. Dissertation Hamburg (1966).
6. U. HARMS. — Beiträge zum Vorkommen und zur Bestimmung von Carbonsäure-5-hydroxytryptamide in Kaffeebohnen. Dissertation Hamburg (1968).
7. U. HARMS, J. WURZIGER. — Carbonsäure-5-hydroxytryptamide in Kaffeebohnen. *Z. Lebensmittelunters. Forsch.*, **138**, 75-80 (1968).

8. H. R. HUNZIKER, A. MISEREZ. — Bestimmung der 5-hydroxytryptamide in Kaffee mittels Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie. *Mitt. Geb. Lebensmittelunters. Hyg.*, **68**, 267-274 (1977).
9. G. H. D. VAN DER STEGEN, P. J. NOOMEN. — Mass-balance of carboxy-5-hydroxytryptamides (C-5-HT) in regular and treated coffee. *Lebensmittel-Wiss. u. Technol.*, **10**, 321-323 (1977).

FOLSTAR (P.), PILNIK (W.), VAN DER PLAS (H. C.). — **Analyse de la cire du café par chromatographie en phase liquide.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 121-124, fig., tabl., réf.

FOLSTAR (P.), PILNIK (W.), VAN DER PLAS (H. C.). — **Liquid chromatographic coffee wax analysis.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 121-124, fig., tabl., réf.

Les substances insolubles dans l'éther de pétrole de la cire des grains de café vert sont séparées par chromatographie sur colonne de polyamide sans passer par leurs dérivés. La fraction la plus importante de ces substances est constituée de N_β-alkanoyl-5-hydroxytryptamine (C-5-HT). La C-5-HT est analysée par chromatographie en phase liquide à haute pression sur une colonne de LiChrosorb 10 RP18. Le N_β-behenoyl-5-hydroxytryptamine, C₂₂-5-HT, en étant le principal composé, celui-ci est choisi comme paramètre pour l'analyse quantitative de la cire dans les grains de café vert.

The petroleum ether insoluble substances in wax from green coffee beans were fractionated without preceding derivatization by polyamide column chromatography. The main fraction of these substances was found to consist of N_β-alkanoyl-5-hydroxytryptamine (C-5-HT). C-5-HT was fractionated by high-pressure liquid chromatography (h.p.l.c.) on a LiChrosorb 10 RP18 column; the amount of the main peak (N_β-behenoyl-5-hydroxytryptamine : C₂₂-5-HT) as determined by h.p.l.c. can be used as an analytical parameter for the amount of wax present in green coffee beans.

ALGUNOS METODOS PARA EL ESTUDIO DEL CONTENIDO EN CAFEINA DE MUESTRAS VARIADAS EN DIFERENTES CONDICIONES

M. QUIJANO-RICO, M.T. ACERO F.
E. MORALES **, C. PIEDRAHITA **

LIQC *, Bogotá, Colombia

Para el monitoreo continuo de aerosoles de cafeína en corrientes gaseosas la combinación de un haz laser como fuente luminosa con una fotocélula como detector constituye una solución económica y sensible.

Introducción

Para la determinación del contenido en cafeína son usualmente necesarias tres operaciones: extracción, purificación y detección. Los métodos que se basan en la cromatografía en fase gaseosa y líquida permiten realizar en el mismo aparato, en línea, la purificación y la detección de la cafeína contenida en el medio de extracción, por lo general, un líquido. La extracción es por lo tanto, la primera etapa en el análisis de la cafeína.

La separación de la cafeína en fase gaseosa por el método de pirohidrólisis suave desarrollado en nuestro laboratorio, para muestras de cafés y tés, es rápida y bastante selectiva. La purificación ulterior es relativamente fácil.

Este método de separación saca partido de propiedades de la cafeína como su estabilidad química y su volatilidad en condiciones apropiadas. Es combinable con varios métodos de detección, por ejemplo, yodo-titrimetría, espectrofotometría U.V., incluso en línea, lo cual hace posible el estudio de la evolución del contenido en cafeína de una muestra simultáneamente con la separación.

En casos especiales se puede tener la cafeína ya separada, en condiciones particulares, por ejemplo, bajo forma de un aerosol. Aquí el uso de la combinación laser-fotocelda hace posible el monitoreo continuo

(*) LIQC, Laboratorio de Investigaciones sobre la Química del Café y de los Productos Naturales de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

(**) Monitoreo de aerosoles de cafeína en corrientes gaseosas.



M. Quijano-Rico

del aerosol en la corriente gaseosa con una sensibilidad importante. Para este fin se mide la intensidad de la luz dispersada.

Vamos a describir en este trabajo los métodos que hemos mencionado para el análisis de la cafeína.

Métodos

Método volumétrico de rutina

En general, los métodos instrumentales, pese a sus múltiples ventajas, necesitan aparatos costosos que deben contar con una infraestructura que no existe en todo laboratorio. En el método de detección más utilizado, el espectrofotométrico, el solo hecho de disponer del aparato detector, no excluye la necesidad de separar y purificar a la cafeína antes de poderla medir.

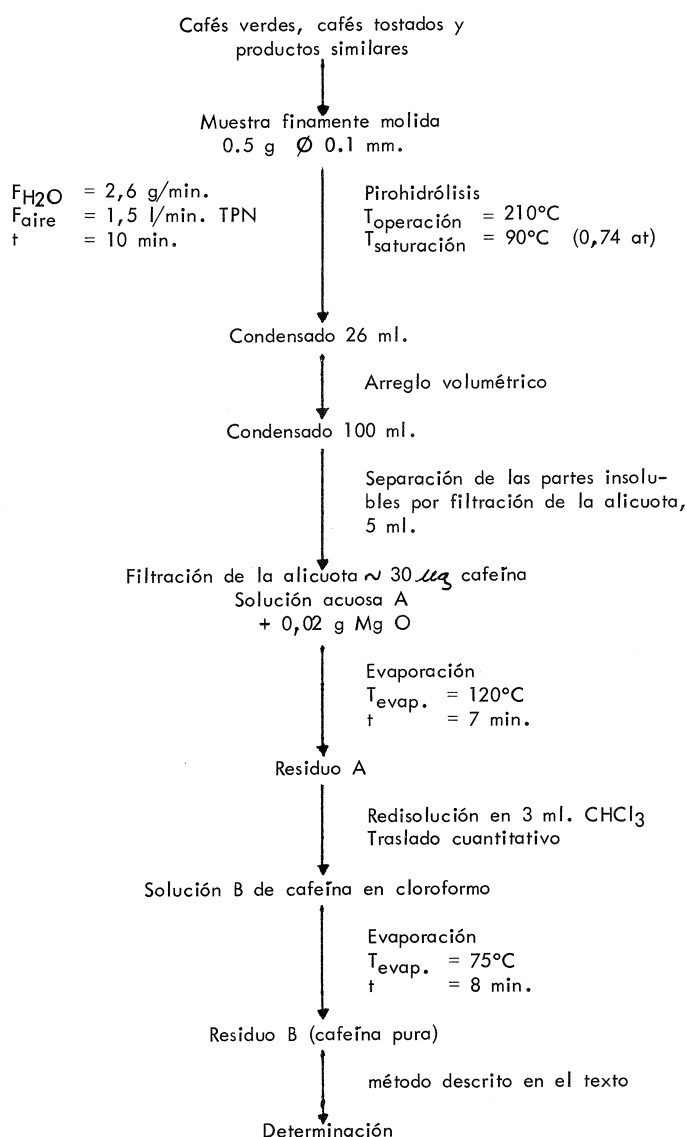


Fig. 1. — Esquema para la determinación del contenido en cafeína en muestras que necesitan la separación por pirohidrólisis

La separación, y en particular la purificación, son dispendiosas, pudiendo durar varias horas, además, las cantidades de reactivos necesarios, de pureza analítica, son considerables.

El método de separación de la cafeína por pirohidrólisis suave a 200 °C ya se describió en otra ocasión, Quijano-Rico *et al.* (1975).

La figura 1 esquematiza la marcha analítica de la separación y purificación hasta llegar a la cafeína de alta pureza, lista para ser determinada.

La determinación por volumetría, figura 2, se basa en la precipitación de la cafeína como hidroyoduro de cafeína con una solución de yodo en yoduro de potasio en medio sulfúrico. En nuestro caso el precipitado de hidroyoduro de cafeína se separa por filtración. Se elimina el exceso de yodo libre por lavado con solución de ácido sulfúrico y se descompone el hidroyoduro de

cafeína con agua. El yodo resultante se titula por medio de una microbureta con solución de tiosulfato de sodio, empleando almidón como indicador. El contenido se calcula a partir de una curva de calibración.

El equipo necesario para este tipo de determinación es en extremo sencillo y económico, está constituido por una microbureta, un embudo de vidrio sintetizado y una jeringa desechable de plástico. La figura 3 muestra el esquema del sistema de filtración que utilizamos.

Para el diseño del método en referencia se hizo en nuestro laboratorio un estudio sistemático de los parámetros de operación: cantidad mínima de cafeína detectable, concentración óptima del yodo en solución y del ácido sulfúrico, efectos de la temperatura y de la luz, velocidad de la reacción de formación y descomposición del hidroyoduro de cafeína. Este estudio aparece en otra parte, Quijano-Rico, Acero, Bonilla (1977).

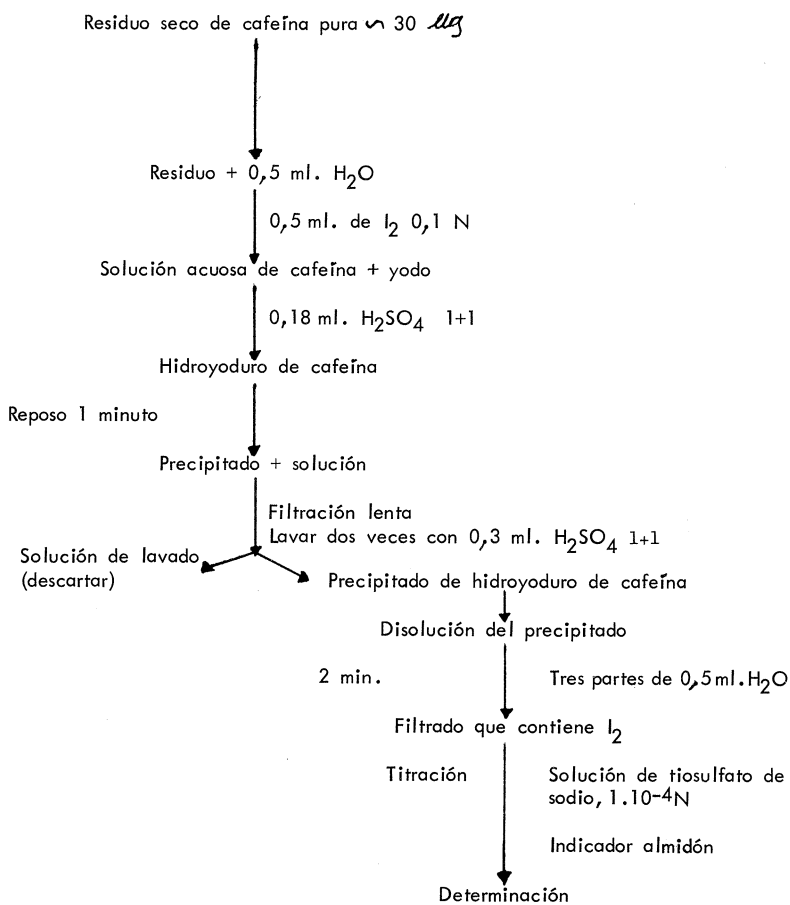


Fig. 2. — Esquema de la secuencia de operaciones utilizadas en la determinación por volumetría de la cafeína por yodometría

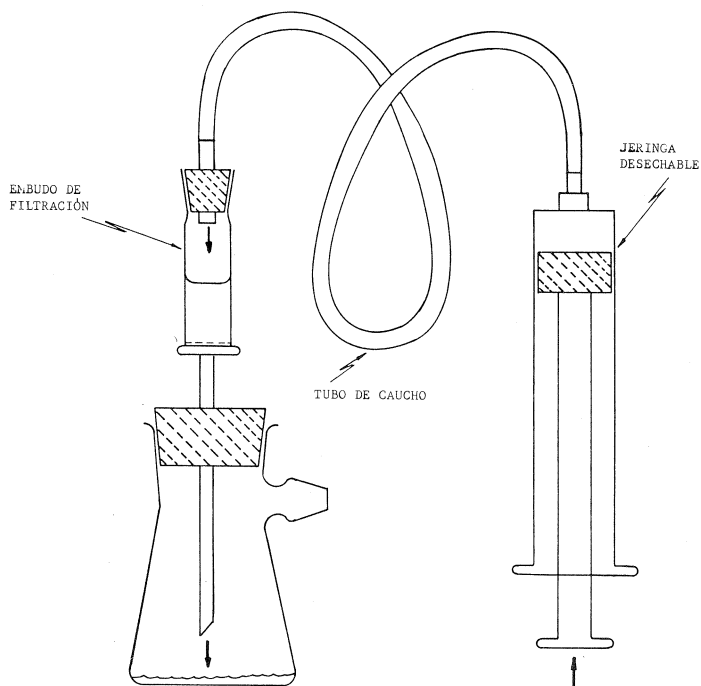


Fig. 3. — Esquema del sistema utilizado para la filtración y el lavado del precipitado del hidroyoduro de cafeína

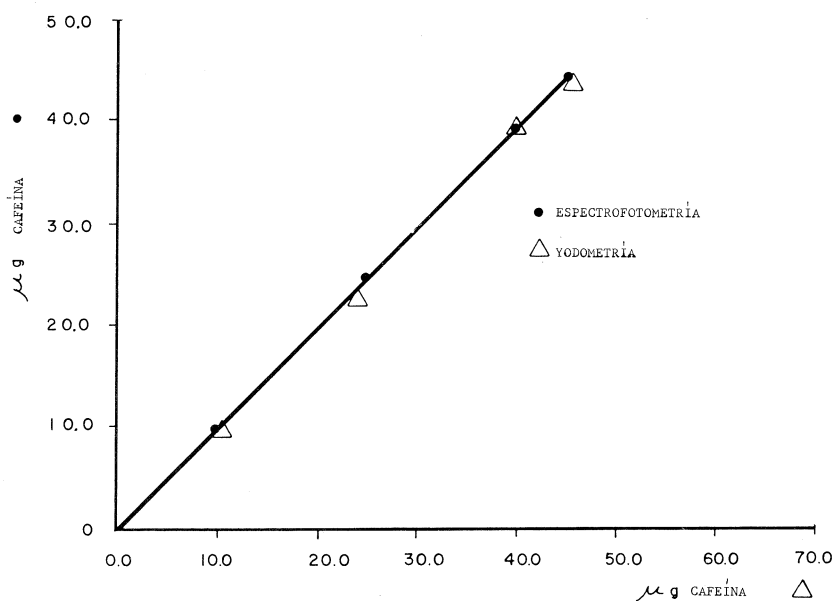


Fig. 4. — Curva comparativa de los métodos por espectrofotometría U.V. y yodométrico, cafeína pura sin tratamiento preliminar. (Todos los puntos, promedio de seis medidas.)

En la gráfica de la figura 4 se comparan las determinaciones por el método descrito y por espectrofotometría U.V. de cantidades crecientes de cafeína.

La separación previa por pirohidrólisis es necesaria únicamente en el caso de las muestras en que la cafeína es poco « móvil » y está acompañada de sustancias que dificultan la purificación ulterior como en los cafés verdes.

Para aquellas muestras tales como los extractos de café líquidos y secos, bebidas desaliterantes, etc., la etapa de separación por pirohidrólisis no es necesaria. Se puede proceder directamente a la purificación y determinación, de acuerdo con la marcha analítica esquematizada en la figura 5.

Algunos ejemplos de aplicación que se explican por sí mismos, se presentan en las tablas I a IX.

El método es bastante sensible, es posible determinar sin problemas cantidades de cafeína a partir de los 10 μg.

Como método de rutina, con o sin separación por pirohidrólisis, empleando, dado el caso, un horno multimuestras, se pueden hacer varias determinaciones en serie para el control rápido del contenido en cafeína. Un operador entrenado puede hacer cuatro determinaciones en 30 minutos.

La firma H.W. Schmidt, 6500 Mainz, RFA, ofrece un horno multimuestras y la vidriería necesaria utilizable para la determinación rutinaria del contenido en cafeína por el método descrito.

Separación de la cafeína en fase gaseosa por pirohidrólisis y determinación simultánea, en línea, por espectrofotometría U.V. con cubeta de flujo

Para el desarrollo de trabajos de investigación sobre la química y fisicoquímica de la cafeína contenida en el café o para el control especializado, el monitoreo

continuo permite seguir en detalle la evolución del contenido en cafeína.

La separación en fase gaseosa por pirohidrólisis es adaptable fácilmente a la separación en continuo de la

Tabla I. — Café verde (variedad *arábica*, caturra rojo). Determinación del contenido en cafeína por el método yodovolumétrico descrito, con separación por pirohidrólisis. Análisis estadístico.

N	Cafeína g/100 g peso seco	E	E ²
1	1,24	0,00	0,0000
2	1,27	0,03	0,0009
3	1,24	0,00	0,0000
4	1,22	0,02	0,0004
5	1,27	0,03	0,0009
6	1,24	0,00	0,0000

$$\sigma = 0,013 \quad \sigma_{rel.} = 2 \% \quad \bar{x} = 1,24$$

Tabla II. — Café verde (variedad *arábica*, caturra rojo). Comparación del contenido en cafeína obtenido por el método yodovolumétrico descrito con separación por pirohidrólisis y por el método Levine-ISO.

N	Contenido en cafeína g/100 g peso seco método descrito	Contenido en cafeína g/100 g peso seco método Levine - ISO
1	1,24	1,25
2	1,27	1,18
3	1,24	1,30
4	1,22	
5	1,27	
6	1,24	

$$\bar{x} = 1,24$$

$$\bar{x} = 1,25$$

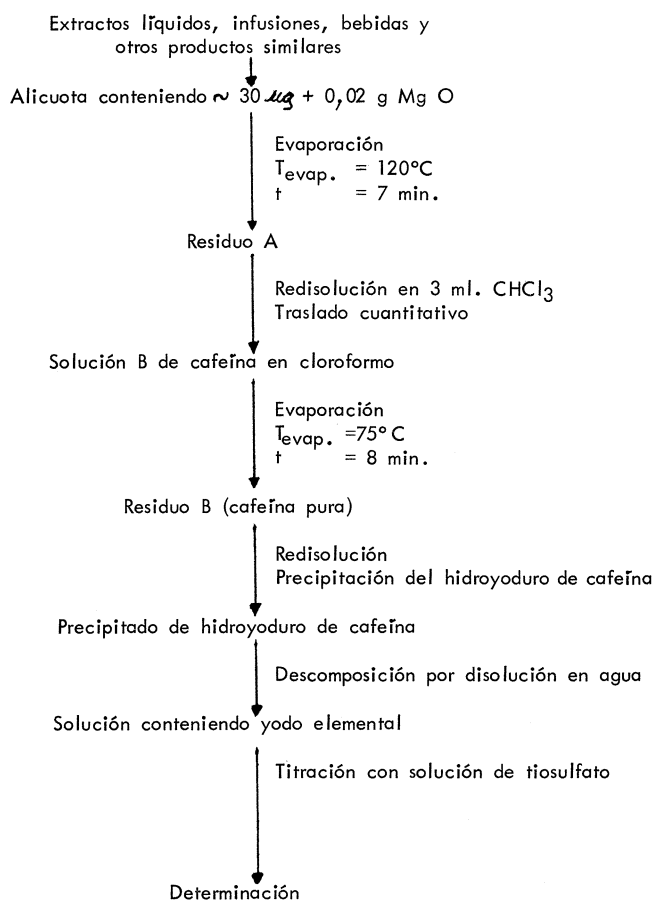


Fig. 5. — Esquema de la determinación del contenido en cafeína en muestras que necesitan únicamente la purificación

Tabla III. — Extracto de café liofilizado. Contenido en cafeína de la solución acuosa, determinado por el método yodovolumétrico descrito, después de la purificación de la cafeína.

N	Contenido en cafeína g/100 g peso seco
1	3,4
2	3,5
3	3,3
4	3,4
5	3,3
6	3,5

$\sigma = 0,0283$ $\sigma_{\text{rel.}} = 2 \%$ $\bar{x} = 3,4$

Tabla V. — Contenido en cafeína de un extracto de café líquido industrial, determinado por el método yodovolumétrico descrito, después de la purificación de la cafeína.

N	Contenido en cafeína g/100 g
1	1,33
2	1,35
3	1,36
4	1,40
5	1,37
6	1,35

$\sigma = 0,025$ $\sigma_{\text{rel.}} = 2 \%$ $\bar{x} = 1,36$

Tabla IV. — Extracto de Café descafeinado seco. Contenido en cafeína de la solución acuosa, determinado por el método yodovolumétrico descrito, después de la purificación de la cafeína.

N	Contenido en cafeína g/100 g peso seco
1	0,162
2	0,173
3	0,166
4	0,162
5	0,167
6	0,173

$\sigma = 0,005$ $\sigma_{\text{rel.}} = 0,5 \%$ $\bar{x} = 0,168$

Tabla VI. — Contenido en cafeína de un extracto de café líquido industrial determinado por el método yodovolumétrico descrito, después de la purificación de la cafeína.

N	Contenido en cafeína mg/l
1	24,2
2	26,2
3	25,5
4	24,0
5	25,0
6	26,1

$\sigma = 0,949$ $\sigma_{\text{rel.}} = 3,9 \%$ $\bar{x} = 25,17$

Tabla VII. — Contenido en cafeína de una infusión de té determinado por el método yodovolumétrico descrito, después de la purificación de la cafeína.

N	Contenido en cafeína g/100 g peso seco
1	1,85
2	1,95
3	2,00
4	1,90
5	1,94
6	1,90

$$\sigma = 0,052 \quad \sigma_{\text{rel.}} = 4 \% \quad \bar{x} = 1,92$$

Tabla IX. — Comparación de los valores obtenidos por el contenido en cafeína de un extracto de café liofilizado utilizando el método yodovolumétrico descrito y el método espectrofotométrico.

Método descrito	Espectrofotometría
3,4	3,36
3,5	3,45
3,3	3,28
3,4	3,38
3,3	3,28
3,5	3,40

Tabla VIII. — Comparación de los valores obtenidos para el contenido en cafeína de diferentes cafés utilizando el método yodovolumétrico con los valores de los contenidos obtenidos con el método Levine-ISO.

Muestra	Cafeína g/100 g peso seco	
	Método descrito	Ensayo en colaboración ISO (Levine)
Café verde, Arabica	1,24	1,08 - 1,38
Extracto seco decafeinado	0,168	0,100 - 0,195
Café liofilizado	3,4	3,10 - 3,75

cafeína contenida en muestras sólidas por ejemplo, café verde, y al monitoreo continuo de la cafeína separada. En nuestro laboratorio este monitoreo se realiza en fase líquida por medida de la extinción a 273 nm del condensado de la pirohidrólisis, el cual fluye a través de una cubeta de circulación. El detector, en este caso está constituido por un espectrofotómetro Zeiss PM2 DLC, al cual se adapta una microcubeta de circulación Zeiss MZ 3 D.

La interferencia de impurezas que absorben en la misma longitud de onda se elimina en línea.

La figura 6 muestra en detalle el sistema de separación por pirohidrólisis. En la figura 7 se aprecia el sistema conjunto de separación, detección y registro. En estas figuras los números corresponden a las siguientes partes :

- 1) generador de vapor con manto calefactor ;
- 2) precalentador de los gases de pirohidrólisis ;
- 3) horno tubular ;
- 4) condensador de alto rendimiento ;
- 5) espectrofotómetro con microcubeta de circulación ;
- 6) regulador del flujo de la muestra ;
- 7) regulación de las temperaturas del horno y del precalentador ;
- 8) registrador.

En condiciones de operación determinadas la muestra de café cede a la corriente gaseosa a temperatura constante una cantidad de cafeína por unidad de tiempo que depende esencialmente de la concentración de la cafeína en la muestra, de su coeficiente de

actividad, de la velocidad de liberación de la cafeína químicamente ligada, de la difusividad de la cafeína desde el interior de las partículas de la muestra, hasta la superficie y del tamaño de tales partículas, Quijano-Rico (1978).

El detector da señales proporcionales al flujo de cafeína que pasa por él en cada instante, el registro de las cuales produce un pico análogo a los que se obtienen en cromatografía. El área bajo el pico es proporcional al contenido en cafeína, de manera que si se utiliza para el cálculo, es posible usar como patrón cafeína pura para determinar el contenido en cafeína de cualquier muestra. Para muestras idénticas, la altura del pico también puede usarse para calcular el contenido en cafeína, siempre y cuando el patrón esté constituido por una muestra idéntica de contenido en cafeína conocido.

De la figura 8 se puede sacar una idea de la linealidad del método aplicado al análisis del contenido en cafeína de muestras de té.

En la figura 9 se muestra el registro de la pirohidrólisis de un patrón de cafeína pura y de la cafeína contenida en dos muestras idénticas de café verde.

El registro de la cafeína contenida en una partícula de café arábica de $3 \cdot 10^{-3}$ g, que se observa en la figura 10, da una idea sobre la sensibilidad del método de pirohidrólisis-espectrofotometría U.V. en acople en línea.

En otro lugar se describen con mayor detalle este sistema y sus aplicaciones, Quijano-Rico y Acero (1978).

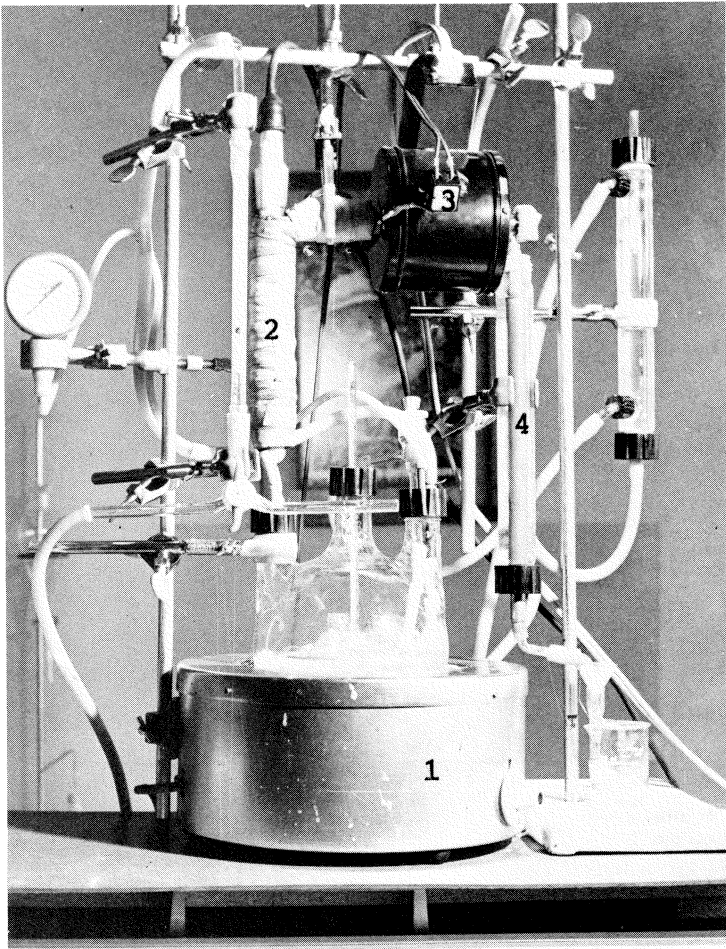


Fig. 6. — Sistema de separación por pirohidrólisis

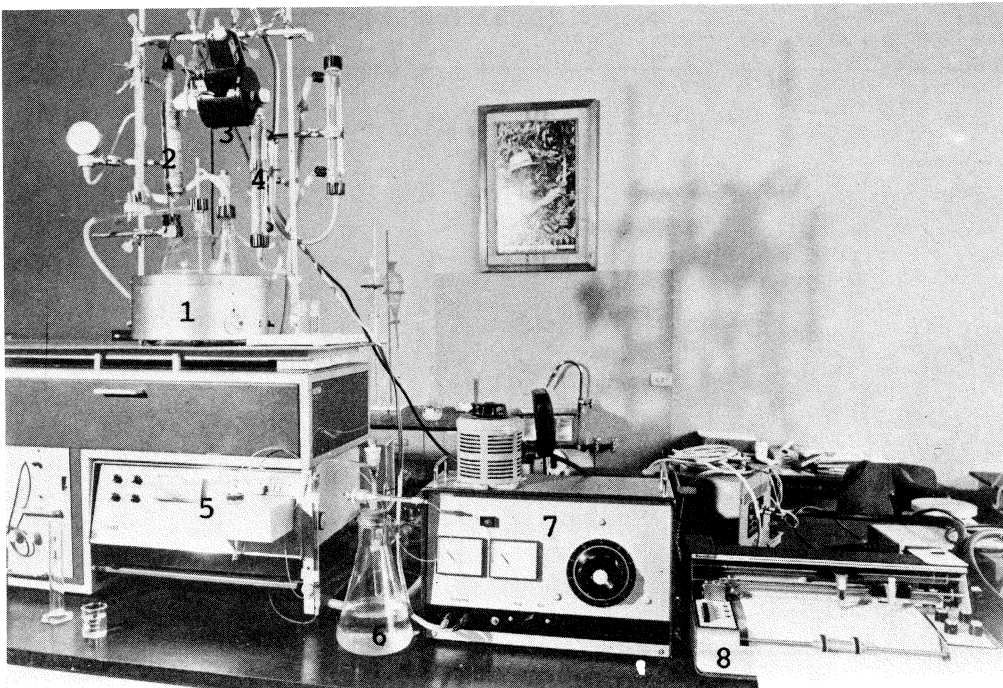


Fig. 7. — Sistema conjunto de separación, purificación, detección y registro

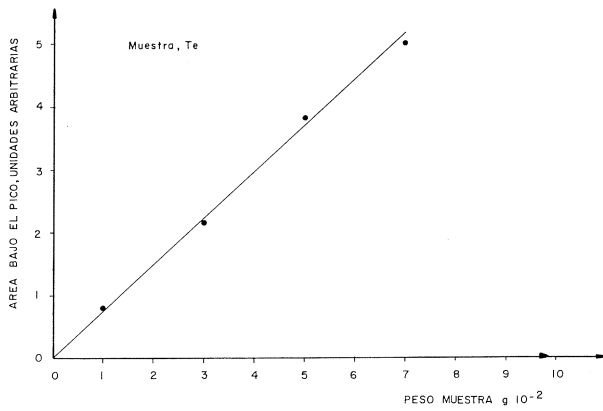


Fig. 8. ▲ Linearidad en la separación y medida del contenido de cafeína en te por pirohidrólisis-espectrofotometría U.V. en acople en línea

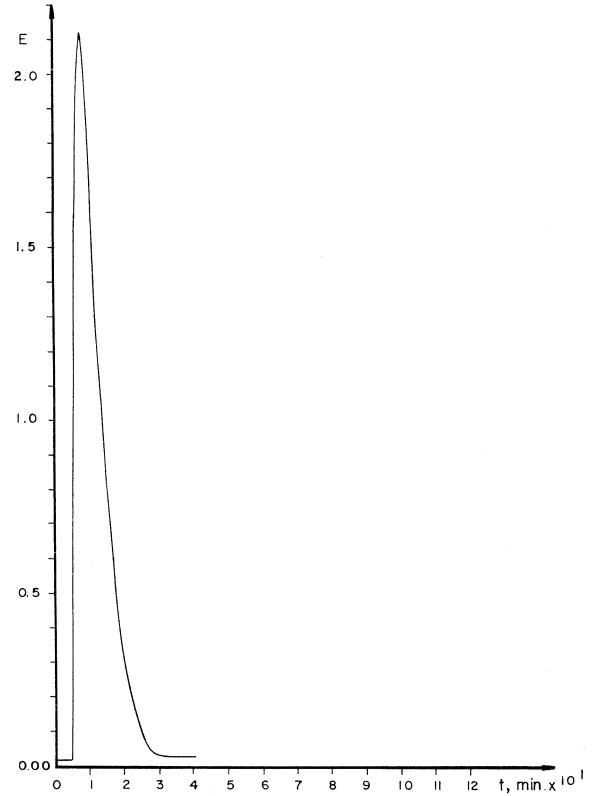
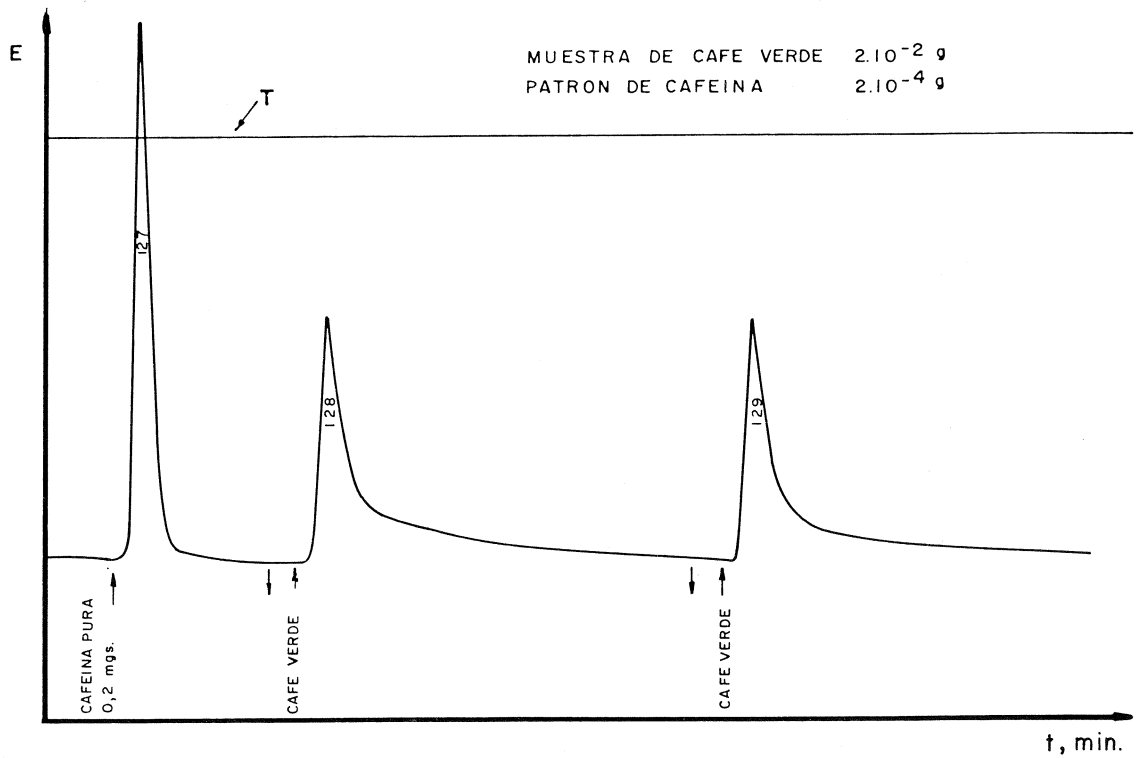


Fig. 10. ► Medida del contenido en cafeína de una partícula de café verde, de $3 \cdot 10^{-3} g$

Fig. 9. ▼ Determinación del contenido en cafeína de dos muestras idénticas de café, picos 128 y 129, empleando como patrón cafeína pura, pico 127



Posibilidades del laser para el monitoreo de muestras especiales

En el caso de corrientes gaseosas que transportan un aerosol de cafeína, la medida de la intensidad de la dispersión de la luz de modo análogo al empleado en algunos detectores de humos, puede constituir una solución sencilla. La utilización del haz luminoso de un laser de bajo costo (a aproximadamente 300 US estos instrumentos están al alcance de cualquier laboratorio) como fuente luminosa, permite alcanzar sensibilidades bastante grandes. El sistema que se describe en otra parte, Quijano-Rico, Morales (1978), está constituido básicamente por una cubeta opaca, cilíndrica, por la cual circulan los gases cargados de cafeína. El haz luminoso se confunde con el eje del cilindro de la cubeta. Normalmente al eje y a una distancia apropiada, esta situada la fotoresistencia de medida.

Conclusiones

Para la medida del contenido en cafeína y para su monitoreo continuo es posible sacar partido de las propiedades químicas particulares de este compuesto, especialmente de su estabilidad y volatilidad, para desarrollar métodos relativamente sencillos de separación y de medida.

De acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro laboratorio, los métodos descritos en este trabajo se comparan favorablemente desde el punto de vista de la sencillez, la sensibilidad y la exactitud con otros métodos descritos en la literatura.

La combinación en línea de la separación en fase gaseosa (por pirohidrólisis) con la detección por espectrofotometría U.V. abre buenas perspectivas para el desarrollo de un sistema completamente automático para la determinación de la cafeína, el cual describiremos próximamente.

REFERENCIAS

M. QUIJANO-RICO, C. BONILLA-V., J. ZULUAGA-V. — Un nuevo método rápido y económico para la separación y determinación de la cafeína en los cafés y en otros productos. 7° Coloquio Internacional Científico de la ASIC sobre el café, 379-388 (1975).

M. QUIJANO-RICO, Ma. Ta. ACERO, C. BONILLA-VIDALES. — La determinación volumétrica por yodometría de cantidades de cafeína al nivel de microgramos para el análisis del café y de otros productos. Laboratorio de Investigaciones de la Federación Nacional de Cafeteros, Bogotá, 1977.

M. QUIJANO-RICO. — Química y Físicoquímica de la separación de la cafeína a partir de cafés en fase gaseosa.

Laboratorio de Investigaciones, Federación Nacional de Cafeteros, Bogotá, 1978.

M. QUIJANO-RICO, Ma. Ta. ACERO. — Sistema en línea de separación en fase gaseosa — determinación por espectrofotometría U.V. en fase líquida para el estudio de características químicas y fisicoquímicas de la cafeína en los cafés. Laboratorio de Investigaciones, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1978, por publicar.

M. QUIJANO-RICO, E. MORALES, C. PIEDRAHITA. — Monitoreo continuo y control automático del contenido en cafeína en corrientes gaseosas. Laboratorio de Investigaciones, Federación Nacional de Cafeteros, Bogotá, 1978.

Agradecimientos. Los autores agradecen a todo el personal del LIQC y especialmente a los Señores José Samuel Durán, Mario Franco y Rafael Ramírez la valiosa ayuda que hizo posible las realizaciones aquí descritas.

QUIJANO-RICO (M.), ACERO F. (M. T.), MORALES (E.), PIEDRAHITA (C.). — **Quelques méthodes pour l'étude de la teneur en caféine de divers échantillons dans des conditions différentes.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 125-134, fig., tabl., réf.

On décrit quelques méthodes mises au point et employées au Laboratoire de Recherches de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia pour l'étude et le contrôle de la teneur en caféine d'échantillons solides, liquides et gazeux.

Ces méthodes, très simples et pas trop chères, peuvent être utilisées par n'importe quel laboratoire pour le dosage de routine de la teneur en caféine, soit par la précipitation de

QUIJANO-RICO (M.), ACERO F. (M. T.), MORALES (E.), PIEDRAHITA (C.). — **Some methods for the study of the caffeine content of varied samples under different conditions.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 125-134, fig., tabl., réf.

Some methods developed by and applied at the Research Laboratory on Coffee Chemistry of the Federación Nacional de Cafeteros de Colombia for the study of the caffeine content in solid, liquid and gaseous samples are described.

These methods may be extremely simple and economic, usable in any laboratory, for the routine determination of caffeine, as are the precipitation of caffeine hydroiodide, the

l'hydro-iodure de caféine, la séparation par filtration, la décomposition du précipité par de l'eau et ensuite la détermination de l'iode libre par volumétrie, soit encore de façon plus sophistiquée et coûteuse, par le couplage direct en ligne de la séparation en phase gazeuse (par pyrohydrolyse) avec un spectrophotomètre U.V. muni d'une cuvette à débit, système qui permet le contrôle continu de caféine et la détermination automatique de la teneur en caféine de l'échantillon.

Pour le contrôle en continu d'aérosols de caféine en courant gazeux, la combinaison d'un faisceau laser comme source lumineuse avec une cellule photoélectrique comme détecteur représente une solution économique et sensible.

QUIJANO-RICO (M.), ACERO F. (M. T.), MORALES (E.), PIEDRAHITA (C.). — **Algunos métodos para el estudio del contenido en cafeína de muestras variadas en diferentes condiciones.** VIII^o Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 125-134, fig., tabl., réf.

Se describen algunos métodos desarrollados y empleados en el Laboratorio de Investigaciones de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, para el estudio y monitoreo del contenido en cafeína de muestras sólidas, líquidas y gaseosas. Estos métodos pueden ser en extremo sencillos y económicos, utilizables para la determinación rutinaria, en cualquier labo-

filtration, the decomposition of the precipitate with water and the determination of the free iodine by volumetric analysis.

More sophisticated methods are also described, as the separation of the caffeine in gaseous phase (by pirohydrolysis) coupled with on-line U.V. spectrophotometry (with a flow cell), which allows the continuous monitoring and the automatic determination of the caffeine content.

The combination of a laser beam as light source with a photocell as detector constitutes an economic and sensible solution for the continuous monitoring of caffeine aerosols in gaseous currents.

ratorio, del contenido en cafeína, como el de la determinación por precipitación del hidroyoduro de cafeína, separación por filtración, descomposición del precipitado con agua y determinación del yodo libre por volumetría, o más sofisticados y costosos como la combinación en línea de la separación en fase gaseosa (por pirohidrólisis) con un espectrofotómetro U.V. con cubeta de flujo, la cual permite monitorear continuamente el flujo de cafeína y determinar automáticamente el contenido en cafeína de una muestra.

Para el monitoreo continuo de aerosoles de cafeína en corrientes gaseosas la combinación de un haz laser como fuente luminosa con una fotocélula como detector constituye una solución económica y sensible.

TRACER STUDIES ON BIOSYNTHESIS OF CAFFEINE IN *COFFEA ARABICA*

T. W. BAUMANN (PD Dr.), H. WANNER (Prof. Dr.)

Institute of Plant Biology,
University of Zurich

Caffeine is, in chemical terms, a threefold methylated xanthine, namely the 1,3,7-trimethylxanthine (fig. 1). Is such a definition also conclusive for the biosynthesis, or in other words, is the xanthine base transformed to caffeine by methylation?

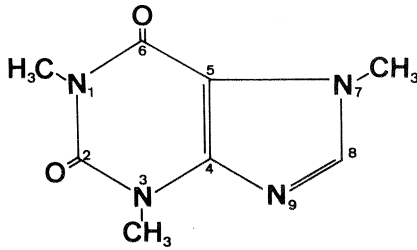


Fig. 1

In order to answer this question we have done for some years a series of experiments (1) which were based upon the following assumptions:

a) At least the last biosynthetic reaction leading to caffeine is a methylation step,

b) in short-term-experiments caffeine may be regarded as the end product of a biosynthetic pathway, and

c) by the addition of a compound which can be utilized by the tissue for caffeine biosynthesis, the directions of the reactions would be shifted in favour of the end product.

In a first experiment leaf disks were fed with each of the dimethylxanthines structurally regarded as precursors, together with the ¹⁴C-labelled methyl donor methionine (fig. 2).

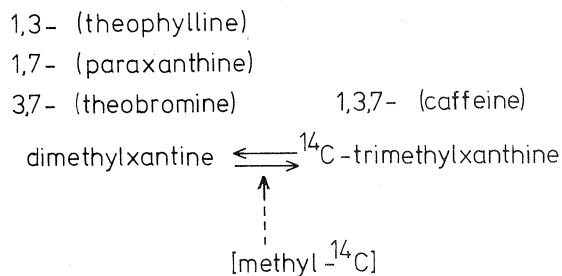


Fig. 2



T. W. Baumann

After twelve hours caffeine was isolated and its radioactivity determined. Theobromine as well as paraxanthine enhance the ¹⁴C-incorporation into caffeine. Obviously they are good methyl acceptors. Theophylline has no effect. In nature, theobromine very often occurs together with caffeine, whereas paraxanthine may not exist. Results from similar experiments with monomethylxanthines allowed us to propose a pathway which goes from 7-methylxanthine via theobromine to caffeine (fig. 3), and which has been confirmed by the Japanese scientists Suzuki and Takahashi (2) having used enzyme extracts of tea leaves.

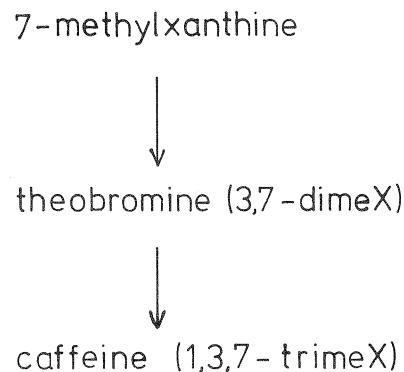


Fig. 3

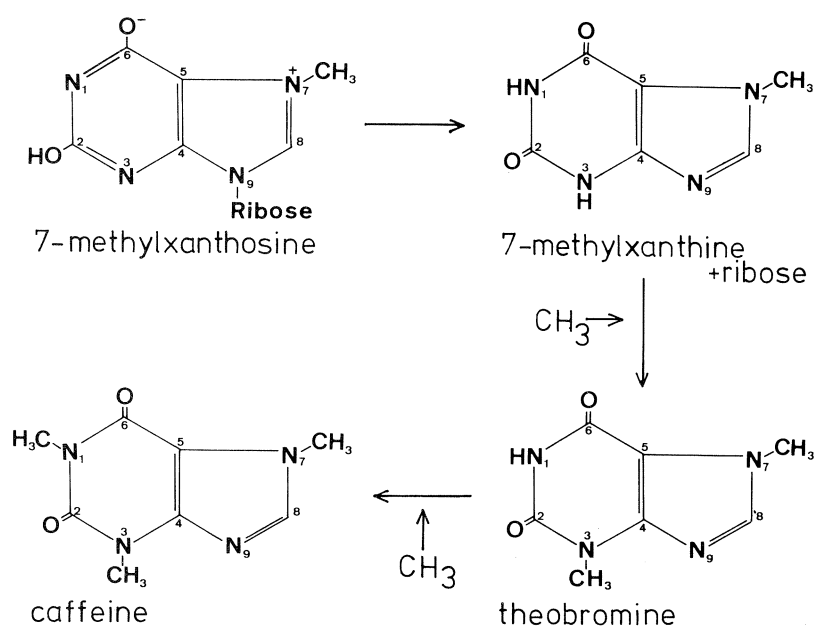


Fig. 4

Let us go back now to the initial question whether caffeine arises by methylation of xanthine. When leaf disks are fed simultaneously with xanthine and radioactive methionine, incorporation of ^{14}C into caffeine is not enhanced compared to the control where methionine alone was given. Therefore xanthine seems not to be a precursor of caffeine!

In a further experimental series we tested a large number of potential precursors. Based upon these results we have proposed a possible pathway (1), which starts from the nucleoside 7-methylxanthosine (fig. 4).

In order to examine the proposed pathway we have chemically synthesized ring-labelled [$2\text{-}^{14}\text{C}$] 7-methylxanthosine by methylation of purchasable ^{14}C -xanthosine with dimethylsulfate (3). 7-methylxanthosine with the specific activity of 2.84 mCi/mmol was injected into coffee leaves and the time course of the ^{14}C -incorporation into caffeine was studied (fig. 5).

After eight days, more than 25% of the injected radioactivity are found in the caffeine. As labelled intermediate theobromine was identified. From these results we conclude that the proposed pathway is correct.

Because xanthosine and 7-methylinosine do not « stimulate » in our test system, one can assume that the precursor of 7-methylxanthosine (7-meXos) is the corresponding nucleotide 7-methylxanthosinemonophosphate (7-methylXMP). Unfortunately, leaves or leaf disks are not suitable for studies with nucleotides which may undergo enzymatic dephosphorylation at

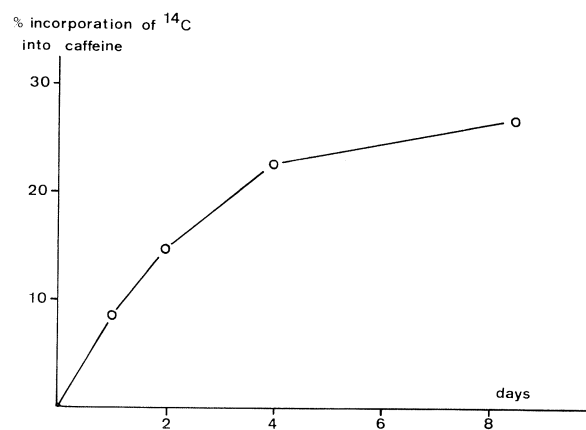


Fig. 5

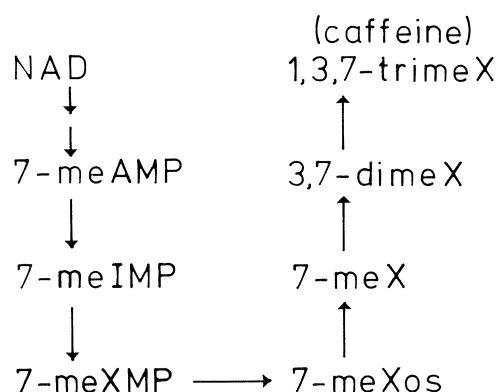
the cell membrane. Therefore, in order to find the metabolic link of purine alkaloid biosynthesis with the primary metabolism, we will be forced to experiment upon enzyme extracts.

The recent finding by Suzuki and Takahashi (4), that adenine is a relatively good precursor of caffeine among the purine bases, has attracted our attention to a scarcely cited hypothesis made in 1954 by Kremers (5), a former research associate of the General Foods Corporation. According to it, trigonelline and caffeine may have their common origine in one and the same molecule, namely in the coenzyme nicotinamide-adenine-dinucleotide (NAD). In the case of caffeine biosynthesis, Kremers proposes that adenine is splitted away and transformed to xanthine by deamination and oxidation. Methylation steps then would lead to caf-

feine. However, our experiments show that the first methyl group is not introduced at the level of the purine base xanthine but probably at the nucleotide level. We have considered this fact in a hypothetical scheme of caffeine biosynthesis (fig. 6).

Not adenine but 7-methylAMP would be released. We have to add that all adenine-containing nucleotides should be included in this working hypothesis in which 7-methylAMP then would be transformed in a few steps to those compounds which have been proven to be precursors in caffeine biosynthesis.

Fig. 6



REFERENCES

1. E. LOOSER, T. W. BAUMANN, H. WANNER. — The biosynthesis of caffeine in the coffee plant. *Phytochemistry*, **13** (1974), 2515-2518.
2. T. SUZUKI, E. TAKAHASHI. — Biosynthesis of caffeine by tea-leaf extracts. *Bioch. J.*, **146** (1975), 87-96.
3. J. W. JONES, R. K. ROBINS. — Purine nucleosides. III. Methylation studies of certain naturally occurring purine nucleosides. *J. Amer. chem. Soc.*, **85** (1963), 193-201.
4. T. SUZUKI, E. TAKAHASHI. — Caffeine biosynthesis in *Camellia sinensis*. *Phytochemistry*, **15** (1976), 1235-1239.
5. R. E. KREMERS. — Speculation on DPN as a biochemical precursor of caffeine and trigonelline in coffee. *J. Amer. pharm. Ass.*, **43** (1954), 423-424.

Acknowledgments. We were financially assisted in this work by the Swiss National Science Foundation.

BAUMANN (T. W.), WANNER (H.). — **Etude au moyen de traceurs de la biosynthèse de la caféine chez *Coffea arabica*.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 135-137, fig., réf.

Un travail antérieur (Looser *et al.*, *Phytochem.*, **13** (1974), 2515-2518) a porté sur l'apport de précurseurs de caféine à des disques de feuilles en présence de L-méthionine (¹⁴C-méthyl) ; une voie de biosynthèse de la caféine avait été ainsi trouvée avec des intermédiaires remontant jusqu'à la 7-méthylxanthosine. Notre communication décrit la synthèse de 7-méthylxanthosine marquée (méthyl et cycle marqués au ¹⁴C) ; l'incorporation de ce précurseur a été étudiée sur des feuilles de caféier. Les étapes de la biosynthèse de la caféine sont ainsi confirmées comme : 7-méthylxanthosine → 7-méthylxanthine → théobromine → caféine.

BAUMANN (T. W.), WANNER (H.). — **Tracer studies on biosynthesis of caffeine in *Coffea arabica*.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 135-137, fig., réf.

In an earlier work (Looser *et al.*, *Phytochem.*, **13** (1974), 2515-2518), in which we fed potential precursors of caffeine together with L-methionine (methyl-¹⁴C) to leaf disks, we were able to determine the individual intermediates of a likely pathway of caffeine biosynthesis as far back as the nucleoside 7-methylxanthosine. We have now synthesized labelled 7-methylxanthosine (methyl- and ring-¹⁴C-labelled) and have studied the ¹⁴C-incorporation into caffeine after feeding this tracer. The results confirm the proposed pathway from 7-methylxanthosine via 7-méthylxanthine and théobromine to caffeine.

CAFFEINE PRODUCTION IN TISSUE CULTURES OF *COFFEA ARABICA*



P. M. Frischknecht

P. M. FRISCHKNECHT (Dipl. Natw.),
T. W. BAUMANN (PD Dr.),
H. WANNER (Prof. Dr.)

Institute of Plant Biology,
University of Zurich

In vitro cultivation of plant tissues is of great influence for actual biological research. Because of the practical relevance of this technique a large number of agriculturally interesting plants have been cultured.

Some efforts have been made to cultivate coffee. Staritsky (1970) was the first to study the conditions of maintaining callus cultures of three different species : *Coffea arabica*, *Coffea liberica* and *Coffea canephora*. Sharp *et al.* (1973) established coffee callus cultures from shoots, petioles, leaves, seeds and anthers. In 1975 Herman and Haas reported on cloning and regenerating intact coffee plantlets out of leaf tissue. Recently Soendahl and Sharp (1977) succeeded in inducing somatic embryos from explants of leaf tissue.

Purine alkaloid formation in particular has been studied in 1972 by Keller *et al.* They used callus cultures from the pericarp and the endosperm of the coffee fruit and reported on a high caffeine content, up to 2% based on dry weight. This communication presents an analysis of caffeine formation and growth in function of time and of various cultivation conditions, as there are light, phytohormons and pre-added caffeine.

We established tissue cultures from terminal stem segments of two cultivars of *Coffea arabica* : Bourbon vermelho and Caturra. Standard conditions of cultivation were a modified Murashige and Skoog (1962) nutrient medium with phytohormon concentrations of 0,1 mg/l kinetin and 2,4-D, darkness, 26 °C, and 65 % humidity.

After four weeks of culturing the inoculum took on a dumb-bell-like shape. Within another month the stem segment was fully covered by white callus tissue. The resulting subcultures consisted of totally amorphous cell masses. The graphic representations in fig. 1 (p. 140) summarize the fresh and dry weight of a primary and a subculture grown under standard conditions. It is evident that dry weight values increase parallel to fresh weight values. A regression analysis proved that callus growth is exponential within a period of nine weeks. Duplication time of both culture types is twelve to thirteen.

Caffeine formation and dry weights of a primary and a subculture grown under standard conditions were determined in function of time (table I, p. 140). All values represent means out of eight cultures. Caffeine is synthesized in relatively high amounts compared with the generally low *in vitro* formation of other secondary plant substances. The total caffeine content in a culture related to dry weight is as high as in a ripe coffee bean : 1,0-1,6%. On an average, after forty nine days a culture has twenty five times the caffeine content of the original explant. After a short cultivation time most of the caffeine is found in the medium.

Table II (p. 141) summarizes the influence of various concentrations of kinetin and 2,4-D. Whereas the presence of high kinetin concentrations has no significant influence on callus growth and caffeine formation, a high concentration of 2,4-D accelerates both parameters. The production, however, remains constant under these conditions.

In order to investigate the effect of light, we illuminated a primary and a subculture with 2 000 lux. A culture grown under standard conditions served as control. It appears that light inhibits growth, especially in the subculture, and stimulates caffeine formation, so that the caffeine content related to dry weight is twice as high in the light as in darkness (table III, p. 141).

To study the influence of caffeine concentration in the medium on its production, we established a primary and a subculture on a medium to which caffeine had

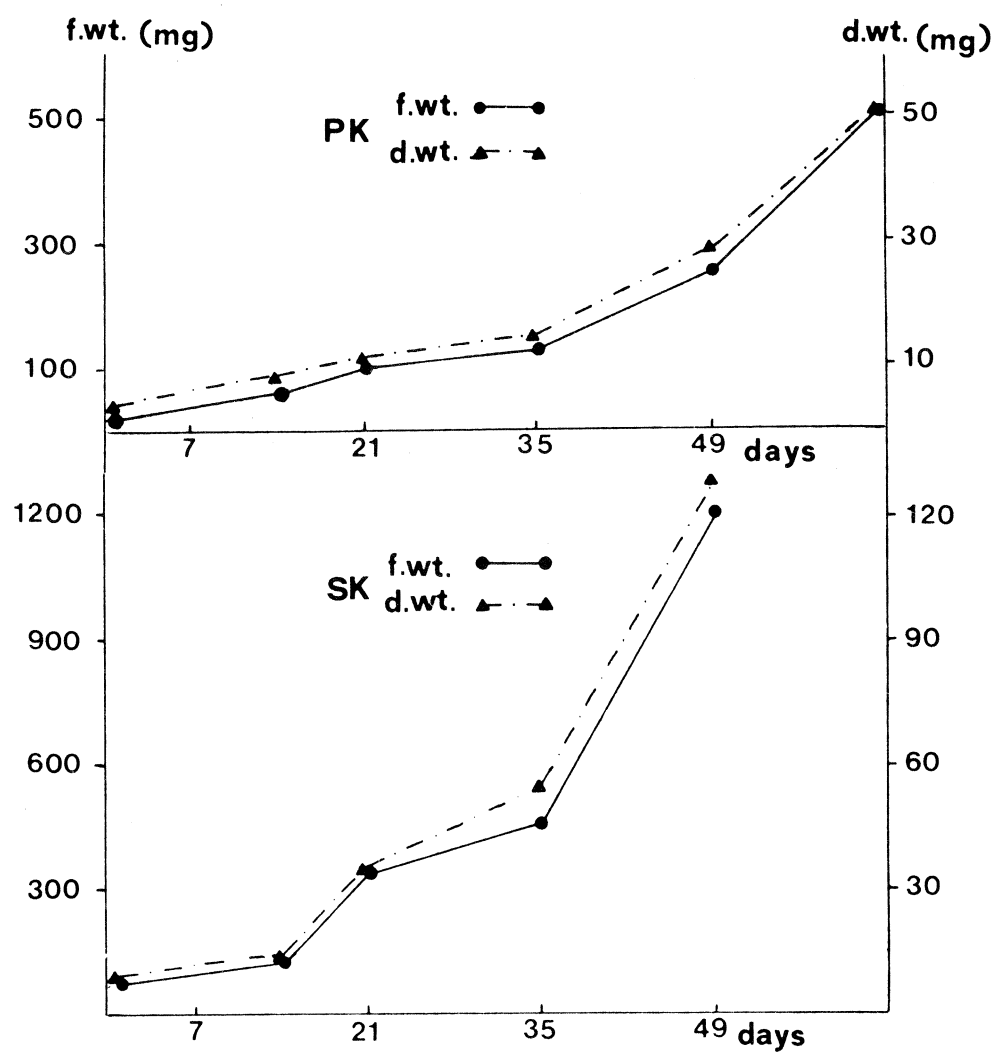


Fig. 1. — Growth of callus cultures (*Coffea arabica*)

Table I. — Caffeine formation in callus cultures (*C. arabica*): Time course

	Days	Growth d.w.t. (mg)	Caffeine isolated			Production ($\mu\text{g}/\text{mg}$ d.w.t.)
			Tissue (μg)	Medium (μg)	Total (μg)	
Primary culture	0	2,3	7	-	7	3,0
	14	7,2	8	14	22	3,0
	21	10,6	30	60	90	8,4
	35	14,2	39	200	240	16,9
	49	28,6	70	400	470	16,4
	63	51,5	170	700	870	16,8
Subculture	0	7,8	20	-	20	2,6
	14	13,3	6	80	86	6,4
	21	34,9	43	310	350	10,0
	35	55,0	67	520	590	10,7
	49	128	180	1310	1490	11,6

Table II. — Caffeine formation in 35-day-old callus cultures (*C. arabica*). Influence of various concentrations of kinetin and 2,4-D. Primary and subcultures

Concentration of growth hormones		Growth (d.wt.)	Caffeine isolated			Production (µg/mg d.wt.)
Kin.	2,4-D (mg/l)		Medium (µg)	Tissue (µg)	Total (µg)	
2,0	0,1	32	113	238	351	10,9
0,1	2,0	56	102	390	492	8,8
0,1	0,1	40	155	221	376	9,4

Table III. — Caffeine formation in 35-day-old callus cultures (*C. arabica*). Influence of light

		Growth (d.wt.)	Caffeine isolated			Production (µg/mg d.wt.)
			Medium (µg)	Tissue (µg)	Total (µg)	
Primary culture	light	27	181	455	636	23,6
	dark	30	108	248	356	11,9
Subculture	light	24	62	364	426	18,1
	dark	49	202	194	386	8,1

Table IV. — Caffeine formation in 35-day-old callus cultures (*C. arabica*). Influence of pre-added caffeine in various concentrations

	Caffeine added (µg/ml)	Growth d.wt. (mg)	Caffeine isolated			Total caffeine synthesized (µg)	Production (µg/mg d.wt.)
			Medium (µg)	Tissue (µg)	Total (µg)		
Primary culture	0	53,8	810	200	1010	1010	19
	40	27,8	1000	160	1160	560	20
	160	19,1	2460	230	2690	290	15
	640	13,5	9550	430	9980	380	28
Subculture	0	24,2	590	60	650	650	27
	40	23,0	1070	70	1140	540	23
	160	15,4	2580	60	2640	240	16
	640	8,0	9660	70	9730	130	16

been added previously (table IV). Callus growth as well as caffeine synthesis are inhibited by high concentrations of caffeine in the medium. But the amount of caffeine produced per unit dry weight remains fairly constant.

Usually tissue cultures fail to produce secondary plant substances in higher amounts as a consequence of the lack of cell differentiation (Czygan, 1975).

Caffeine formation, however, is not dependent on differentiation. In a callus culture the relative content (amount of caffeine per unit dry weight) is even slightly higher than anywhere in the intact plant. The parallel increase of dry weight and caffeine lets suppose that purine alkaloid biosynthesis is correlated closely to the

growth processes. Under the influence of light the formation of caffeine is stimulated. The theoretical percentage is almost twice as high as in a coffee bean.

A possible connection of caffeine formation with growth and light is supported by observations made on the intact plant: the highest relative content was found in young developing leaves and fruits.

In vitro the caffeine passes easily into the medium and accumulates there. Under the influence of pre-added caffeine, transfer of the purine alkaloid into the medium is hindered. The result is a steady increase of the caffeine concentration in the tissue which first causes growth retardation and finally cell death.

REFERENCES

- F.C. CZYGAN. — *Planta medica*, Supplement 1975, 169.
E. B. HERMAN, J. G. HAAS. — *HortScience*, 10, 588 (1975).
H. KELLER, H. WANNER, T. W. BAUMANN. — *Planta*, 108, 339 (1972).
T. MURASHIGE, F. SKOOG. — *Physiol. Plantarum*, 15, 473 (1962).
W. R. SHARP, L. S. CALDAS, O. J. CROCOMO, L. C. MONACO, A. CARVALHO. — *Phyton*, 31, 67 (1973).
M. R. SOENDAHL, W. R. SHARP. — *Z. Pflanzenphysiol.*, 81, 395 (1977).
G. STARITSKY. — *Acta Bot. Neerl.*, 19, 509 (1970).

Acknowledgments. We were financially assisted in this work by the Swiss National Science Foundation.

FRISCHKNECHT (P. M.), BAUMANN (T. W.), WANNER (H.). — **Production de caféine dans des cultures de tissu à partir de *Coffea arabica*.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 139-142, fig., tabl., réf.

Des cultures de tissu ont été préparées à partir de segments orthotropes de tiges prélevées sur *Coffea arabica* ; la production de caféine et les paramètres de croissance ont été analysés en fonction de la durée de culture. Ces cultures ont synthétisé une quantité relativement élevée de caféine si on compare cette biosynthèse à celle d'autres métabolites secondaires. La teneur finale en caféine atteignait 1 à 1,6 % du poids sec et elle est comparable à celle que l'on trouve dans le grain de café. Nous avons trouvé une relation linéaire entre croissance du cal et formation de caféine. Nous avons enfin étudié l'influence d'autres paramètres sur la biosynthèse de la caféine tels que l'influence de la lumière, des phytohormones, du volume du milieu et de la concentration en caféine dans ce milieu.

FRISCHKNECHT (P. M.), BAUMANN (T. W.), WANNER (H.). — **Caffeine production in tissue cultures of *Coffea arabica*.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 139-142, fig., tabl., réf.

Tissue cultures derived from apical orthotropic stem segments of *Coffea arabica* have been established and caffeine production as well as growth parameters were analyzed in function of time. The cultures synthesized relatively high amounts of caffeine compared with the generally low in vitro formation of other secondary plant substances. The total content was between 1.0 and 1.6 % related to dry weight and corresponds to the caffeine concentration in a coffee bean. We found a positive correlation between callus growth and caffeine formation. In addition we studied the influence of various factors on caffeine production, i.e. light, phytohormones, media volume and caffeine concentration in the media.

DETECTION OF TRACE AMOUNTS OF METHYLATED URIC ACIDS IN CRUDE CAFFEINE FROM DIFFERENT SOURCES



P. S. Citroreksoko

P. S. CITROREKSOKO (Dipl. chem.),
J. PETERMANN (Dipl. Natw.),
H. WANNER (Prof. Dr.),
T. W. BAUMANN (PD Dr.)

Institute of Plant Biology, University of Zurich

INTRODUCTION

In 1937 Johnson reported the presence of 1,3,7,9-tetramethyluric acid which he had separated from concentrated tea residues left after the commercial removal of caffeine. Almost forty years later we found this methyluric acid together with 0(2),1,9,-trimethyluric acid and 0(2),1,7,9-tetramethyluric acid in the leaves of different *Coffea* species (Wanner *et al.*, 1975 ; Petermann *et al.*, 1977). These substances are particularly interesting for their metabolic relations to caffeine (Oechsli *et al.*, 1976 ; Baumann *et al.*, 1976).

There is, however, another aspect of their presence in beverage plants. It has been shown by Kihlman (1977), that 1,3,7,9-tetramethyluric acid (TMUA) is a highly efficient solubilizer of many carcinogenic compounds, particularly polycyclic aromatic hydrocarbons. Tetramethyluric acid produces chromosomal aberrations in plant and animal cells as well as mutations in *Escherichia coli*. The same author has shown

that TMUA is much more active than caffeine in producing chromosomal aberrations below 30 °C in Chinese hamster cells. Unfortunately, little is known about the biochemical and pharmacological actions of TMUA. Kihlman also points out that there is no reason for alarm. Nevertheless these properties of methylated uric acids justify an intensive search for their occurrence in different organs of caffeine-containing plants, as well as for their biochemical, pharmacological and genetical effects.

Studying the composition of the ripening fruit of *Coffea excelsa* we found the three methylated uric acids in the ripe seeds. However, their concentrations are, compared to caffeine, extremely small, so that a preparative method had to be adopted (Dikstein *et al.* 1956). Here we report on the results obtained by the application of this method to several samples of crude caffeine from different sources.

METHODS

Plant material or crude caffeine was extracted with H₂SO₄ (0.0125 N) for 20 min. The extract was neutralized with MgO (1 g per 10 ml H₂SO₄) and filtered through G4 glass filter. The filtrate was extracted 3x

with an equal volume of CHCl₃. After evaporation of CHCl₃, 20 mg of the residue were dissolved in a small volume of HCl (pH 3) and transferred to a cation exchange column (Dowex 50, X-4, 100 mesh ;

25 cm × 0.9 cm) which was eluted with HCl (pH 3). Fractions of 100 ml were collected and 4x extracted with 50 ml CHCl₃ which was evaporated. The resulting residues were chromatographed by TLC (Merck, SiO₂,

F 254 ; CHCl₃/MeOH, 9 : 1). After separation the substances were eluted with MeOH and quantitated spectrophotometrically.

RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained so far are summarized in Table I. Methylated uric acids could not be found in 20 mg samples of crude caffeine from both *Coffea arabica* and *C. canephora*. Relatively much 1,3,7,9-tetramethyluric acid is present in the seeds of *C. liberica* and *C. laurentii*. The two other uric acids were detected in the beans of *C. excelsa* as well as *C. laurentii*. We have to add that the coffee plants containing these substances may not be defined species but are only varieties within the liberio-excelsoids (Charrier and Berthaud, 1975). Further we analyzed *Camellia sinensis*, the tea plant, from which we took

young, expanded and old leaves. We found a trace of TMUA in young leaves, somewhat more in expanded leaves and no uric acids in the old leaves. In commercial tea we could identify TMUA only in the Assam tea sample.

Finally, in a sample of maté tea (*Ilex paraguariensis*) we could not find any methylated uric acids. However, in this and the other cases, where none of these compounds were detectable, an extensive analysis of large samples is necessary to prove or disprove complete absence.

Tabl. I. — Methylated uric acids in samples of crude caffeine extracted from different sources

Species	Source	Caffeine %	1,3,7,9- TMUA	O(2),1,7,9- TMUA % · 1000.	O(2),1,9- tri MUA
<i>Coffea arabica</i>	Seeds 1)	1.09	-	-	-
	Crude caffeine from decaffeination procedure ²⁾	90.83	-	-	-
<i>Coffea canephora</i>	Crude caffeine from decaffeination procedure ²⁾	88.03	-	-	-
<i>Coffea liberica</i>	Seeds 3)	1.31	55.3	-	-
<i>Coffea excelsa</i>	Seeds 1)	1.29	0.9	0.7	0.7
<i>Coffea laurentii</i>	Seeds 4)	0.95	16.2	2.6	2.0
<i>Camellia sinensis</i>	Young leaves 1)	5.84	+	-	-
(tea plant)	Expanded leaves	3.62	0.6	-	-
	Old leaves	0.71	-	-	-
<i>Camellia sinensis</i>	Assam tea 5)	3.41	1.1	-	-
(commercial tea)	China green tea 5)	2.62	-	-	-
	China pekoe tea 5)	3.89	-	-	-
<i>Ilex paraguariensis</i>	Mate (Brazil)	1.45	-	-	-

+ : positive, but not quantitatively determined. ; 1) plant from green house. ; 2) Coffex, Schaffhausen, Switzerland. 3) Merkur, Bern, Switzerland. ; 4) Botanical garden, Bogor, Indonesia. 5) Knabenhans, Zürich, Switzerland.

Acknowledgments. We were financially assisted in this work by the Swiss National Science Foundation.

REFERENCES

- T. W. BAUMANN, M. OECHSLIN, H. WANNER, 1976. — Coffein und methylierte Harnsäuren: Chemische Muster während der vegetativen Entwicklung von *Coffea liberica*. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, **170**, 217.
- A. CHARRIER, J. BERTHAUD, 1975. — Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. *Café Cacao Thé*, **19**, 251.
- S. DIKSTEIN, F. BERGMANN, M. CHAIMOVITZ, 1956. — Studies on uric acid and related compounds. II. Paper chromatography of substituted xanthenes and uric acids. *J. biol. Chem.*, **221**, 239.
- T. B. JOHNSON, 1937. — Purines in the plant kingdom: The discovery of a new purine in tea. *J. Am. Chem. Soc.*, **59**, 1261.
- B. A. KIHLMAN, 1977. — 1,3,7,9-tetramethyluric acid, a chromosome-damaging agent as natural metabolite in certain caffeine-producing plants. *Mutation Res.*, **39**, 297.
- M. OECHSLIN, T. W. BAUMANN, H. WANNER, 1975. — Die Verteilung von Coffein und methylierten Harnsäuren in den Blättern von *Coffea liberica*. VII Coll. Int. Chim. Cafés, Hamburg, (ASIC, Paris), 221.
- J. PETERMANN, T. W. BAUMANN, H. WANNER, 1977. — A new tetramethyluric acid from *Coffea liberica* and *C. dewevrei*. *Phytochemistry*, **16**, 620.
- H. WANNER, M. PEŠÁKOVÁ, T. W. BAUMANN, M. CHARUBALA, A. GUGGISBERG, M. HESSE, H. SCHMID, 1975. — 0(2),1,9-trimethyluric acid and 1,3,7,9-tetramethyluric acid in leaves of different *Coffea* species. *Phytochemistry*, **14**, 747.

CITROREKSOKO (P. S.), PETERMANN (J.), WANNER (H.), BAUMANN (T. W.). — **Détection de traces d'acides uriques méthylés dans des échantillons bruts de caféine provenant de diverses origines.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 143-145, tabl., réf.

Les auteurs ont trouvé par chromatographie en couche mince des traces d'acides uriques perméthylés dans de la caféine brute extraite de graines mûres de *Coffea excelsa*. En opérant une séparation sur colonne échangeuse de cations sur 20 mg de caféine, ils ont isolé quelques microgrammes d'acides uriques méthylés. L'étude a été étendue à des cafés d'autres origines et à des feuilles de thé.

CITROREKSOKO (P. S.), PETERMANN (J.), WANNER (H.), BAUMANN (T. W.). — **Detection of trace amounts of methylated uric acids in crude caffeine from different sources.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 143-145, tabl., réf.

In TLC analyses of crude caffeine from ripe *Coffea excelsa* beans the authors found traces of highly methylated uric acids. In order to quantify and identify these compounds they have chromatographed larger samples on a cation exchange column. By this method it is possible to separate a few micrograms of methyluric acids from about 20 mg caffeine. So far they have examined caffeine preparations from tea leaves and from coffee beans of different species for their content of such accompanying substances.

DOSAGE DE LA VITAMINE PP OU NIACINE DE *COFFEA CANEPHORA* VAR. *ROBUSTA* PAR UNE MÉTHODE MICROBIOLOGIQUE UTILISANT *LACTOBACILLUS ARABINOSUS*

A. G. TCHETCHE

Maître-Assistant, Laboratoire de Chimie Organique Biologique,
Faculté des Sciences, Abidjan

Introduction

La vitamine PP est synthétisée par les animaux supérieurs à partir du tryptophane, mais elle peut leur être fournie par les aliments. A cause de l'importance biologique de la vitamine PP, il nous a paru intéressant d'étudier son évolution au cours de la torréfaction, dans nos travaux sur *Coffea canephora* var. *robusta*. Notre étude a porté sur du café de Côte d'Ivoire fourni par l'IFCC (1).

Plusieurs méthodes de dosage de la vitamine PP sont connues ; pour notre part, nous avons utilisé une méthode physico-chimique basée sur la spectrophotométrie dans le visible (2), une méthode microbiologique utilisant un micro-organisme et ce sont les résultats de cette dernière qui font l'objet de cet exposé.

Principe de la méthode

Si un micro-organisme ne peut pas synthétiser une vitamine, il présente alors un besoin absolu de ce facteur et sa croissance, dans certaines limites, sera proportionnelle à la quantité de vitamine introduite dans un milieu complet, par ailleurs. Il faut donc se placer au-dessous de la dose de vitamine assurant le plein développement de ce micro-organisme.

Le dosage est constitué par une courbe-étalon comprenant alors des doses connues et croissantes de vitamine pure et des quantités croissantes d'extrait contenant la vitamine à doser ; ces doses sont ajoutées à un milieu complet ne contenant pas la vitamine à doser. La mesure de croissance permet d'évaluer la teneur en vitamine de l'extrait ; mais ces méthodes microbiologiques posent un certain nombre de conditions très précises ; en effet, il faut :

- une souche adéquate,
- un milieu de base complet pour le micro-organisme, mais déficient en la vitamine à doser,
- la mesure de la croissance microbienne,
- l'extraction de la vitamine, de manière à la rendre utilisable par le micro-organisme.



Choix d'une méthode de dosage

Très longtemps on a pratiqué des méthodes qui utilisaient *Proteus* × 19 (3, 4) et (5, 6), mais pour *Proteus*, l'acide et l'amide nicotiques ainsi que la cozymase présentent la même activité.

La méthode actuelle de dosage utilise *Lactobacillus arabinosus* 17/5 (ATCC 8 014) à la place de *Proteus*. Cette souche permet de doser de 0,05 à 0,5 µg de niacine et présente en outre l'avantage de pouvoir se développer sur milieu synthétique ; aussi, avons-nous utilisé cette méthode pour la détermination du taux de niacine dans les échantillons de café.

Travail préliminaire

Un certain nombre d'opérations sont nécessaires avant d'aborder le dosage proprement dit :

a) Entretien des souches sur milieu gélosé avec repiquage hebdomadaire pour avoir des souches vigoureuses. Observation de toutes les conditions d'asepsie.

b) Extraction de la vitamine PP ; cette vitamine étant thermostable, son extraction est faite à chaud et par voie chimique. On peut ainsi obtenir la vitamine PP libre et la vitamine PP totale (7).

Il nous a paru aussi intéressant de connaître le taux de niacine dans le café boisson obtenu par extraction aqueuse (8). La veille du dosage on prépare l'inoculum.

Dosage proprement dit

Choix de la courbe-étalon

Nous avons employé la technique des tubes qui consiste à introduire des doses croissantes de solutions (étalon de vitamine) de concentrations connues dans une série de tubes à essais et à mettre, dans une autre série de tubes, des doses croissantes d'extrait à doser, dont la concentration vitaminique est rendue, par dilution, sensiblement identique à celle de la solution étalon. A chacun des tubes on ajoute une quantité uniforme de milieu de base privé de la vitamine à doser. Plusieurs méthodes sont connues (9) pour l'établissement de la courbe-étalon ; mais nous avons appliqué la méthode classique (10).

Mode opératoire

Nous avons établi une courbe-étalon complète avec dix tubes et la mesure de l'efficacité de l'échantillon a nécessité six doses de concentrations différentes. Pour la courbe-étalon, la concentration de la solution de niacine a été de 1 $\mu\text{g}/\text{ml}$. On cherche à obtenir des

extraits convenablement dilués dont les concentrations sont voisines de celle de la solution de niacine de la courbe-étalon.

On prend des précautions particulières au moment de l'ensemencement, ainsi qu'aux moments de l'incubation à $37^\circ\text{C} \pm 1$, pendant 72 h, et de la mesure de la croissance, cette dernière se faisant par acidimétrie (11).

En effet, la niacine stimule la croissance de *L. arabinosus*, qui utilise les sucres du milieu et produit ainsi un métabolite, l'acide lactique, que l'on dose dans les contenus des tubes.

Dans nos expériences, tous les contenus des tubes ont été dosés de la même manière. Nous avons alors établi la courbe-étalon représentée par le graphique I, qui nous a permis de déterminer les concentrations dans les tubes des extraits.

Dans ce travail, nous avons utilisé du café vert et du café torréfié à différentes températures : les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux I, II, III et IV.

Discussion

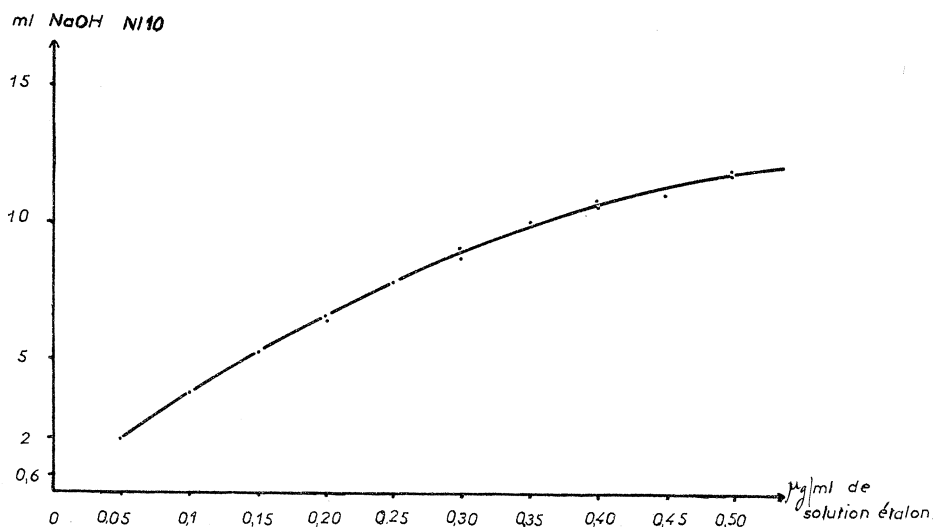
1) Pour chaque échantillon, nous avons fait la moyenne arithmétique des mesures obtenues pour six tubes.

2) Nous constatons que les résultats sont assez reproductibles et cela nous amène à dire que cette méthode de dosage utilisant *L. arabinosus* peut être considérée comme valable.

3) On note également une augmentation du taux de niacine avec la température de la torréfaction ; cette variation du taux atteint un maximum à 220°C , 240°C et 260°C . La quantité de niacine décroît ensuite à 280°C et 300°C .

4) Il faut noter que le taux de niacine totale est supérieur à celui de la niacine libre.

Graph. I. — Courbe étalon pour le premier essai de dosage de la vitamine PP disponible extraite par voie chimique



5) Enfin, quand on considère la vitamine PP disponible, on constate que les résultats obtenus par extraction chimique sont supérieurs à ceux obtenus par extraction aqueuse, ce qui nous amène à dire que l'extraction chimique est la meilleure.

Conclusion

Dans tous les cas, on observe une augmentation de la niacine avec la torréfaction ; on peut alors penser qu'il s'est fait une synthèse de la niacine, mais que ce processus a une température optimale (240 °C), au-delà

de laquelle le taux de cette vitamine baisse, sans doute parce que la niacine et ses précurseurs subissent une décomposition thermique notable ou parce que la torréfaction au-delà de 240 °C produit des substances qui inhiberaient la croissance de *L. arabinosus*.

Hughes et Smith (12) puis Adamo (13) ont démontré que cette synthèse de la niacine se fait aux dépens de la trigonelline.

La méthode microbiologique utilisant *L. arabinosus* mesure directement l'efficacité vitaminique à condition de bien entretenir les souches et de respecter rigoureusement les conditions expérimentales.

Enfin ce travail met en évidence l'intérêt nutritionnel du café comme source de niacine (14).

Tableau I. — Résultats des dosages de la vitamine PP disponible extraite par voie chimique du café moulu

Echantillons	Températures de torréfaction en °C	Teneurs en vitamine PP en mg/100 g	Moyennes
1	café vert	1,107	1,21
		1,240	
		1,233	
		1,263	
2	140	2,201	2,30
		2,432	
		2,258	
3	160	2,223	2,28
		2,126	
		2,300	
		2,460	
4	180	6,750	8,16
		7,800	
		9,120	
		8,316	
5	200	8,832	14,91
		14,820	
		15,200	
		15,230	
6	220	14,410	25,13
		25,00	
		25,410	
		25,150	
7	240	24,980	27,72
		28,33	
		26,25	
		27,91	
8	260	28,40	22,00
		23,464	
		20,772	
		20,464	
9	280	23,200	20,33
		20,320	
		19,032	
		21,840	
10	300	20,140	11,03
		10,990	
		11,496	
		10,600	

Tableau II. — Résultats des dosages de la vitamine PP totale extraite par voie chimique du café moulu

Echantillons	Températures de torréfaction en °C	Teneurs en vitamine PP en mg/100 g	Moyennes
1	café vert	1,95 2,56 2,63	2,59
2	140	3,19 3,70 2,83	3,44
3	160	3,10 3,183 3,80	3,36
4	180	13,306 12,700 13,200	13,07
5	200	17,220 17,814 16,060	17,03
6	220	38,010 39,300 38,280 35,200	38,53
7	240	47,060 47,760 44,480 42,560	46,33
8	260	41,830 42,150 38,230 41,350	41,78
9	280	20,980 19,840 21,552	20,8
10	300	16,248 14,448 13,888 12,256	15,0

BIBLIOGRAPHIE

1. A.G. TCHETCHE, C. BARON. — Thèse de 3^e cycle : Etudes analytiques de *Coffea canephora* var. *robusta*, 1971, p. 1.
2. A.G. TCHETCHE, C. BARON. — Thèse de 3^e cycle : Etudes analytiques de *Coffea canephora*, dosage de la vitamine PP, chap. I, 1971, p. 19.
3. A. LWOFF, A. QUERIDO. — *C. R. Soc. Biol.* (Paris), 1938, **129**, p. 1039.
4. N. GROSSOWISZ, E. SHERSTINSKY. — *J. Biol. Chem.* (Baltimore), 1947, **167**, p. 101.
5. A. QUERIDO, A. LWOFF, C. LATASTE. — *C. R. Soc. Biol.* (Paris), 1939, **130**, p. 1580.
6. C. LATASTE. — *Bull. Soc. Path. Exo.* (Paris), 1939, **32**, p. 784.
7. A.G. TCHETCHE, C. BARON. — Thèse de 3^e cycle. Extraction de la vitamine PP, 1971, p. 90.
8. A.G. TCHETCHE, C. BARON. — Thèse de 3^e cycle. Méthode pour le café boisson, 1971, p. 82.
9. Les Cahiers Techniques du Centre National de coordination des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation, 1959, **4**, p. 17.
10. A.G. TCHETCHE, C. BARON. — Thèse de 3^e cycle. Etudes analytiques de *Coffea canephora* var. *robusta*, 1971, p. 93.
11. A.G. TCHETCHE, C. BARON. — Thèse de 3^e cycle. 1971, p. 93-97.
12. E.B. HUGHES, R.F. SMITH. — *J. Soc. chem. ind.*, 1946, **65**, p. 284.
13. G. ADAMO. — *Boll. Ital. Biol. Sper.*, 1955, **31**, p. 79.
14. J. ADRIAN. — Premier colloque International sur la Chimie des Cafés verts torréfiés et leurs dérivés (Paris), mai 1963, p. 141-146.

Tableau III. — Résultats des dosages de la vitamine PP disponible extraite par voie aqueuse du café torréfié et moulu

Echantillons	Températures de torréfaction en °C	Teneurs en vitamine PP en mg/100 g	Moyennes
2	140	1,997	1,90
		1,946	
		1,784	
		1,817	
3	160	3,010	2,70
		2,300	
		2,800	
		3,800*	
4	180	6,448	6,35
		6,472	
		6,204	
		6,276	
5	200	15,304	14,40
		13,448	
6	220	22,104	22,00
		21,740	
		22,412	
		21,560	
7	240	26,388	25,73
		26,768	
		25,180	
		24,600	
8	260	13,33	13,17
		12,70	
		13,40	
		13,27	
9	280	10,22	9,81
		9,51	
		9,70	
10	300	7,180	7,15
		7,130	

* Résultat trop différent des autres, à éliminer

Tableau IV. — Comparaison des résultats obtenus par la méthode microbiologique

Températures de torréfaction des échantillons	Vitamine PP totale en mg/100 g (extraction chimique)	Vitamine PP disponible en mg/100 g (extraction chimique)	Vitamine PP disponible en mg/100 g (extraction aqueuse)
1 (Café vert)	2,59	1,21	
2 (140° C)	3,44	2,30	1,90
3 (160° C)	3,36	2,28	2,70
4 (180° C)	13,07	8,16	6,35
5 (200° C)	17,03	14,91	14,40
6 (220° C)	38,53	25,13	22,00
7 (240° C)	46,33	27,72	25,73
8 (260° C)	41,78	22,00	13,17
9 (280° C)	20,80	20,33	9,81
10 (300° C)	15,00	11,03	7,15

TCHETCHE (A. G.). — Dosage de la vitamine PP ou niacine de *Coffea canephora* var. *robusta* par une méthode microbiologique utilisant *Lactobacillus arabinosus*. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 147-152, graph., tabl., réf.

La niacine d'une variété de café a été dosée par une méthode microbiologique utilisant *Lactobacillus arabinosus* 17/5 (ATCC 8 014).

Les résultats obtenus sont très reproductibles et cette méthode montre :

- la présence de la niacine dans le café vert,
- l'augmentation de la teneur en niacine avec la torréfaction,
- que la niacine est thermostable, ce qui confère au café boisson une certaine vertu alimentaire quand on sait le rôle de la vitamine PP dans la protection contre la pellagre.

TCHETCHE (A. G.). — Quantitative determination of vitamin PP, or niacin, in *Coffea canephora* var. *robusta* with a microbiological method using *Lactobacillus arabinosus*. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 147-152, graph., tabl., réf.

The niacin content of a coffee variety has been determined with a microbiological method using *Lactobacillus arabinosus* 17/5 (ATCC 8 014).

The results obtained may be reproduced and this method shows :

- the presence of niacin in raw coffee,
- the increase of niacin content together with roasting,
- that niacin is thermostable which gives a food-value to the coffee beverage, according to the fact that vitamin PP plays a part in the protection against pellagra.

VERGLEICH DER HEADSPACE-AROMAPROFILE VON ARABUSTA-KAFFEE MIT ARABICA- UND ROBUSTA-SORTEN

W. GUTMANN, P. WERKHOF,
M. BARTHELS, O. G. VITZTHUM

Hag AG, Bremen



O. G. Vitzthum

Eine verfeinerte Analyse der Aromen von Naturstoffen ist heute möglich mit Hilfe der in den letzten Jahren entwickelten Methoden zur Anreicherung der flüchtigen Spurenkomponenten. Hierbei werden die Aromastoffe aus dem Kopfraum (Headspace) über der Probe bei Raumtemperatur entnommen, anschließend auf Aktivkohle oder organischen Polymeren, wie z.B. Tenax oder Porapak, adsorbiert und in einem hoch empfindlich operierenden Gaschromatographen analysiert.

In der Literatur wird beschrieben, daß dieses schonende Verfahren die Erkennung von Alterungseffekten bei Brot, Wein und Kaffee erlaubt [Lorenz u. Maga (1972), Bertuccioli u. Viani (1976), Arackal u. Lehmann

(1979)]. Unterschiede der Sorten und Qualitäten von Obst, Gemüse und Tee konnten erkannt werden [Murray (1977), Dirinck *et al.* (1977), Kawabata *et al.* (1976)].

Uns interessierte die Frage, ob das neue Kaffee-Hybrid Arabusta, das in der Elfenbeinküste angebaut wird [Capot u. Ake Assi (1974)] im Gaschromatogramm signifikante Unterschiede zu den bekannten Arabica- und Robusta-Arten ergibt und ob sich eventuell eine größere Ähnlichkeit zu Arabica einerseits oder Robusta andererseits feststellen läßt. Sensorisch hat man bei Mischungen von Arabustas mit ungewaschenen zentralamerikanischen Arabicas keine Abweichungen von der Arabica-Qualität gefunden (Anon, 1975).

Nur wenige Versuche wurden bisher unternommen, die Arten Arabica und Robusta durch Analyse der Aromastoffe mit Hilfe der Gaschromatographie zu unterscheiden. Biggers und Gianturco isolierten die flüchtigen Stoffe aus den entsprechenden Röstkaffees mit Hilfe der Wasserdampfdestillation und erhielten im Gaschromatogramm sieben Peaks, von denen sie zwei und dreißig als wesentlich auswählten [Biggers *et al.* (1969)]. Durch geeignete Auswertung der Peak-Verhältnisse konnten Diagramme erstellt werden, welche charakteristisch verschiedene Kennlinien für Arabica und Robusta — unabhängig vom Röstgrad — ergaben. Kürzlich haben Zlatkis und Mitarbeiter in Houston mit dem gleichen Ziel eine Untersuchung von Röstkaffee, Kaffeeöl und der Getränke aus Robusta und Arabica durchgeführt [Nurok *et al.* (1978)]. Die nach der Headspace-Methode isolierten flüchtigen Komponenten wurden an einer Nickel-Kapillarsäule getrennt und anschließend mit einem schwefelspezifischen Detektor angezeigt. Aus den erhaltenen Chromatogrammen ging hervor, daß der Anteil der schwefelhaltigen Inhaltsstoffe bei Robusta deutlich höher lag, als bei Arabica.

EXPERIMENTELLER TEIL

Probenaufbereitung

Bei unseren Untersuchungen gingen wir experimentell ähnlich vor wie bereits früher beschrieben [Vitz-

thum u. Werkhoff (1977)]. Bei Aufbereitung der Proben wurden 50 g frisch gemahlener Röstkaffee in eine Waschflasche gebracht. Dann wurden die flüchtigen Stoffe mit einem Heliumgasstrom von 50 ml/min in ein

Adsorptionsrohr, das mit 90 mg Tenax gefüllt war, übergespült und dort adsorbiert. Tenax ist ein Polyphenylenoxid, das die Aromastoffe gut festhält, während es Wasser durchläßt. Für Rohkaffeeuntersuchungen wurden 100 g gemahltes Produkt eingesetzt. Während man bei Röstkaffee nur 0,5 l Headspace über Tenax geleitet hat, mußte man aus Rohkaffee 30 l Gas überreiben, um die geringere Menge der darin enthaltenen Stoffe zu erfassen.

Abbildung 1 zeigt, wie das Adsorptionsrohr mit dem Gaschromatographen gekoppelt ist.

Das Tenax-Rohr wird mit den darin adsorbierten Substanzen an den Einlaß des Gaschromatographen gekoppelt. Nach dem Aufheizen auf 150 °C werden die Stoffe in den GC übergetrieben und in einer engen Zone am Anfang der auf -60 °C tiefgekühlten Glaskapillarsäule kondensiert. Nach Umschalten des Trägergasstroms und Einschalten des Temperaturprogramms kann die chromatographische Auftrennung beginnen.

Alle Kaffeeproben wurden zuvor einheitlich auf mittlere Farbe geröstet, so daß mit dem Auge keine Farbunterschiede feststellbar waren.

Geräte

Als GC-Gerät verwendeten wir das Modell 2101 AC von Carlo Erba, das für den Betrieb mit Glaskapillarsäulen eingerichtet ist. Dabei konnte der FID wahlweise durch einen flammenphotometrischen

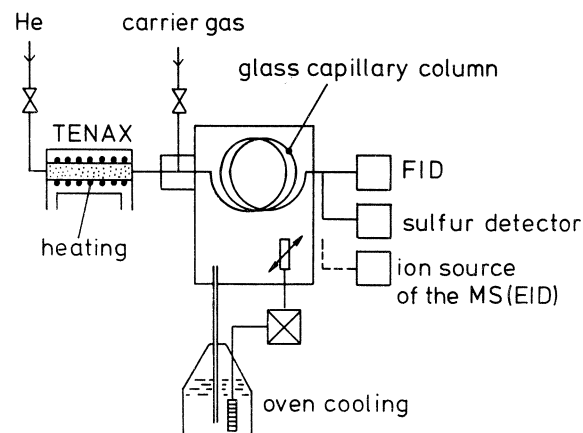


Abb. 1. — Connection of Tenax enrichment tube with the inlet of the GC capillary column

Detektor von Tracor ersetzt werden, der schwefelspezifisch anzeigt. Die Reproduzierbarkeit der erhaltenen FID- und Schwefelchromatogramme wurde jeweils durch Mehrfachanalysen gut bestätigt. Für die MS-Identifizierung benutzten wir die bereits früher ausführlich beschriebene Kopplung eines modifizierten Varian Mat 111 GC/MS-Gerät [Vitzthum u. Werkhoff (1974)].

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Röstkaffee

Das Ergebnis einer solchen Headspace-Anreicherung für Arabusta zeigt Abbildung 2.

Die Trennung im GC wurde mit einer 100 m Glaskapillarsäule, belegt mit UCON HB 5100, durchgeführt. Die Strömungsgeschwindigkeit betrug 3,5 l Helium/min. Das Temperaturprogramm wurde von -60° bis +20 °C mit 10 °C/min und dann bis 180 °C mit 2 °C/min gefahren. Diese GC-Bedingungen wurden auch bei den folgenden Aufnahmen beibehalten.

Aus der gleichzeitigen Anzeige mit dem FID läßt sich die hohe Selektivität des Schwefeldetektors erkennen. So zeigt das Schwefel-Gaschromatogramm noch Peaks an den Stellen, wo im FID-Chromatogramm nichts oder nur eine geringe Anzeige zu sehen ist. Dieses ist verständlich, wenn man bedenkt, daß der Schwefeldetektor die schwefelhaltigen Komponenten etwa 1 000-10 000 empfindlicher als der FID angibt.

Abbildung 3 (S. 156) gibt die mit dem FID registrierten Chromatogramme der Sorten Arabica, Arabusta und Robusta wieder.

Man erkennt deutlich unterschiedliche Aromaprofile, wobei Arabusta stark dem Arabica angenähert ist. Die Peakintensitäten bei Robusta sind teilweise größer. Im hinteren Bereich sind aber andererseits Tailing Peaks vorhanden, die nur bei Arabica und Arabusta auftreten.

Die schonende Anreicherung der Headspace-Aromen an polymeren Adsorbentien vor der Auftrennung im Gaschromatographen scheint also eine geeignete Methode zu sein, die bisher nur sensorisch wahrnehmbaren Geruchsunterschiede auch gaschromatographisch sichtbar wiederzugeben.

Abbildung 4 (S. 157) zeigt die gleichen Aufnahmen, erhalten mit dem Schwefeldetektor.

Auch hier wieder eine größere Annäherung des Arabusta an den Arabica-Kaffee. Robusta enthält die meisten Schwefelverbindungen, was der Grund für seine typisch starken Geruchsnuancen sein dürfte. Eine andere Robusta-Varietät, z.B. Robusta Uganda, zeigt ein ähnliches Bild mit größerer Intensität der Schwefelverbindungen.

Eine Bestätigung der größeren Ähnlichkeit des Arabusta-Aromas mit demjenigen des Arabicas ergaben

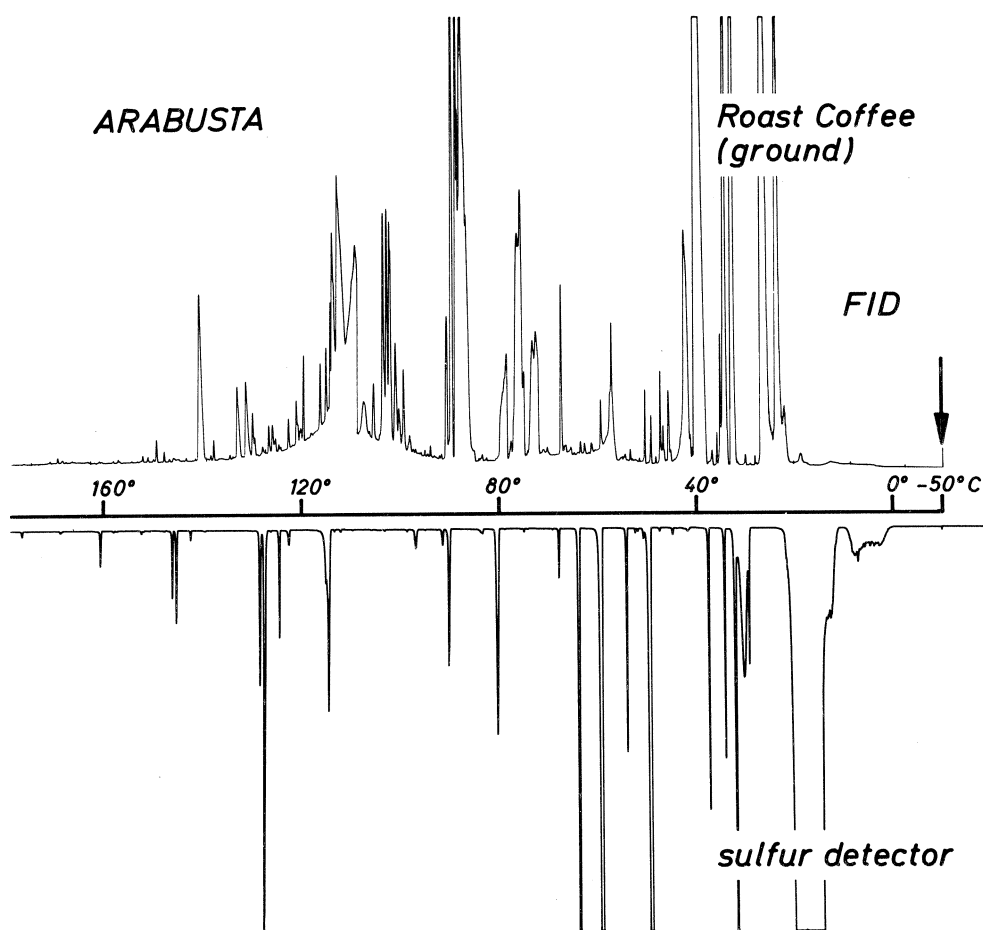


Abb. 2. — GC separation of Arabusta roast aroma on glass capillary columns after enrichment on Tenax GC conditions : 10 m glass capillary column, 0,3 mm i.d. UCON HB 5100, flow rate 3,5 l helium/min, temperature programme — 60° to + 20 °C with a rate of 10 °C/min ; + 20° to + 180 °C with a rate of 2 °C/min. Simultaneously detection in FID and flame photometric sulphur detector (FPD).

Tabelle I. — Flüchtige Furanverbindungen, die überwiegend in Arabica- und Arabusta-Röstkaffee vorhanden sind

Furfural

- 2-Acetylfuran
- 5-Methylfurfural
- 2-Furfurylacetat
- 2,2'-Bifuryl
- 2,2'-Difurylmethan
- 2-Furfurylpropionat
- 2-Furyl (2'-methyl-5-furyl) methan
- N-(2'-furfuryl)-pyrrol
- 2-Vinyl-5-methylfuran
- 2-Furfurylmethyläther
- 2-Methyltetrahydrofuran-3-on

die Auswertungen mit Hilfe der Massenspektrometrie. Tabelle I zeigt, daß bei Arabusta- und Arabica-Kaffee im Vergleich zu Robusta die Furan-Verbindungen stark überwiegen.

Diese Furane sind auch in Robusta, aber hier in entschieden kleinerer Menge vorhanden. Generell ist zu sagen, daß wir mit der MS-Analyse nur quantitative, jedoch bisher keine qualitativen Unterschiede feststellen konnten. Das Vorkommen der in obiger Tabelle aufgeführten Verbindungen war schon früher in Kaffee beschrieben [Eichler (1976)].

Bei Robusta überwiegen jedoch die Schwefelverbindungen deutlich gegenüber Arabica und Arabusta, wie nähere MS-Untersuchungen gezeigt haben (Tab. II, S. 156).

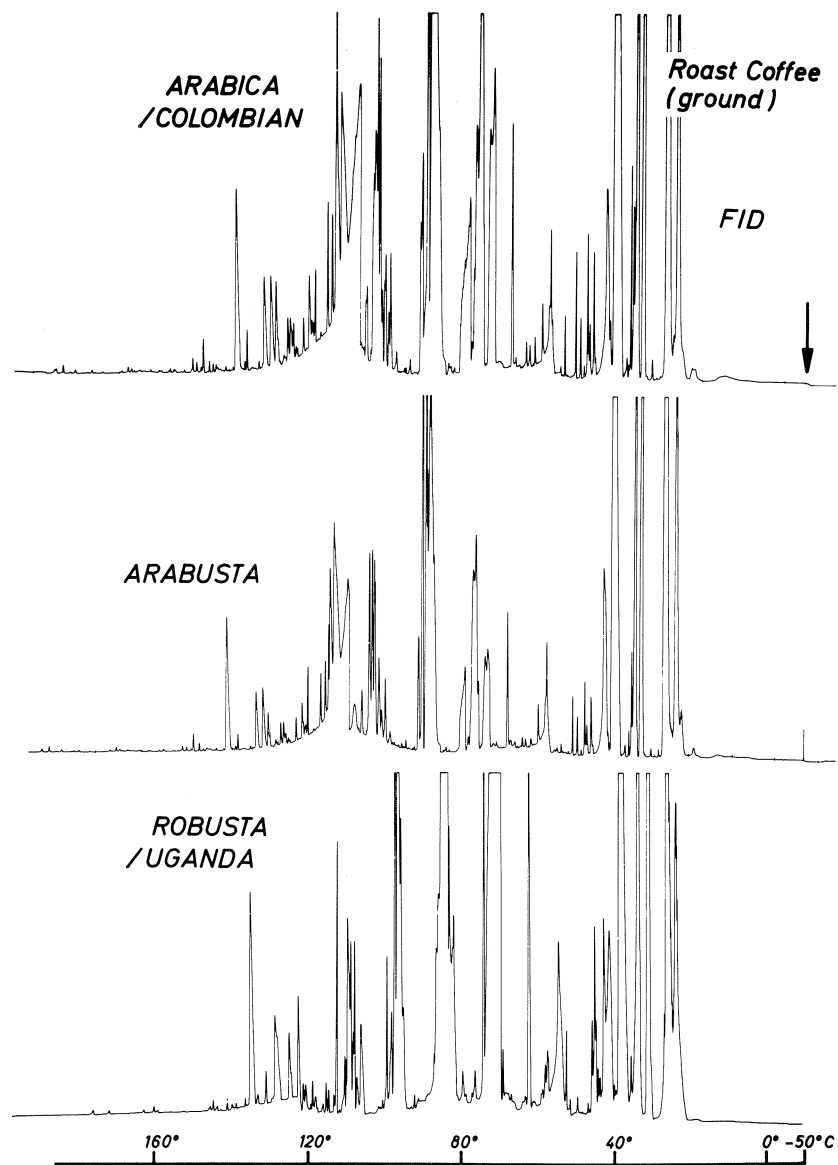


Abb. 3. — GC comparison of Arabica, Arabusta and Robusta roast aromas, FID detection, GC conditions as described in figure 2.

Tabelle II. — Flüchtige Schwefelverbindungen in Robusta-Röstkaffee

Thiophen
 2-Methylthiophen
 3-Methylthiophen
 2-Furfurylmethylsulfid

(*) = ppt = parts per trillion = $1:10^{12}$.

Die zuvor gezeigten Schwefelchromatogramme haben dies bereits angedeutet.

Weitere Schwefelverbindungen, die in geringen Mengen in Robusta vorhanden sind, können nur sehr schwierig massenspektroskopisch aufgeklärt werden, da die Nachweisgrenze unterschritten, oder die Abtrennung von den nichtschwefelhaltigen Komponenten selbst auf der Glaskapillarsäule unzureichend ist.

Nach unserer Schätzung liegen diese im Schwefeldetektor noch angezeigten Verbindungen bereits im ppt-Konzentrationsbereich (*) — bezogen auf den Ausgangsröstkaffee.

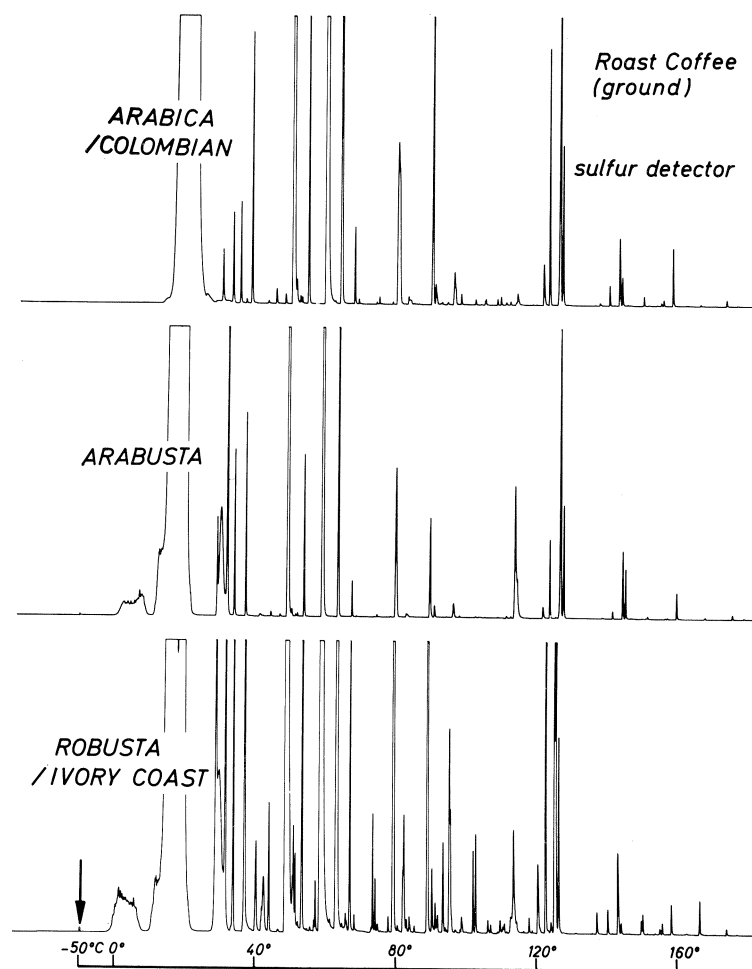


Abb. 4. — GC comparison of Arabica, Arabusta and Robusta roast aromas, FPD detection, GC conditions see figure 2

Wenn es gelingt, diesen konzentrierten Bereich zu erfassen, dürfte die hohe Geruchsempfindlichkeit der menschlichen Nase — zumindest auf dem Teilgebiet der differenzierenden Sensorik — auch meßtechnisch mit Hilfe der GC erreicht werden können.

Rohkaffee

Auf dem letzten ASIC-Kongress in Hamburg [Vitzthum u. Werkhoff (1975)] haben wir erstmals ausführlicher über die flüchtigen Inhaltsstoffe von Rohkaffee berichtet. — Es interessierte uns daher auch im Rahmen dieser Arbeit, ob man mit der Headspace-Methode größere Unterschiede zwischen den verschiedenen Rohkaffeesorten finden kann.

Abbildung 5 (S. 158) zeigt die gaschromatographi-

sche Aufnahme von Arabica-Arabusta- und Robusta-Rohkaffee mit dem Flammenionisationsdetektor.

Zu unserer Überraschung sind die Unterschiede zwischen Arabica Columbia, Robusta Elfenbeinküste und Arabusta sehr ausgeprägt. Es sind keine deutlichen Ähnlichkeiten mehr vorhanden. Jede Aufnahme ergibt ein anderes Bild. Sogar die Untersuchung der einzelnen Varietäten gab immer noch deutliche Unterschiede, wie am Beispiel Robusta Elfenbeinküste und Robusta Uganda in Abbildung 6 (S. 159) ersichtlich ist.

Tabelle III (S. 158) zeigt die Ergebnisse, die wir bei der Identifizierung erhalten haben.

Obwohl qualitativ keine eindeutigen Unterschiede feststellbar waren, zeigten sich doch quantitativ deutliche Abweichungen, wobei bei Arabusta besonders das 2-Methoxy-3-isobutylpyrazin anscheinend in größerer Menge vorkommt. Die von uns untersuchte Charge Arabica Rohkaffee hatte einen erhöhten Gehalt an Isoamylalkohol.

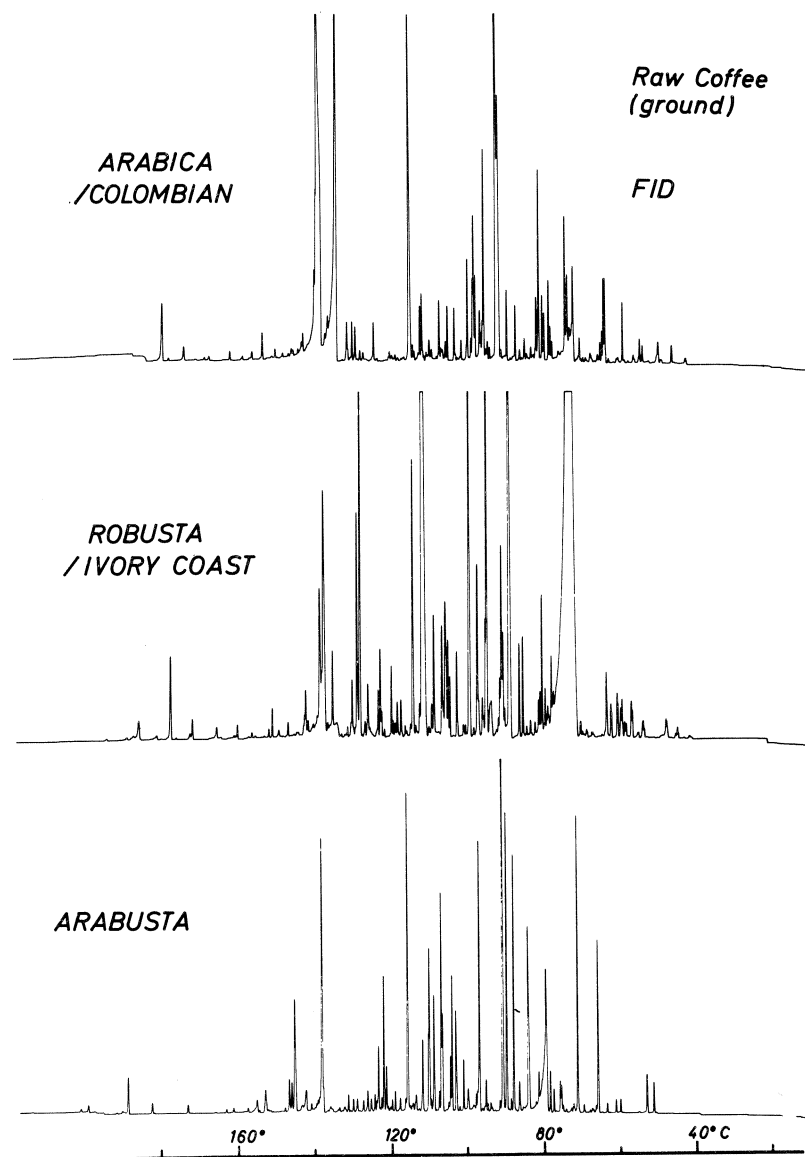


Abb. 5. — GC comparison of volatiles from Arabica, Robusta and Arabusta raw coffee ; FID detection

Verbindungen	ARABICA	ARABUSTA	ROBUSTA
Isoamylalkohol	+++	+	+
Butanon-2	+	++	++
Heptanon-2	+	++	++
Heptanon-3	+	++	++
Octanon-2	++	+	+
Octanon-3	++	+	+
2-Methylpropionaldehyd	+	++	++
2-Methylbutyraldehyd	+	++	++
3-Methylbutyraldehyd	+	++	++
2-Methoxy-3-isobutylpyrazin	+	+++	+

Tabelle III. — Quantitative Unterschiede flüchtiger Rohkaffeinhaltstoffe

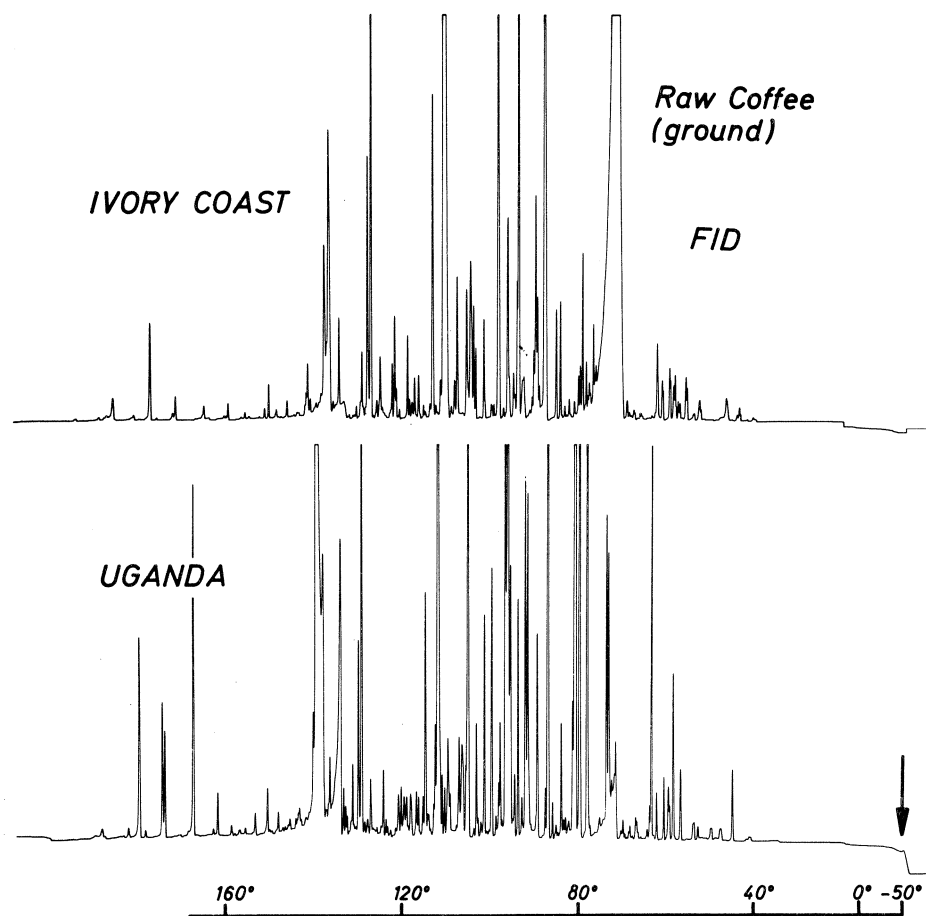


Abb. 6. — GC comparison of volatiles from Robusta Ivory Coast and Robusta Uganda raw coffee, FID detection. GC conditions see figure 1

Tabelle IV. — Quantitative Unterschiede flüchtiger Rohkaffeinhaltstoffe

Stoffklassen	ARABICA	ARABUSTA	ROBUSTA
Aromatische Verbindungen (Xylole, Alkylbenzole, Naphthaline)	+	+++	++
Terpene $C_{10}H_{16}$	+++	+	+
Furane	+	++	++
Pyrazine	+	++	++

In Tabelle IV sind im wesentlichen die Gruppen der flüchtigen Verbindungen zusammengefaßt, bei denen sich quantitative Unterschiede zwischen den drei Rohkaffeesorten gezeigt haben.

Die Terpene überwiegen auffällig bei den Arabicas, während die Furane bei Arabica-Rohkaffee — anders

als beim Röstkaffee — nur in kleinerer Menge vorhanden sind.

Eine Auflistung der von uns erstmals im Rohkaffee gefundenen achtzig flüchtigen Verbindungen zeigt Tabelle V (S. 160).

Tabelle V. — Neu entdeckte flüchtige Inhaltsstoffe des Rohkaffees

o-Xylol	
m-Xylol	
p-Xylol	
Isopropylbenzol	
n-Propylbenzol	
1,2,3-Trimethylbenzol	
1,2,4-Trimethylbenzol	
1,3,5-Trimethylbenzol	
1-Methyl-2-äthylbenzol	
1-Methyl-3-äthylbenzol	
1-Methyl-4-äthylbenzol	
10 × C ₄ -Benzole (C ₁₀ H ₁₄ -Isomere)	
4 × C ₅ -Benzole (C ₁₁ H ₁₆ -Isomere)	
Styrol	
Indan (2,3-Dihydroinden)	
Methylindan	
Naphthalin	
1-Methylnaphthalin	
2-Methylnaphthalin	
Dimethylnaphthalin	
Biphenyl	
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalin	
Methyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalin	
8 × C ₁₀ H ₁₆ monocyclische Terpene (u.a. Myrcen und Limonen)	
Alkohole	
Äthanol	
Butanol-1	
Pentanol-1	
Pentanol-2	
Hexanol-1	
Heptanol-1	
Heptanol-2	
Octanol-1	
Octanol-3	
3-Methoxy-2-butanol	
2-Methylbutanol-1	
3-Methylbutanol-1 (Isoamylalkohol)	
1-Octen-3-ol	
1-Octen-5-ol	
	Ketone
	Pentanon-2
	Pentanon-3
	Hexanon-3
	Heptanon-2
	Heptanon-3
	Octanon-2
	Octanon-3
	Octa-3-en-2-on
	3,5-Octadien-2-on
	Acetophenon
	Aldehyde
	2-Methylpropenal
	n-Butanal
	3-Methylbutanal
	Crotonaldehyd
	p-Tolylaldehyd
	Furane
	3-Methylfuran
	2-Äthylfuran
	2-n-Butylfuran
	3-Phenylfuran
	Sonstige
	γ-Butyrolacton
	Tetrahydrofuran
	1,3-Dimethoxybenzol

LITERATUR

1. Anon: Testing the Arabusta. *Coffee International* (London), Issue Two, p. 14 (1975).
2. T. ARACKAL, G. LEHMANN. — Messung der Quotienten 2-Methylfuran/Butanon-2 von ungemahlenem Röstkaffee während der Lagerung unter Luftausschluß. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 1979 im Druck.
3. M. BERTUCCIOLI, R. VIANI. — Red Wine Aroma — Identification of Headspace Constituents. *J. Sci. Food Agric.* (London), **27**, 1035-1038 (1976).
4. R.E. BIGGERS, J.J. HILTON, M.A. GIANTURCO. — Differentiation between *Coffea arabica* and *Coffea robusta* by Computer Evaluation of Gas Chromatographic Profiles — Comparison of Numerically Derived Quality Predictions with Organoleptic Evaluations. *J. Chrom. Sci.* (Evanston), **7**, 453-472 (1969).
5. J. CAPOT, L. AKE ASSI. — Un nouveau caféier hybride de Côte d'Ivoire. *Bull. Inst. Fondam. Afr. Noire* (Dakar), Sér. A. Sci. Nat., **36** (4), 900-901 (1974).
6. P. DIRINCK, L. SCHREYEN, N. SCHAMP. — Aroma Quality Evaluation of Tomatoes, Apples and Strawberries. *J. Agric. Food Chem.* (Washington), **25**, 759-763 (1977).
7. K. LORENZ, J. MAGA. — Staling of White Bread: Changes in Carbonyl Composition and Glc Headspace Profiles. *J. Agr. Food Chem.* (Washington), **20**, 211-213 (1972).
8. M. KAWABATA, K. OHTSUKI, H. KOKURA. — Studies on Aroma of Green Tea (Part II). Analysis of Sulfur Compounds in Head Space Vapor. *Kyoto Furitsu Daigaku Gakujutsu Hokoku: Rigaku, Seikatsu Kagaku*, **27**, 17-20 (1976).
9. K.E. MURRAY. — Concentration of headspace, airborne

and aqueous volatiles on Chromosorb 105 for examination by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatog.* (Amsterdam), **135**, 49-60 (1977).

10. D. NUROK, J.W. ANDERSON, A. ZLATKIS. — Profiles of sulfur containing compounds obtained from Arabica and Robusta coffees by capillary column chromatography. *Chromatographia* (Braunschweig), **11** (4), 188-192 (1978).

11. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF, E. ABLANQUE. — Flüchtige Inhaltsstoffe des Rohkaffees. 7. Internationales wissenschaftliches Kolloquium über Kaffee (Hamburg, 9.-14. Juni 1975), ASIC Paris, S. 115-123.

GUTMANN (W.), WERKHOFF (P.), BARTHEL (M.), VITZTHUM (O.). — **Comparaison des profils aromatiques des cafés Arabusta, Arabica et Robusta à partir des espaces de tête.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977, p. 153-161, fig., tabl., réf.

Les constituants volatils du café Arabusta torréfié ont été comparés à ceux des cafés Arabica et Robusta torréfiés. L'adsorption des espaces de tête sur Tenax a été utilisée comme technique d'enrichissement suivie immédiatement du transfert sur colonne capillaire réfrigérée. L'aromagramme de l'Arabusta est très proche de celui de l'Arabica. Le Robusta présente plus de pics chromatographiques. Ainsi, l'appréciation sensorielle d'une parenté très proche de l'arôme de l'Arabusta et de celui de l'Arabica est confirmée. Plus de quatre-vingt composés volatils du café vert sont décrits pour la première fois.

GUTMANN (W.), WERKHOFF (P.), BARTHEL (M.), VITZTHUM (O.). — **Vergleich der Headspace-Aromaprofile von Arabusta-Kaffee mit Arabica- und Robusta-Sorten.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 153-161, fig., tabl., réf.

Die flüchtigen Inhaltsstoffe von Arabusta-Röstkaffee wurden mit denjenigen von Arabica- und Robusta-Röstkaffee verglichen. Als Anreicherungs-technik wurde die Adsorption

12. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — Oxazoles and Thiazoles in Coffee Aroma. *J. Food Sci.* (Chicago), **39**, 1210-1215 (1974).

13. O.G. VITZTHUM. — Chemie und Bearbeitung des Kaffees. In: O. Eichler, « Kaffee und Coffein », Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1976, S. 3-64.

14. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — Aroma Analysis of Coffee, Tea and Cocoa by Headspace Techniques. 174th Meeting of the American Chemical Society (Chicago, Aug. 28-Sept. 2 1977), Division of Agricultural and Food Chemistry.

GUTMANN (W.), WERKHOFF (P.), BARTHEL (M.), VITZTHUM (O.). — **Comparison, by the headspace technique, of the aroma profiles of the Arabusta coffee to those of the Arabica and Robusta varieties.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977, p. 153-161, fig., tabl., réf.

The volatile components of roasted Arabusta coffee were compared with Arabica and Robusta by the technique of enrichment of the coffee head space vapours on Tenax polymers and immediately transferring them onto the GC capillary column.

The aroma profile of Arabusta was very similar to that of Arabica. Robusta on the other hand showed more GC peaks than Arabica or Arabusta coffee aroma. The sensory findings concerning the close relationship of the flavour of Arabusta to Arabica, thus are confirmed. Eighty identified volatile compounds were described for the first time as components of raw coffee.

der Headspace-Gase des Kaffeearomas an Tenax eingesetzt. Das Adsorbat wurde anschließend unmittelbar auf die tiefgekühlte Glaskapillarsäule überführt.

Das Aromaprofil von Arabusta ähnelt sehr dem des Arabicas. Andererseits zeigte der Robusta mehr GC-Banden als Arabica- oder Arabusta-Kaffeearoma.

Die sensorischen Wahrnehmungen hinsichtlich der engen Verwandtschaft des Arabusta- mit dem Arabica-Aroma wurden dadurch bestimmt. Über achtzig erstmals in Rohkaffee entdeckte flüchtige Verbindungen wird berichtet.

PACKAGING AND MARKETING OF ROASTED COFFEE



R. Heiss

Prof. Dr. Dr. h.c. R. HEISS,
Dr. R. RADTKE,
Dr. L. ROBINSON

Institute of Food Technology and Packaging, at the Technical University, Munich

PACKAGING AS AN INTEGRATED SYSTEM

The main function of any foodpackaging is to maintain maximum quality of content for a desired turnover or selling period at minimum outlay. To achieve this objective it will be necessary in each instance to arrive at a precise definition of what is meant by quality and to be fully aware of the factors which govern preservation of that quality. Similar considerations apply to the turnover period, as it is to be assumed that fresh service always entails high distribution costs, whereby reducing the importance of the timing element for available stocks can reduce these overheads; but this will, at the same time, inevitably dictate more expensive packaging and a slower turn-around of capital. While it is true to say that minimum packaging outlay is governed decisively by the costs of the individual pack, they constitute only part of the distribution costs

caused by packaging from time of arrival of the packing materials at the coffee roasters until the time the coffee is actually consumed. These costs are comprised of packaging materials, printing, economic packaging machinery, dosing accuracy, avoidance of faulty packs and selection of the most suitable transporting containers. With all these aspects the objective is pursued of keeping all overheads involving personnel to a minimum during distribution phases and optimising the convenience offered to the consumer through the package itself. Whereas this can entail a higher price it can also promote higher turnover. The aspects which have to be taken into account in achieving an efficient and economical pack are depicted in schematic form in fig. 1 [1]. However, it must be borne in mind that packaging costs tend normally to diminish in impor-

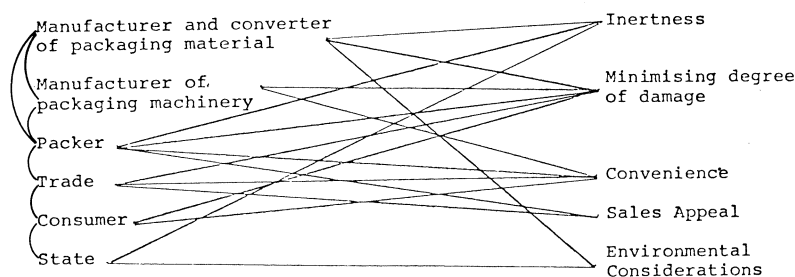


Fig. 1. — Main crosslinking relationships to be observed between those involved in packaging (left) and the actual packaging functions (right) in achieving an optimum package. (A joint approach is also necessary in vertical direction, for example — as indicated on the left — packaging properties must be adapted to the sensitivity of the contents and runnability of a packaging material on the packaging machine should be as trouble-free as possible).

tance in inverse proportion to the value of the packaged product. Moreover, general experience throughout the foodstuffs industry as a whole shows that, in the case of products with a quality level difficult to differentiate on an analytical basis, there is often a tendency to resort to enhancing competitive opportunities by adopting a characteristic or particularly attractive package.

More particularly in Munich a considerable amount of investigations have been devoted to shelf life and packaging of coffee and some reports have also been delivered on this subject to ASIC Congresses. What

has been lacking to date is a survey of packaging as an integrated system with applications taking full account of quality, convenience and price and a review of the extent to which scientific knowledge is being reflected in distribution practices at the present time. It is the task of science to subject the existing situation to close examination and positive criticism, to set new yardsticks and to point out shortcomings. The following will attempt to achieve this objective for the packaging of roasted coffee.

QUALITY ASSESSMENT

As roasted coffee does not spoil microbiologically, but rather through chemical changes, the manner in which the acceptable quality limit is laid down is largely a matter of judgement. In this connexion the following considerations appear realistic: per se, the correct limit should be that at which the decrease in the sensoric quality of the fresh product first becomes noticeable (i.e. in fig. 2, 8 items). This automatically gives rise to the question — to whose senses? The skilled coffee roaster will notice it far earlier than the normal consumer, as otherwise it would be difficult to comprehend how it is possible to sell a coffee brew which has been kept bubbling for hours at a time in coffee and snack bars. On the other hand it would be equally wrong to take as standard a product which is still only just saleable (between 4 and 5 points in fig. 2), since with such an expensive beverage the purchaser is surely entitled to a commensurate degree of enjoyment. One does not set the permissible limit for a branded product any lower than would equate with the character of a quality product while at the same time ensuring an adequate consumption period in good quality in the domestic household, i.e. in the consumer's interests at least 6 points in fig. 2 [2]. Even taking cognizance of the risk that many consumers are less critical than they might be, it would be quite sufficient if more than half were to be condemned to a loss of pleasure if the prescribed level of quality were not safeguarded. Regrettably there is to-day still no reliable analytical method which permits accurate timing of the moment at which six points can be awarded for coffee of varying origin by means of test data. Notwithstanding the fact that a direct compara-

tive sensory assessment is difficult in the case of coffee, no effort should be spared in pinpointing at least the permissible limiting value as precisely and descriptively as possible.

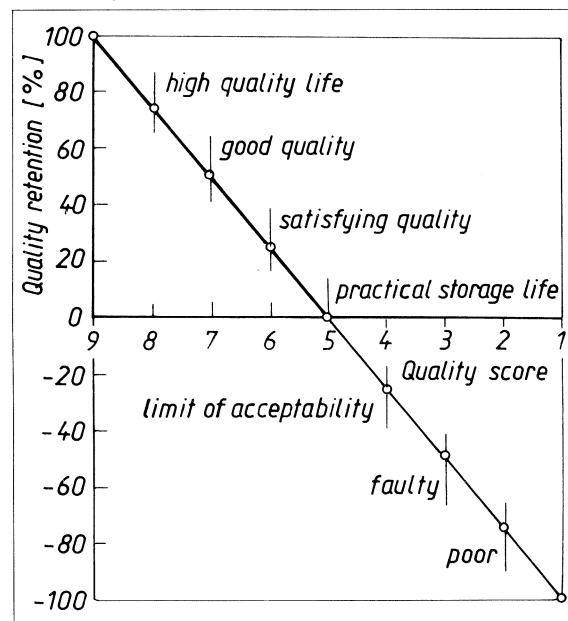


Fig. 2. — Quality retention and quality grades of food correlated to quality scores (Quality retention = 0 at the end of practical storage life score 5).

FACTORS INFLUENCING QUALITY IN DISTRIBUTION

a) Roasted coffee is highly susceptible to oxidation. When exposed to oxygen it develops a stale taste reminiscent of tobacco. This is the dominant quality change which is attributable to the reaction of the medium and high boiling volatiles with oxygen. The

speed at which this change takes place depends primarily upon the storage temperature and also on the moisture content, degree of roasting and on the mode of pretreatment.

b) As a foodstuff with low moisture content roasted

coffee is also susceptible to water vapour. Within the statutory limitation of the moisture content, increasing moisture would also appear to enhance the aforementioned aroma changes. This should be subjected to closer study if moisture contents of 4 % and above are at present being encountered with increasing frequency.

c) Its fat content and porosity render roast coffee sensitive to taint. The loss of inherent aroma is comparatively less significant, but nevertheless the loss of high volatiles can impair the balance of the aroma. To ensure a high quality level, regular checks must be maintained on absence of smell from the packaging materials employed, since ground coffee is particularly liable to retain absorbed taint.

Owing to the greater specific surface area of ground coffee all of these changes are considerably more pronounced than is the case with whole beans. To this is added the fact that, in consequence of roasting, the cells of the coffee beans incorporate a gas consisting mainly of CO₂. The magnitude lies around 4 cm³ CO₂/gr, equivalent to an overpressure of 5 bar in the cells (4). Obviously the main amount of the roasting gas is enclosed within the fine pores, since 45 % of the CO₂ enclosed within the fine pores is already liberated by grinding to a fine particle size within a period of four minutes ; the residual 55 % is rapidly diffused owing to the short diffusion path to the surface.

Temperature, partial pressure of oxygen

Formation of the stale flavour will occur within one half the time, as with many chemical processes, if the storage temperature is increased by 10 °C ; accordingly, if the storage temperature is lowered from + 20 °C to — 20 °C a 16-fold improvement in shelf life could be anticipated, i.e. for example from ten days to almost six months. Total withdrawal of oxygen should virtually eliminate loss of aroma. However, it should not be assumed that this is induced solely through oxygen ; a certain degree of importance should also be attributed to such other processes as the consequences of browning reactions at higher moisture contents.

The speed of oxydative changes depends greatly on the partial pressure of the surrounding oxygen. This is related to the overall pressure within a package as expressed by the equation :

$$p_{O_2} = c_{O_2} \cdot p_{total}, \text{ in which}$$

c_{O_2} represents the proportion of oxygen in the package (with an air factor of .209). From this it is apparent that quoting a mere figure for concentration within a package is of no definitive value in itself unless the overall pressure is stated at the same time, since a partial pressure of oxygen [p_{O_2} of 13,3 mbar (750 Torr is equivalent to 1 bar — 1000 millibar —)] would show at atmospheric pressure an oxygen concentration of 1.3 %, whereas the equivalent at an internal pressure

of 267 mbar would be 5 %. The weight of oxygen in the voids between the particles of ground coffee of a package is proportional to the partial pressure in accordance with the gas equation at a constant temperature. Ideally, in assessing the influence of oxygen on roast coffee the amount of oxygen present in a package is used as a basis, for example expressed in $\mu\text{gO}_2/\text{gr}$ of content. The limit of acceptance would then be the quantity of oxygen in $\mu\text{g}/\text{gr}$ at which the roast coffee after a distinct time is no longer sensorially satisfactory.

In the light of experience gained with other oxygen-sensitive foodstuffs (5) it is to be assumed that, also with roast coffee, the critical adsorption of oxygen is dependant upon time and partial pressure (fig. 3). This means that whereas at a low partial pressure of oxygen the tolerance limit C is reached at a far later time than, for example, with an air filling, the total permissible quantity of oxygen is nevertheless also reduced when subjected to reaction for a longer period. In a hermetically sealed package the included oxygen is absorbed by the packaged product, so that its concentration decreases accordingly. Thus, if the overall quantity of oxygen in the voids of the package filled with powder is less than the tolerance limit C at an intermediate value between the initial and final concentration of oxygen during a longer storage period, no sensorially unacceptable change is to be anticipated. However, the higher are the requirements imposed in quality in accordance with fig. 2 and the longer the storage period, the lower must be the initial oxygen concentration in the package. In respect of the chemical effect even of traces of oxygen during long times each contact with air between grinding and filling must be avoided if very long turnover times are expected.

According to findings (which, however, have little statistical evidence), supporting an initial partial pressure of oxygen of 2,6 mbar (13,3 mbar overall pressure) should not be exceeded with roast coffee for a shelf life of six months (6). In actual packaging practice the objective is to achieve an initial partial pressure of

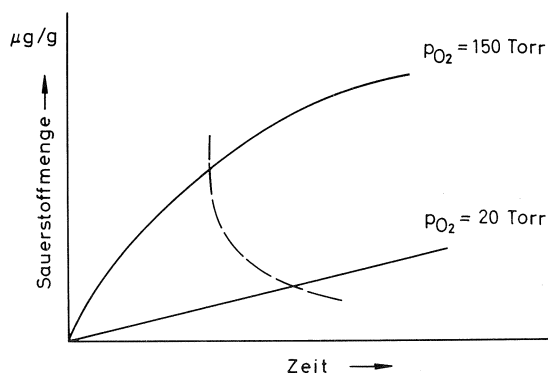


Fig. 3. — Oxygen consumption curves at two partial pressures of oxygen
 ----- = limit of flavour tolerance (C)
 (Sauerstoffmenge = oxygen content, Zeit = time).

oxygen of between 4 and 8 mbar, which at atmospheric pressure would be equivalent to an O₂-concentration of .4 to .8 %. To date only one single value has been forthcoming at atmospheric pressure for the oxygen tolerance of ground roast coffee, which was ascertained at .12 mg O₂/gr. 1 % O₂ in the gas space of a vacuum pack at p_{O₂} = 10 mbar would correspond to about .02-.03 mg O₂/gr coffee. Also if one considers, in accordance with fig. 3, that with longer storage periods and lower partial pressures of oxygen for instance at 1 % O₂ the tolerance limit could lie somewhere around

one third or fourth the value and that the sale-ability limit C in fig. 3 already incorporates an appreciable loss in quality (which should thus be assumed at a lower level), at an estimated turnover period of six weeks an adequate degree of quality should be ensured even where the initial oxygen concentrations exceed 1 % in a given package. However, until such time as precise figures have been determined for fig. 3 these can only be assumptions. Systematic investigations using improved analyses procedures have already been launched at the Munich Institute.

OPTIMISATION OF PACKAGING

Desorption of CO₂

Mixing of species prior to roasting is controlled by punched card. Within the plant the beans are carried on conveyor belts, beaker systems or pneumatic tube. Grinding in refrigerated cylinder mills follows brief intermediate storage in the sealed silo. As reports have already been given to the fifth and sixth ASIC Symposia (7, 8) concerning the relationships between degree of roasting, fineness of grinding and desorption of CO₂, we prefer to confine ourselves at this juncture to a few critical remarks on this aspect. For **vacuum packages** the desorption of CO₂ following grinding must be carried to a point where the packages remain hard and retain their shape during storage, i.e. that in the case of fine grinding there remains a vacuum of about 270 mbar below atmospheric pressure. Assuming a uniform roast level the desorptive CO₂ quantity in roast coffee depends on the partial CO₂ pressure of the surroundings area (9). With **inert gas packaging** the amount of desorption of CO₂ during distribution must be limited to the point where atmospheric pressure is never exceeded in the pack during the turnover period. This is easier to comply with, because the headspace is greater in such packages and, when using plastics, the average permeation coefficient for CO₂ is about five times that for oxygen. Consequently, taking account of the discrepancies in residual partial pressure, if the package were to be filled with CO₂ the ratio between CO₂ permeation from the package and the quantity of oxygen penetration into the package would be around twenty to one, with simultaneously retarded CO₂ diffusion from the coffee into the atmosphere within the package.

It is noteworthy that the level of in-plant CO₂ desorption has obviously been carried out on a widely empirical basis without establishing actual measured values, occurring in silos within the inherent CO₂ atmosphere of the roast product, more particularly depending on fineness of grinding over a period of between half an hour and 12-47 hours in the case of robusta beans. Whereas the quantity of roasting gases

increases in proportion to degree of roasting, the desorption period can become longer with a low roast. In one instance observation was made of intermediate storage of the ground coffee for twenty minutes in air space. This is certainly unfavourable, since one must take account of the very rapid oxygen adsorption of a coffee particle emerging from the mill with an initial partial pressure of oxygen of zero, whereas desorption is relatively slow (fig. 4). The consequence of this is that during the very short evacuation process at high machine speeds, presumably not very much physically bonded oxygen can be removed, but that rather a balance will be established in the partial pressure of oxygen within the headspace and the voids of the

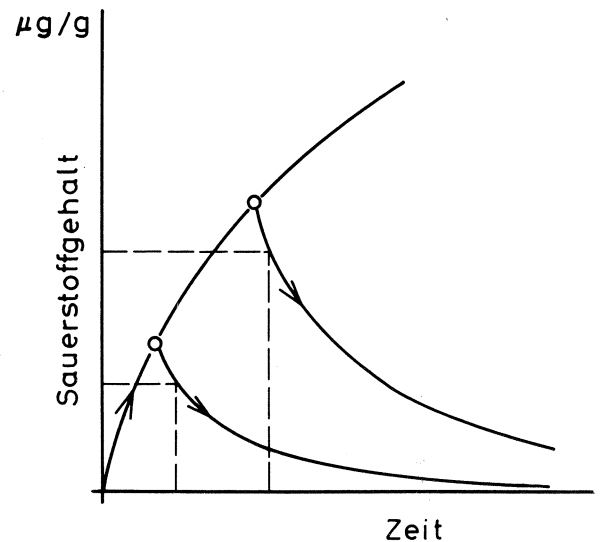


Fig. 4. — Effect caused by evacuation of ground coffee at two moments in oxygen adsorption upon desorption (diagrammatic).

— — — = end of evacuation.

(Sauerstoffgehalt = oxygen content, Zeit = time)

package during storage. In any event desorption of CO₂ is advisable in conjunction with agitation of the ground product and addition of N₂ with simultaneous evacuation of CO₂, but not into CO₂ atmosphere, as therein emergence of the CO₂ from the ground product would be impaired by the external partial CO₂ pressure.

The ground product is transported by screw or pneumatic conveyors. Despite the relatively short period involved there is no certainty, on the basis of the foregoing, that the oxygen thus absorbed can be extracted again within the short evacuation times of which the packaging machine is capable.

Dosing

Owing to the high price of coffee only the very best dosing system can be recommended if the possibilities of overweight are to be reduced. Common Market regulations approximate West German regulations, according to which the average value of weights must exceed the nominal weight and also a lower tolerance limit must be observed (10). Owing to the risk of the ground product caking and accumulating on scales, ground coffee is usually filled by means of screw type conveyors. Use of a slow-running agitator in the infeed hopper in conjunction with an agitator drum below can prevent the forming of « bridges » as well as the breakdown of a homogenous particle size distribution. The following standard variations are to be used as a basis for fillings of 250 gr and fluctuations in the specific gravity of the order of 4 % absolute :

	Standard variation
Filling without controlling monitor scale	3 gr
Filling with revertive monitor scale (controlling the screw-type doser)	1.5 gr
Filling with top-up doser, controlled by monitor scale	.2 gr

As tolerance limit I (4.5 gr with 250 gr pack) may not be allowed to display a shortfall in more than 2 % of all packs and tolerance limit II (9 gr with 250 gr pack) must not display any shortfall in any pack, to comply with the basic requirement for the average weight to equal the nominal weight over-filling can be kept smaller in direct proportion to the narrowness of the Gaussian distribution curve, i.e. in proportion to the smallness of the standard variation. Using extremely high-efficiency weighing devices it was found that with a nominal weight of 250 gr for 50 packs of ground coffee none weighed less than 249 gr (the tolerance limit II would have been 241 gr), so that it would have been possible to assume the average overweight at < .2 gr.

Manufacturers of final packs are required to maintain constant checks to show whether the average weight in process corresponds to the nominal filling weight and that the prescribed tolerances are not exceeded. For internal monitoring of filling quantities use is made of control charts (usually general charts as

used in quality control with an average value track), appropriate control of warning limits and plotted tolerance limits or automatic combinations of electronic scales and computers. In certain instances these systems are also equipped with a tendency report device processed through the computer and leading to automatic correction of the dosing rate. Use of check-weighers is not sufficient in itself, as, whereas this may prevent shortfall below the lower tolerance limits, it will not permit any monitoring of the average value position.

Mechanical packaging

Roasted beans are suitable only for a fresh service. Requirements imposed on the packaging are determined by the turnover period which can be achieved, which can be four to six weeks in continental climatic conditions, depending on the quality demanded of the ultimate brew flavour. While gas-tightness is not necessary, a certain degree of water vapour-tightness is, so that in conditions of wet and humid weather and in consequence of condensation on the outer surface of the pack when removed from the refrigerator or freezer compartment the coffee beans will not absorb moisture. Sealing with clips after use will invariably help in complying with this requirement. Protection of aroma in line with practical requirements is linked to a certain degree with adequate water vapour-tightness. As high-roast beans tend to display traces of coffee oil on their outer surface (Espresso coffee), the packer will usually opt for a grease-resistant and greaseproof lining. Former multi-layer bags consisting, from the inside outward, of detached layers of glassine, aluminium foil and regenerated cellulose film, permitting a throughput of only 60-70 packs a minute, have since been widely replaced by the single-layer bag. This usually consists of a hot-seal lacquered aluminium foil (9 µm), bonded by a laminating agent to an internally hot seal-lacquered bleached sodium paper with a basic weight of 100 gr/m². This allows a throughput rate of between 70 and 120 packs per minute. For the usual turnover periods a cheaper plastics/paper combination printed attractively would be quite adequate and, in fact, use is made in Switzerland, inter alia, of a combination base paper of 100 gr/m² coated internally with PVDC and externally with thermoplastics — and thus suitable for hot-sealing from outside.

Frequently, however, tradition is still followed widely with the use of aluminium foil and/or an outer wrapper of regenerated cellulose or PVC film, as both display a bright, attractive appearance. A tear-off strip is advisable for this wrapping. Instead of wrappers use is also made of folding paperboard cartons, which improve suitability for shelf stacking but entail higher costs for fresh service packaging. The aforementioned strip clips are more efficient than self-adhesive tape for reclosing the bag after use, but they are more costly and, as they are not flush-fitting, are not particularly suitable for bulk packing.

When employing an outer wrapper of regenerated cellulose film or PVC it is particularly important to

achieve odourless printing of the inner bag, as the wrapper will hamper diffusion of solvent residue and other odouriferous substances outward. Despite the strong inherent aroma of coffee only nominal traces of solvents may already be sufficient to cause total spoilage.

There have been some attempts to create a permanent pack from the fresh service pack for roast coffee beans. Disregarding very mild roasts this problem can no longer be resolved through the permeability of the packaging material, as a valve is required for diffusion of the desorbed carbon dioxide. Regrettably, however, the price of such valve packs is considerably higher, in addition to which they open and close only slowly, in consequence of which there is a probability of some oxygen influence remaining. The membrane should be oxygen impermeable (4).

The serviceability of roast beans is restricted if they are ground at point of purchase, as the shelf life of the ground product in an air filled package seldom exceeds one week in satisfactory quality.

Where the domestic household is equipped with a coffee grinder it is advisable to grind only as many beans as may be required for the same day or, at most, for the following day, unless the ground coffee can be stored in the refrigerator or deep freezer compartment until required. At the same time the container must be water vapour tight (e.g. a can).

Packaging of ground coffee with a low partial pressure of oxygen

Use is made of either *a*) the displacement or *b*) the evacuation principle to achieve a long shelf life. The two processes are depicted in fig. 5. With the displacement principle the sealed-in oxygen-content gas accumulating in the voids between the powder particles is flushed out by CO₂ or N₂ for several minutes (11). In the evacuation process it is extracted to an overall pressure of no more than 40 mbar within a few seconds. Packages with major leaks are ejected automatically in this process. In the former case the oxygen pressure is reduced by diffusion, more particularly the inert gas is already added to the ground coffee in the doser with simultaneous flushing of the filler tube and waiting bag. In the latter case a strong gas flow is generated by the overall pressure difference. Both methods have their inherent advantages and disadvantages. With the displacement principle the forming, filling and sealing of the tubular bag, flat seal-edge bag or the Finseal standing bag are carried out in one station, thus permitting relatively cheap machines which can easily be adapted to other market conditions and shapes or sizes. These do entail efficient maintenance, however. With the evacuation principle multi-station machines are required, with consequent high machine prices, difficult changeover of bag shapes and sizes, but a high rate of throughput.

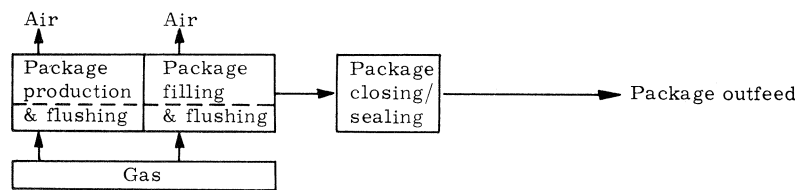


Fig. 5a. — Diagram of displacement process

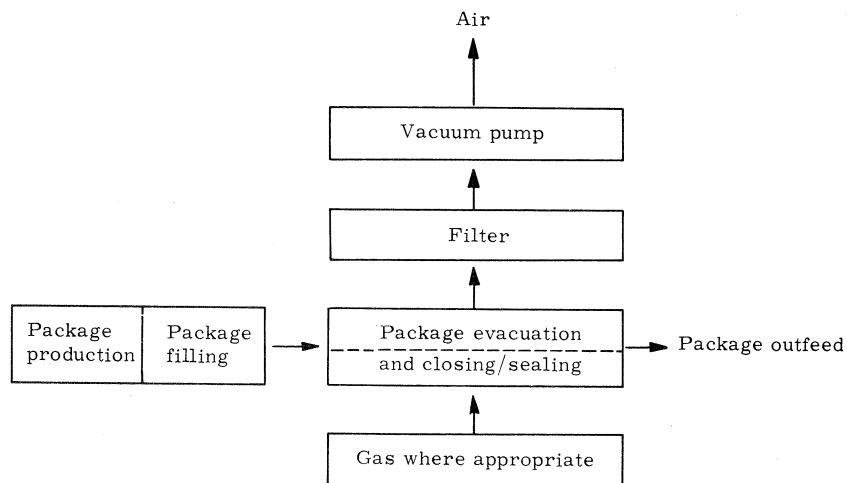


Fig. 5b. — Diagram of evacuation process

a) **Gassed bag** : the throughput rate with tubular bag machines using the gas flush process is from 20-60 packs per minute depending on size of pack. Oxygen tightness requirements depend on the main sector of use. In the Federal Republic of Germany this is the supply of cafeteria type of restaurants and canteens, which account for 10-15 % of the market and is at present a growth sector. Tubular bags are used in filling weights of 100-500 gr, depending on coffee-making equipment, and for this purpose the bags are packed directly into shipping cartons. In the USA gassed seal-edge standing bags are used with a capacity up to seven litres in the institutional market. Theoretically it should be possible to maintain a more efficient and rapid watch on turnover time than is the case with domestic consumers. Estimating this at not more than 6 weeks the oxygen concentration within the pack should not greatly exceed 1 % in order to avoid a loss of flavour within that time (*). Adequate for this purpose are for example film combinations of 12 μm PETP/2 μm PVDC and 70 μm LDPE with an oxygen permeability of approximately $10 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ d.bar}$ (and a water vapour permeability of .6 $\text{gr}/\text{m}^2 \text{.d}$ under normal conditions) and possibly co-extruded films of PA/LDPE, possibly with aluminium vapour deposition or vacuum metallized combinations of oriented PETP/LDPE or Surlyn (USA) however, owing to the absence of efficient heat conductivity by comparison with aluminium foil the seams remain hot for a longer time, and, in consequence, the throughput rate has to be reduced. It is also necessary to make some provision for static discharge in order to prevent the seal surfaces from being coated with coffee dust. The use of foil combinations when aluminium foil is employed (the type of combinations discussed in the vacuum packages hereunder) is imperative if it is too difficult to ascertain the full scope of consumption. The degree to which this is still the case in the gastronomic sector is as yet unknown, but this danger is greater in the retail trade. Nevertheless there is an increasingly predominant use of gas packaging for the domestic market at present in Denmark, Norway and in Jugoslavia.

b) **Evacuated and partially evacuated packages** : for shape-retentive, easily stackable vacuum bags use is made of combinations consisting usually of 12 μm PETP/12 μm Al/70 μm LDPE.

The package is opened with the aid of a notch in the seal seam. The outer wrapper is either an attractively printed paper to produce a particularly economic vacuum pack or a folding paperboard carton from which the upper half can be torn off to leave a rigid card « pedestal » for the opened pack. The carton is relatively costly (fig. 6, right). The overall pressure in the inside bag after evacuation ranges between 20 and 40 mbar ; as a consequence of desorption of CO_2 it

should not exceed 735 mbar, as then the content would feel soft and prove unsaleable. Each time coffee is removed the inside bag should be rolled in, which is quite easy but is obviously not done regularly in practice. The throughput of such machines is around 70-110 packs per min.

Tin-cans are evacuated after filling and then gas is introduced to an overall pressure of between 133 and 266 mbar using N_2 or CO_2 (according to price). If the full vacuum would be left after removal from the evacuation chamber it would be necessary to increase the sheet metal thickness, whereas excessive initial pressure could result in over-pressure inside the can subjected to heavy desorption of CO_2 , triggering off a mini-fountain of coffee on opening the easy-open closure. With efficient evacuation it is possible to achieve a partial pressure of oxygen 5 mbar, but up to 10 mbar has been observed on occasion at higher throughput rates. Because the percentage of untight cans must be kept very low, it is necessary to carry out concentration measurements at least three times daily on the cans from each chamber. After opening the can, each time coffee is removed subsequently the can is re-closed by means of a medium-density PE cover which does not form a perfect seal against the can wall.

The shelf life of ground coffee in cans and in gas tight vacuum bags ranges from six to twelve months (based on data supplied by the trade) depending on the quality standard and storage condition.

Owing to the success of the tin can as a low-oxygen package manufacturers of other packaging materials have been making unceasing efforts to equal its advantages but using cheaper materials. In this context particular stress has been laid on trouble-free opening and easy re-closing of the tin can using a plastic cover — i.e. the inherent convenience aspect of this packaging method in general. Resultant concepts have been based on rectangular paperboard cartons with inner bags, e.g. using the aluminium foil laminates which have proved so popular for vacuum bags and which are either slit open at the top or opened by means of a tear-off strip (fig. 6, p. 170). After opening the inner bag the carton is closed by means of a cover. The advantages claimed for this type of design are, for example, elimination of empties, as the inner bag material is taken from the roll and the carton material from the stack, lower price of packaging material, improved utilisation of pallet space and shelf space by comparison with a cylindrical can and a larger amount of space for advertising matter owing to the rectangular or square configuration. Measured partial pressures of oxygen within the inside bag 4 to 6 mbar. Throughput rates 90-100 packs per minute.

In principle, aluminium foil laminates compete with tin plate for vacuum and partial vacuum packs. In both cases the tightness of the unopened container is identical, but in both cases a regular check of the seal tightness is of enormous importance ; in the case of tin cans this requires particularly a check as to whether coffee dust has remained adhering to the plate and with soft packs the locations of the hot seal have to be kept free of coffee dust and the sealing jaw temperature must be monitored automatically. Particular danger is

(*) In respect to the tolerance limit we have to consider : if the package is hermetically tight, then the headspace oxygen will disappear in a distinct time by adsorption and by chemical reactions. Into an oxygen permeable package oxygen diffuses continuously and this means that in case of the same initial oxygen concentration the reacting amount of oxygen would be higher and the shelf life shorter

posed here to any creases, so that it is essential to employ a pliable laminate bonding agent and the bag design has to be kept as simple and uncluttered as possible. As one single pinhole, for example at the points of intersection of two seals or creases would render a vacuum package useless, it is necessary to maintain regular checks for absence of pinholes. Inso-

far as safeguarding of raw materials supplies is concerned it is worth pointing out that tin cans can be sorted from rubbish relatively easily and then recycled, but the problems of recycling combination packaging materials have not yet been resolved. Nevertheless some amount of energy can be recovered through combustion.

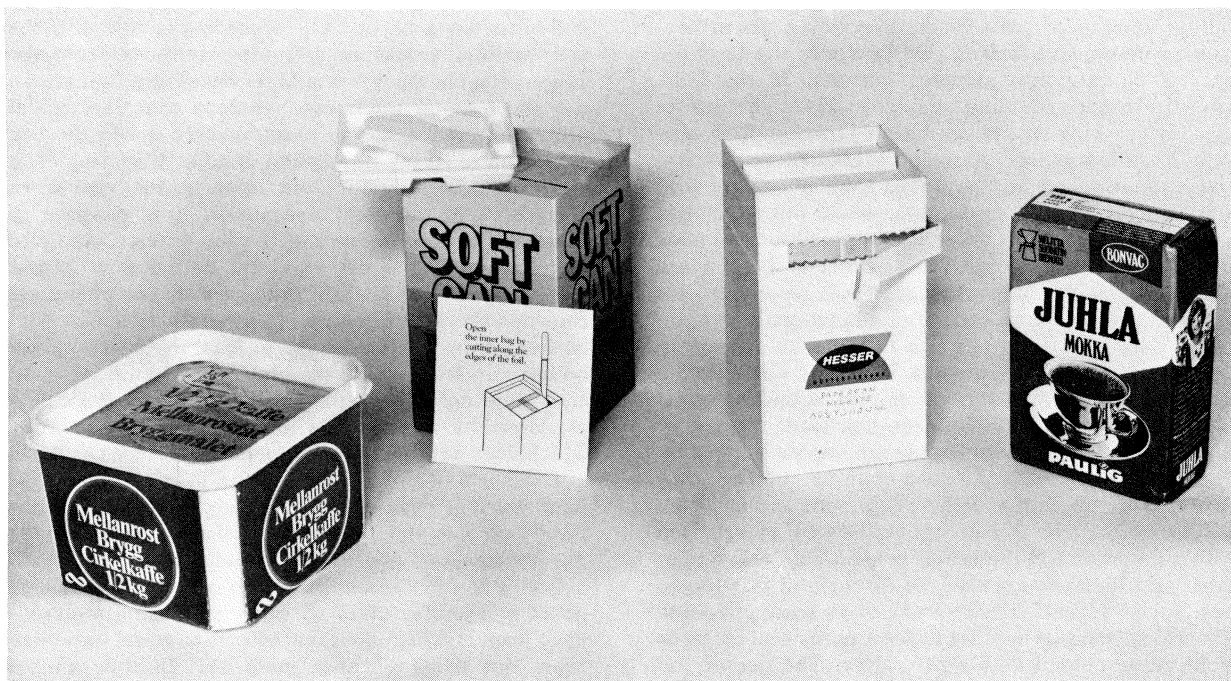


Fig. 6. — Recent types of vacuum packs

SHIPPING PACKAGES

Frequently an automatic palleting unit will follow immediately after the erecting machine for corrugated cartons and filling system for twenty-four packs at 250 gr or twelve packs at 500 gr. As is common knowledge, distribution is highly personnel-intensive ; in principle, it would be possible to save 2/3 of the time for re-stocking foodstuffs for sale if composite retail packs are delivered instead of single consumer packs. Owing to the wide range of brands and types involved this does give rise to difficulties with coffee, so that it becomes necessary to adapt the retail packs to the sales volumes of each company in the various types of marketing outlet (retail, chain stores, hypermarkets, cash and carry, wholesale). The ideal solution would be delivery by Europallet units (80 × 120 cm), comprising 110 × 6 kg packs to a height of 1.8 metres overall in 500 gr individual packs (1/2 pallet .9 metres in height carrying half the quantity (*)) (fig. 7 and 8).



Fig. 7. — Specimen palleting of vacuum bags

$$*) \frac{12 \text{ packs}}{\text{container}} \times \frac{11 \text{ containers}}{\text{layer}} \times \frac{5 \text{ layers}}{\text{pallet}} = \frac{660 \text{ packs ground coffee}}{\text{pallet}}$$

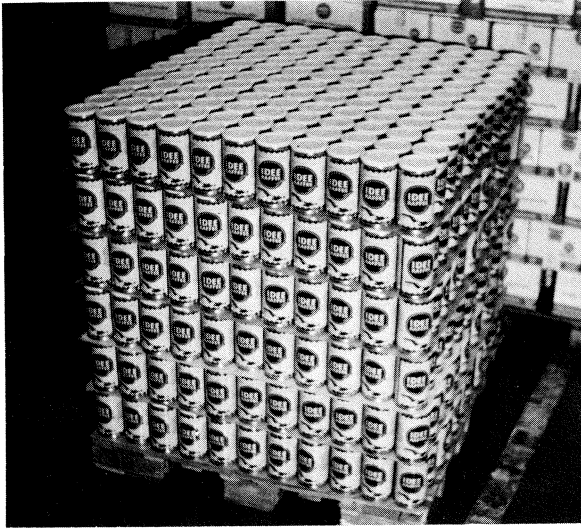


Fig. 8 — Specimen palletting of tins

Specifically for the cash and carry trade shipping cartons have recently been replaced, at approximately the same price, by shrink packs with tray which can

easily be subdivided into two 3 kg-units (fig. 9). Intervention by the wholesalers may possibly result in savings at the marketing end which could well be utilised for market-improving measures.

In general further progress is to be anticipated in rationalisation and simplification of distribution.

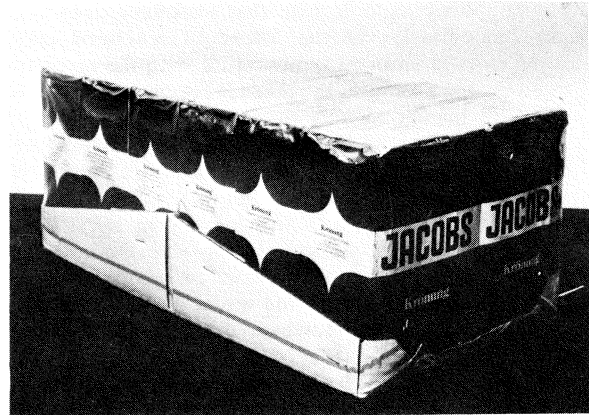


Fig. 9. — Shrink pack with tray, overall net weight 6 kg, in two units of 2 × 3 kg

MARKETING AND CONSUMERS

The basic question as to the ideal package for the retail trade depends on the manner in which marketing is to be pursued. In view of the fact that a considerable proportion of consumers grind **coffee beans** at point of purchase, the loss of quality during the period of consumption in the household can be disregarded only if the ground roast coffee is stored in the refrigerator or freezer compartment in a reasonably water-vapour-tight pack.

With **vacuum packages** for ground coffee it is to be assumed that 95 % will normally be sold within one month, but nevertheless, particularly in poorly organised shops, it is quite possible for remainders to stay for several months on the shelf and, obviously, also in the consumer's cupboard. It therefore becomes a question of conscience for packers and for the trade as to the shelf life for which a package should be designed.

Fresh service and **vacuum packing** both have their advantages. However, there is no doubt at all that the prospects of the fresh service stand and fall by an optimum distribution system. This gives rise to a question of calculation, which cannot be assessed without some degree of insecurity by the outsider. Presumably a number of aspects will cause a constantly changing state of equilibrium to occur very similarly to that between pasteurised fresh milk and aseptic

packaged high-temperature short-time (HTST) sterilized milk. For reasons of cost the individual coffee roaster will specialise increasingly to the one or other marketing method.

Optimisation on size for the individual pack depends on the average consumption. In the Federal Republic of Germany this is 6 kg per head per annum, in Austria 4 kg, in Finland 10 and in Denmark 12 kg. Assuming a family with four coffee drinkers making a weekly purchase, based on the former consumption figure we would arrive at an optimum figure of 500 gr, or for the family with two coffee drinkers a package of 250 gr in the Federal Republic of Germany would be optimal.

In the case of ground coffee stored under low partial pressure of oxygen the usual mode of removal could be decisive for the quality level for the consumer. Assuming removal twice daily of 25 gr quantities from a hermetically sealed rigid 250 gr package the pack would have been opened ten times within five days. If it is further assumed that subsequent desorption of CO₂ during this period can be disregarded and, with a rigid pack, the period during which it is open on each occasion is adequate for the increasing headspace to be filled with air, then prior to the final extraction roughly 90 times the oxygen quantity would have come into contact with the coffee remaining in the package than

would have been the case during storage of the package contents at an oxygen concentration of 1 %. But also if the voids between the powder particles of a rigid pack were to be filled only once with air — and normally this occurs already when coffee is removed for the first time — this would constitute an oxygen quantity of the order of approximately .45 mg O₂ per gr of coffee. This is many times the tolerance limit at atmospheric pressure. Whereas it is true that staleness does not occur immediately, as the attendant reactions take several days at ambient temperature with the ambient oxygen partial pressure, the more pronounced has been the loss in quality already during preliminary storage between roasting and sale the more restricted will be the margin at the consumer end. After 7 1/2 months it would already have reached the limit of satisfying quality in accordance with the curve c in fig. 10.

Owing to the rapid gas interchange when the cover is opened it is of no great importance whether, after opening the vacuum pack, the cover gives a more or less oxygen-tight seal. However as, in this case also, the deterioration in quality through the influence of oxygen can be reduced significantly only by intermediate storage of the re-closed pack in a refrigerator or freezer compartment, it is imperative for the cover to be water vapour tight, which has not always been the case hitherto with rectangular covers of all types.

If this manipulation is to be avoided, the question arises as to whether it might not be a logical solution for preserving quality during removal if the selling unit were to be broken down into 100-125 gr batches in gassed tubular bags or evacuated inner bags. Either the inner bag is manufactured of comparatively cheap plastic coated materials, since thereby the content of one batch or portion is used up rapidly after opening the outer envelope of the vacuum package of impermeable aluminium foil laminate, or the latter is used for the individual bags with only a regenerated cellulose wrapper or a transparent shrink film then being required as a multi-portion bag. This is cheaper than using a paperboard carton.

As this approach comes very close to an optimum package it has already been recommended for the past twenty years (12, 13). The fact that this solution has met with such little success to date could well be attributable to the failure to acquaint the consumer sufficiently with the advantages it offers in respect of quality.

It is assumed that the overall costs of a bag used in the fresh service reach only a proportional ratio near .5. Depending on choice of vacuum pack it is possible to deduce from the difference or discrepancy what amount is available for the high fresh service distribution costs.

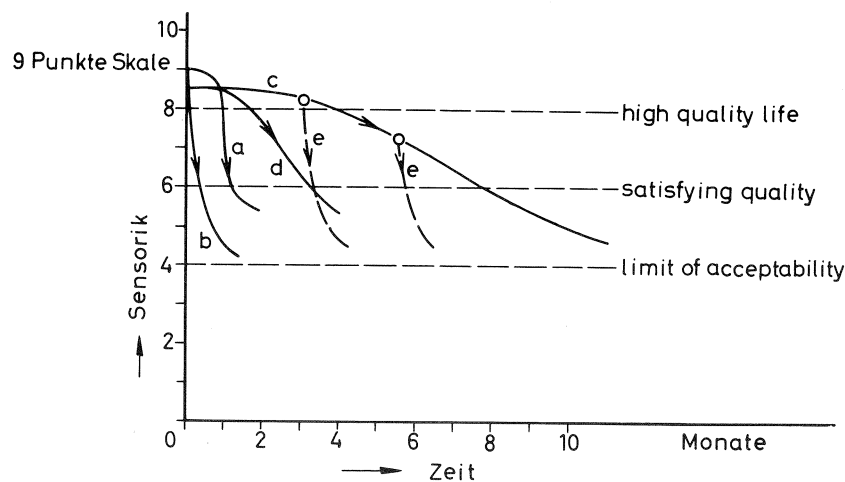


Fig. 10. — Quality loss in roast coffee during turnover (schematic) at ambient temperature.

- a) Fresh-roasted whole beans } in contact with air.
 - b) Ground beans }
 - c) Ground roast coffee either at low oxygen partial pressure hermetically sealed or freezer-stored.
 - d) As c) but package not totally oxygen-impermeable.
 - e) Quality loss in consumption of c) in domestic household. No statistical evidence has yet been established as to wheer the initial value of c) and d) is somewhat lower than that of a) and b).
- (9 Punkte Skale = 9-pint scale, Zeit = time, Monate = months)

Table I. — The relative overall costs (after leaving the packing machine) of various packing possibilities should lie in approximately the following magnitudes (*):

	Proportion
a) Double-layer vacuum bag for 500 gr	1
b) 2 vacuum bags for 250 gr and a common regenerated cellulose wrapper (fig. 11)	1.55
c) Vacuum bag for 500 gr in outer carton	1.6
d) 500 gr carton with vacuum inner bag (fig. 6)	ca. 1.65
e) 4 evacuated inner bags for 125 gr within a common regenerated cellulose wrapper	2.1
f) 4 evacuated inner bags for 125 gr in a gassed outer bag	2.5
g) Vacuum can 500 gr	ca. 2.8-3.7

(*) Based on data given without obligation by sources within the industry; it must be taken into account that the proportion of packaging materials costs fluctuates between 73 and 86 % and can vary considerable according to the market situation.



Fig. 11. — Two vacuum bags and a common regenerated cellulose wrapper (as per table I, item b)

THE FUTURE

One of the conclusions drawn by G. J. Lutz in his address to the 7th ASIC Symposium was: « When processing for convenience the focus should be on retaining maximum flavour and aroma potentials at each step in the process ». In any processing chain it would obviously be particularly inefficient for something to go wrong in the final stage, as this would nullify all that had gone before. This brings up the question as to whether everything possible has so far been done in the « packaging » phase to preserve the fresh roast aroma during the turnover period. The reply to this is that, despite all successes achieved on an empirical basis by comparison with the packaging of meat and meat products, dairy products, confectioneries — to take but a few examples — a deeper understanding of the storage changes and their diverse

causes during the individual processes between roasting and consumption is still to be established in connexion with the packaging of roast coffee. Consequently it has been possible in this report to plot the curves only in schematic form and some gaps have had to be left in the background text. Whereas new and spectacular discoveries are unlikely to materialize, detailed approach will lead to a better mastery of many hitherto relatively disregarded factors affecting use and contingencies. Terms of reference in this sector also embrace further development of testing techniques and process monitoring. The scope for rationalisation can be better exploited in this manner and a higher level of enjoyment for the consumer secured. Some form of joint research should be a prime objective, notwithstanding the hard competitive situation which exists.

REFERENCES

1. R. HEISS. — The product, the pack, the distribution (the problems of a total system). *Lebensmitt.-Wiss. u. -Technologie*, 10 (in the press).
2. J. GUTSCHMIDT. — The storage life of frozen chicken with regard to the temperature in the cold chain. *Lebensmitt.-Wiss. u. -Technologie*, 7 (1974), p. 137-141.
3. R. HEISS, R. RADTKE. — Empfehlungen für die Mindestanforderungen an die Beschaffenheit von Lebensmittelverpackungen X. Röstkaffee. *Verpackungs-Rundschau*, 25 (1974), Techn.-wiss. Beilage, p. 31-32.
4. R. RADTKE, R. HEISS. — Das Problem der CO₂-Desorption von Röstkaffee unter dem Gesichtspunkt einer neuen Packstoffentwicklung. *Kaffee und Tee-Markt* (1975), n° 17, p. 1-8.
5. W. HERLITZE, R. HEISS, K. BECKER, K. EICHNER. — Die Sauerstoff-Empfindlichkeit von Lebensmitteln und die

Berechnung einer verkaufsgerechten Kunststoff-Verpackung. *Chemie-Ing.-Technik*, **45** (1973), p. 485-491.

6. N. BUCHNER, R. HEISS. — Die Gaslagerung von Bohnenkaffee. *Verpackungs-Rundschau*, **10** (1959), *Techn.-wiss. Beilage*, p. 73-80.

7. R. RADTKE. — Überblick über den heutigen Stand der Verpackungstechnik für Röstkaffee unter besonderer Berücksichtigung der Aromaerhaltung. *D.L.R.*, **69** (1973), p. 404-410.

8. R. HEISS, N. BUCHNER. — Probleme bei der Verpackung von Röstkaffee in Vakuum- und Gaspackungen aus Folien hoher Gasdichtigkeit. *Verpackungs-Rundschau*, **14** (1963), *Techn.-wiss. Beilage*, p. 67-74.

9. K. DÜRICHEN, R. HEISS. — Physikalische Überlegun-

gen zur Verpackung von Röstkaffee in Weichpakungen. *Verpackungs-Rundschau*, **21** (1970), n° 5, *Techn.-wiss. Beilage*, p. 35-41.

10. Vierte Verordnung zur Änderung der Fertigpackungsverordnung. *Bundesgesetzblatt*, Teil 1, n° 149, 28 Dez. 1976.

11. K.C. DOMKE. — Erfahrungen mit der Schutzgas-Verdrängungsmethode für sauerstoffarme Weichpackungen. *Verpackungs-Magazin* (1971), p. 51-58.

12. R. HEISS. — Untersuchungen über die Verpackung von Bohnenkaffee. *Verpackungs-Rundschau*, **2** (1955) *Techn.-wiss. Beilage*, p. 1-6.

13. N. BUCHNER. — Maschinelles Verpacken von Kaffee — Methoden und Materialien. *Kaffee- und Tee-Markt*, **21** (1971), p. 16-17.

HEISS (R.), RADTKE (R.). — **Emballage et commercialisation du café torréfié.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 163-174, fig., tabl., réf.

1. L'emballage, système intégré.
2. Exigences industrielles de la torréfaction à la mouture et à l'emballage.
3. Importance économique du café moulu/café en grains. Café fraîchement torréfié/emballage sous faible pression partielle d'oxygène.
4. Impératifs d'emballage pour le café torréfié.
5. Conséquences pour le choix des matériaux d'emballage ; problèmes correspondants relatifs à l'environnement.
6. Conservation.
7. Critique des modes d'emballage usuels pour les petits et grands utilisateurs.
8. Emballeuses, précision de la pesée, étanchéité.
9. Exigences au cours du transport.
10. Emballage pour le transport et le magasin.
11. Rapidité d'utilisation ménagère et qualité.
12. Conclusions et tendances.

HEISS (R.), RADTKE (R.). — **Packaging and marketing of roasted coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 163-174, fig., tabl., réf.

1. Packaging as an integrated system.
2. Industrial requirements from torrefaction to grinding and packaging.
3. Economical importance of the ground roasted coffee/regular coffee. Freshly roasted coffee/packaging under low partial pressure of oxygen.
4. Imperatives for the packing of roasted coffee.
5. Consequences for the choice of packing material ; problems related to the environment.
6. Preservation.
7. Criticism of the usual packaging methods for the retail trade and for institutional consumption.
8. Packing machines, weighing precision, tightness.
9. Requirements for transport.
10. Packaging for transport and storage.
11. Household consumption rapidity and quality.
12. Conclusions and trends.

ESTUDIO DE LAS OPERACIONES CAFETERAS A TRAVÉS DE MODELOS MATEMÁTICOS (EL DESARROLLO DE UNA IDEA)



B. MARTINEZ-VILLALBA

La Constanza, Bucaramanga, Colombia

Introducción

El mundo del café en un país productor de los frutos de las Rubiáceas ha sido estudiado en un modelo (1) que facilita reconocer, en cualquier ocasión, « en donde estamos y hasta donde queremos llegar » cuando se explora en cosmovisión, con criterio profesional, extensamente, la totalidad de los fundamentos, de todo orden, de la producción, la distribución y el consumo de este sector de la economía.

Sin embargo, al situarse más cerca del mismo universo, a la altura donde se realizan las operaciones cafeteras, y considerando las relaciones internacionales efectuadas en la comercialización de este producto, se descubre una región que, por lo tupida, es difícil de observar y ponderar con solo la guía del criterio científico y del sentido común, pero, si bien, sin muchos instrumentos de medida ni herramientas de trabajo.

Aún después de poner en orden los elementos encontrados en tal territorio (ver el cuadro I p. 176) — que son los contemplados en una obra (2) que cubre el tema — uno halla que para poder comprender la economía cafetera se debe disponer de conocimientos técnicos muy vastos tanto así como de una capacidad analítica muy especial, que no siempre se pueden utilizar por falta de información histórica y/o estadística.

Así, como un ejemplo, los efectos de las políticas de precios internos sobre la producción doméstica y sobre

el mercado mundial del café han sido examinados para el Brasil, en base a una inmensidad de revelaciones económicas, con la debida consideración a la estructura y a la conducta del mercado mundial de este fruto (3).

De igual manera, se han llevado a efecto observaciones econométricas, en donde se relacionan dentro del tiempo algunas variables como el ingreso nacional y el consumo en diversos países industrializados (4).

En tal forma, es apenas obvio que no muchos tendríamos la facultad y/o los medios para hacer estudios de esta naturaleza.

De todos modos, para participar con aspiraciones de triunfo en la vida del café de los países productores, se requiere penetrar en su funcionamiento, para entonces conocer cuales son las relaciones de causa y efecto entre sus componentes al propio nivel en donde se realizan las operaciones cafeteras.

En este artículo se expone cómo se desarrolló la idea de hacer dicha incursión valiéndonos de una representación gráfica que facilite hacer las evaluaciones necesarias a través de modelos matemáticos.

La situación cafetera vista sobre una imagen

Los elementos de la economía del café contenidos en el cuadro I se ordenaron nuevamente, sobre una imagen (en estudio), en forma análoga con un sistema de distribución de agua (ver la figura 1, p. 177, al fondo), el cual funciona dentro de un habitat, para atender una demanda, haciendo uso de unos tanques de aprovisionamiento, un equipo de bombeo, una red de tuberías para conducción del fluido, y un consumo definido — todos los cuales están inter-relacionados entre sí por medio de sistemas.

Así (ver la parte superior de la figura 1), nació la idea de que los países productores de café operan dentro de sus aspectos culturales a través de sistemas de información, control, operaciones y funcionamiento (5) para atender un mercado mundial de productos primarios (que no es absolutamente libre ni abierto) formado por las naciones consumidoras. Igualmente, se concibieron los siguientes cuatro campos integrados por los macro-componentes de la economía del café para un país productor :

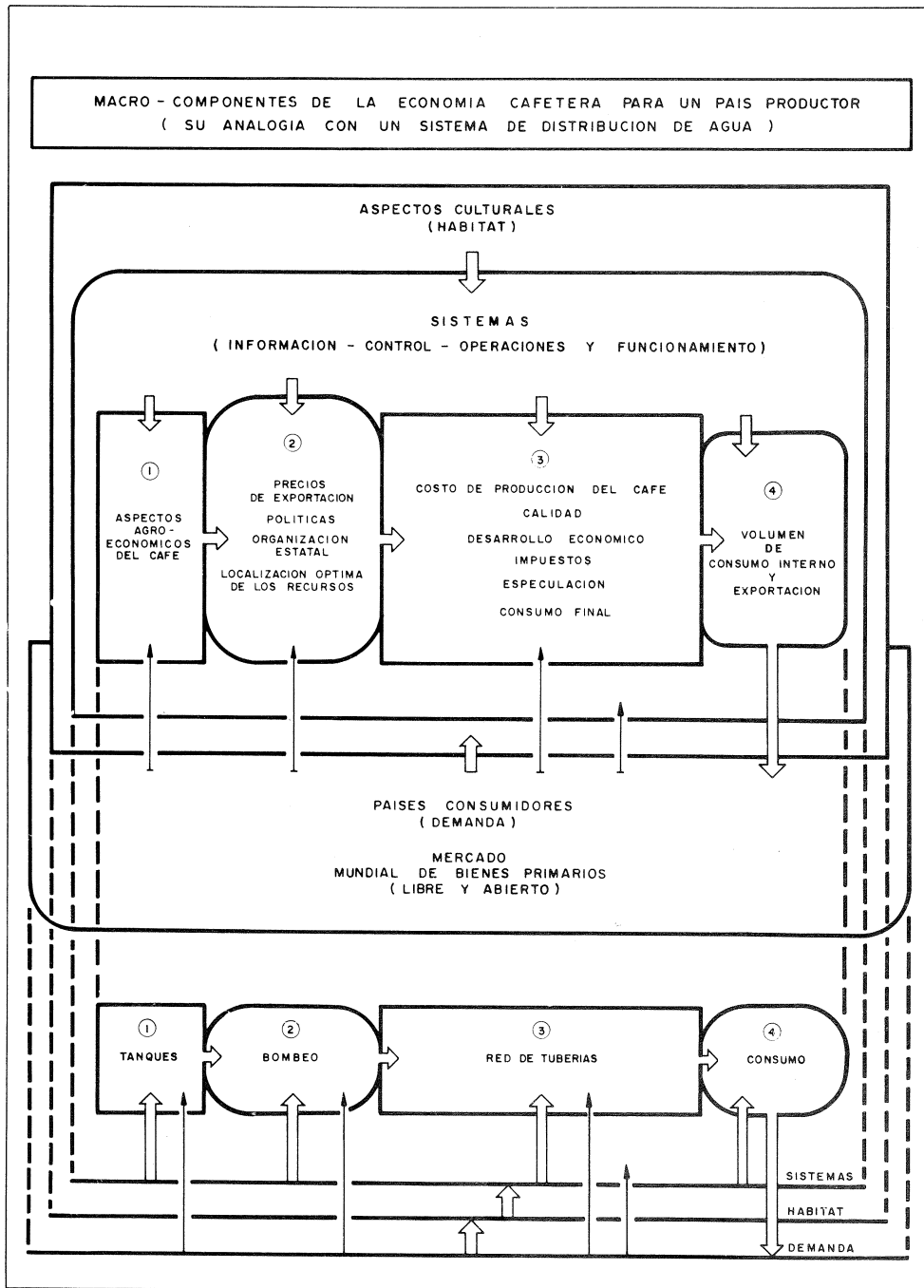
Cuadro I

MACRO - COMPONENTES DE LA ECONOMIA MUNDIAL DEL CAFE	
PAISES PRODUCTORES (OFERTA)	PAISES CONSUMIDORES (DEMANDA)
I) ASPECTOS AGRO-ECONOMICOS DEL CAFE A - CAPACIDAD DE PRODUCCION (A CORTO Y LARGO PLAZOS): 1) PROCESAMIENTO a - CULTIVO b - RECOLECCION c - FERMENTACION d - SECAMIENTO e - LIMPIEZA 2) AREA UNIDADES DE PRODUCCION (TAMAÑO Y NUMERO) 3) PLAGAS Y ENFERMEDADES 4) CAFETOS (EDAD): a - REHABILITACION b - EXTIRPACION c - RENOVACION d - SIEMBRA DE NUEVOS CAFETALES 5) HABITANTES 6) SUELOS 7) TOPOGRAFIA 8) ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR 9) FACILIDADES DE ALMACENAMIENTO 10) INFRA - ESTRUCTURA B - MERCADERO ESTACIONAL: 1) CICLOS: a - CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS HELADAS (SEVERAS, LIGERAS) SEQUIAS LLUVIAS b - GESTACION (DOS AÑOS) c - VIDA d - TIEMPO REQUERIDO PARA PRODUCIR LA 1ª COSECHA e - COSECHA DE ARBOL 2) COMERCIO a - INTERNO b - EXPORTACION c - INTERMEDIARIOS C - OTRAS COSECHAS	I) PRODUCTO NO-HOMOGENEO (GUSTO) A - BRASILEÑOS: 1) SAO PAULO (BLANDO) 2) PARANA (DURO) 3) ETIOPIA B - SUAVES 1) PAISES AMERICANOS 2) ETIOPIA 3) KENIA C - ROBUSTAS 1) COSTA DE MARFIL 2) ANGOLA 3) UGANDA 4) CAMERUN 5) MADAGASCAR II) FLUCTUACIONES DE PRECIOS III) PRODUCTO FINAL A - TOSTADO 1) TIPOS DE MEZCLAS 2) "FILLERS" B - INSTANTANEO "STRETCHERS" C - PROCESAMIENTO INDUSTRIAL 1) GENERAL FOODS 2) NESTLE D - RESTRICCIONES GUBERNAMENTALES IV) ESPECULACION V) EQUILIBRIO (A CORTO Y LARGO PLAZOS) VI) RIESGOS VII) SITUACION ECONOMICA A - INGRESO B - IMPUESTOS C - SOSTENIMIENTO DE "STOCKS" D - RESERVAS DE DOLARES E - POBLACION CONSUMO PER-CAPITA CONSUMO FINAL EXIGENCIAS DEL CONSUMIDOR A - SABOR Y AROMA B - TAZAS POR LIBRA MERCADO MUNDIAL DE PRODUCTOS PRIMARIOS I) ESTRUCTURA DEL MERCADO: A - PRODUCCION: 1) BRASILEÑOS (MONOPOLIO) 2) SUAVES (OLIGOPOLIO) 3) ROBUSTAS (TEILOGOPOLIO) B - CONSUMO 1) SOLIBLES (OLIGOPOLIO) 2) MEZCLAS a - PRIMERA CALIDAD (OLIGOPOLIO) b - SEGUNDA CALIDAD (POLIPOLIO) II) CONDUCTA DEL MERCADO III) CANALES DE MERCADERO CENTROS COMERCIALES (USA, EUROPA): 1) INMEDIATOS 2) FUTUROS ("HEDGING") IV) COMPETENCIA (PURA, MONOPOLISTA): A - "EXCEPTIONS" 1) "GENUINE" 2) "CONDITIONAL GENUINE" B - GUERRA DE PRECIOS DESVIACIONES DE UN MERCADO LIBRE Y ABIERTO I) ACUERDOS A - REGLAS ESTABLECIDAS EN EL COMERCIO INTERNACIONAL B - RESTRICCIONES DE EXPORTACION C - CUOTAS II) PRACTICAS RESTRICTIVAS
II) ORGANIZACION ESTATAL (GUBERNAMENTAL O SEMIAUTONOMA) A - INTERVENCION B - REGULACIONES C - MEDIDAS D - BANCO NACIONAL	
III) UTILIDADES NETAS (GANANCIAS POR EXPORTACION)	
IV) POLITICAS A - FIJACION DE PRECIOS B - PRODUCCION C - FINANCIACION 1) SUBSIDIOS 2) FONDOS DE INVERSION D - DIVERSIFICACION E - EXCEDENTES	
V) " STOCKS "	
VI) CALIDAD	
VII) COSTOS DE PRODUCCION DEL CAFE	
VIII) LOCALIZACION OPTIMA DE LOS RECURSOS: A - TIERRA B - TRABAJO C - CAPITAL D - TECNOLOGIA: 1) BOTANICA 2) BIOLOGICA 3) FERTILIZANTES 4) MAQUINARIA	
IX) IMPUESTOS: A - PRECIO DE SUSTENTACION B - DIFERENCIAL C - REINTEGRO D - RETENCION E - OTROS	
X) DESARROLLO ECONOMICO A - BALANZA DE PAGOS B - TASA DE CAMBIO C - INFLACION D - ENTRADAS BRUTAS	
XI) ESPECULACION	
XII) VOLUMEN DE CONSUMO INTERNO	
XIII) VOLUMEN DE EXPORTACION	
XIV) PRECIOS DE EXPORTACION	

- (1) Aspectos agro-económicos del café.
- (2) Lo pertinente a precios de exportación : políticas, organización estatal, localización óptima de los recursos.
- (3) Lo concerniente con el consumo final : costos de

- producción del café, calidad, desarrollo económico, impuestos, especulación.
- (4) Volúmenes de consumo interno y de exportación.

Fig. 1.



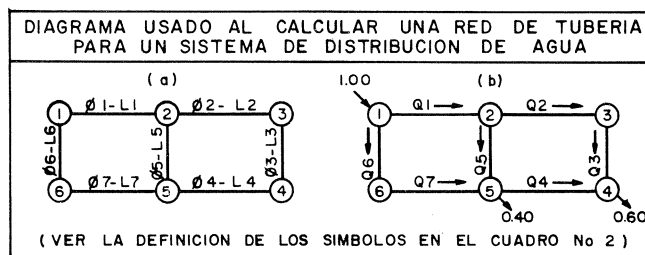
Particularidades de un sistema de distribución de agua

El funcionamiento de los componentes de un sistema de distribución de agua se puede estudiar en el laboratorio y/o a través de modelos matemáticos. En tal forma, al calcular una red de tuberías, el ingeniero dispone de técnicas e instrumentos de medida para

evaluar la capacidad del sistema en cada uno de sus componentes. Entonces, él puede hacer los cálculos requeridos en base al conocimiento que él tiene (fórmulas, gráficos, diagramas, etc.) acerca de cómo varía la pérdida de presión a lo largo de cada conducto para diferentes flujos de agua.

Como un ejemplo, en el caso sencillo de la red mostrada en la figura 2 (a), página 178, se puede estimar cómo se va a disponer de la presión generada

Fig. 2.



por el equipo de bombeo sobre el agua almacenada en los tanques de aprovisionamiento ; y, con las técnicas del caso, se puede apreciar cómo va a fluir el agua (en $m^3/seg.$), del modo indicado en la figura 2 (b).

Algunas consideraciones generales acerca de la situación cafetera (Inspirado en 6)

El análisis de las operaciones cafeteras de los países productores no es tan solo la evaluación de lo concerniente con el consumo final o de cualquiera de los otros campos definidos en la imagen en estudio conforme lo anotamos anteriormente (ver la figura 1). Uno no debe perderse en los encantos que ofrece la investigación — ya sea a través de cuadros, diagramas, reglas de cálculo, modelos, computadores, o cualquier otro instrumento. No se debe perder contacto con la economía del café.

Observemos primero el problema en términos generales (al nivel internacional) y veamos qué es lo que vale la pena hacer al estudiar la economía del café antes de entrar en los detalles. Hablemos con un consumidor (comerciante, fabricante) ... Qué preguntas hace ? Pueden ser —

Cuanto café puedo comprar en este país ? ... A qué precio ? ... Si el de la competencia (el que paga lo mismo que yo por el grano) compra tanto café, como me afecta ? ... Cual es la demanda (relaciones entre volumen y precio de consumo) del producto que yo compre ? ... Cual es el consumo de otros ? ... Es un buen negocio ?

Estas preguntas son bastante centradas al rededor de « yo », « mi », no es cierto ? Eso puede estar bien excepto en los dos extremos —

Quando a « mi » no me interesa qué le pasa a los « otros » mientras « yo » consigo lo que « yo » quiero ... y

Quando a « mi » no me interesa cual sea la demanda mientras « otro » me venda lo que « yo » compre — a satisfacción « mía ».

No se debe olvidar que para « otro » *uno* puede ser el de la competencia.

Acercámonos más al problema de la economía del café en un país productor : es claro que en la comercialización del café no se puede adquirir una mayor cantidad del fruto de aquella que se produce. (Este es el principio de continuidad, que también se aplica en

hidráulica). También es claro que el café se le entrega al consumidor a costa del precio de exportación y de la demanda que tenga el grano. — Al menos que el consumidor invada los mercados de otros, o cree nuevas plazas, él debe vender lo que compra, a través de los medios existentes.

El consumidor quiere suficiente café con algunas reservas para emergencias, para satisfacer una demanda que él puede atender. El consumidor está dispuesto a realizar acuerdos *razonables* con aquellos que no interfieren en sus negocios (los que pagan más que él por el café) para arreglárselas en períodos de escasez ... pero él puede ser menos caritativo con los de la competencia. Sí, el análisis de las operaciones cafeteras de los países productores no es tan solo la evaluación de lo concerniente con el consumo final.

Es necesario indicar cómo, quién estima el manejo de la economía del café en un país productor asume (ver las flechas delgadas de la figura 1) que ningún consumidor tiene dominio alguno sobre los campos que la integran. De igual manera asume que los sistemas son manejados independientemente, o sea que ni el consumidor ni las personas que intervienen en la producción del café tienen control directo sobre los primeros.

Por último, a quién calcula lo concerniente con el consumo final no le interesa qué hace el consumidor con el café que este último compra.

De acuerdo con estas observaciones, antes de empezar a calcular los requisitos que se deben llenar para satisfacer el consumo final (a) nosotros debemos tener, para evaluar, unas inter-relaciones existentes entre los respectivos elementos ; o (b) debemos tener un plan para unas nuevas inter-dependencias ; o (c) debemos tener alguna combinación de inter-conexiones nuevas y viejas. Nosotros podemos aprender mucho de (a) ; nosotros debemos encontrar (c) a menudo ; y nosotros tenemos tendencia a leer y hablar mucho de (b).

Ahora bien, conforme con lo considerado anteriormente, la economía del café funciona en forma análoga con un sistema de distribución de agua. Acorde a esto, se plantó la idea de que las operaciones cafeteras de los países productores se pueden estudiar como si fuera en el laboratorio y/o a través de modelos matemáticos ; para entonces evaluar la capacidad decada uno de los campos dentro de la imagen en estudio.

« Una idea es algo que cada uno de nosotros debe cultivar por sí mismo, y una vez la hemos asimilado encontramos que es facil de manejar. Las ideas nos ayudan a desenvolvemos. Cultivar ideas es el propósito del aprendizaje » (6).

Alcances de la imagen en estudio

Dentro de la analogía considerada en la imagen en estudio (ver la figura 1), ya sobre la red de tuberías y en lo concerniente con el consumo final, remplacemos (ver símbolos y unidades correspondientes en el cuadro II); flujo por volumen; presión por precio de exportación; la longitud de un conducto por el desarrollo económico definido como las entradas brutas debidas al café (precio interno, impuestos, especulación) las cuales recibe el país; la pérdida de presión por los costos de producción del café; y el diámetro, la fricción y los demás factores que precisan un tubo de conducción de fluidos, al igual que el agua, por la calidad del café y por las exigencias del consumidor en cuanto se refiere a los sectores de exportación, consumo interno y contrabando.

Entonces, al calcular los requisitos que se deben llenar para satisfacer el consumo final, podemos determinar los parámetros de medida requeridos. Estos últimos son como los mostrados en el cuadro III (p. 180) en donde para cada \varnothing se tienen los correspondientes Q, L y J (ver las definiciones dadas a estos símbolos en el cuadro II).

Así (ver los modelos matemáticos dados al fondo de la figura 3 página 181), tenemos que las cifras encerradas en el cuadro III nos permiten observar cómo varían los costos de producción del café en relación con las entradas brutas para diferentes volúmenes (I). Entonces, con los datos aquí considerados podemos analizar cómo se va a disponer de la producción (II), y de los precios de exportación (III), después de haber fijado cuales han de ser las entradas brutas (IV).

De este modo, los requisitos que se deben llenar para satisfacer el consumo final los podemos definir gráficamente como en la parte superior de la figura 3.

Debemos anotar que los guarismos dados en el cuadro III corresponden al 21 de noviembre de 1976. En particular, se debe indicar que los datos de volumen y de costos de producción no son los verdaderos, aún

cuando sí pueden ser usados como material de experimentación, ya que se determinaron con respecto a información real (7, 8, 9, 10, 11, 12), sobre una matriz, en base al tamaño de las unidades de producción.

También, en lo referente a las cifras de entradas brutas es necesario hacer las siguientes aclaraciones: 1) en la exportación se incluye el precio interno al cultivador y los impuestos de retención, reintegro y ad valorem, pero no se tiene en cuenta el valor neto de las ventas, por desconocerlo; 2) en el consumo interno se encierra el precio interno lo mismo que el precio al tostador y no se considera el precio al consumidor; 3) por último, en el contrabando solo se considera el precio interno al cultivador y un valor asumido que se acostumbra a llamar como « ventas de dólares por ventanilla al Banco Emisor », el cual se estima, para este estudio, como el 50 % del valor del contrabando del café a precios de la bolsa en Nova York.

Ahora bien, sobre el mismo molde utilizado para obtener las cifras del cuadro III, con datos que sean actuales se puede fraccionar, en segmentos, cada uno de los sectores (exportación, consumo interno, contrabando) dentro de los cuales se ordenaron las exigencias del consumidor. Esto se puede hacer con la debida consideración a los efectos que tienen sobre los volúmenes y sobre los costos de producción de café los siguientes elementos: la altura sobre el nivel del mar, el cultivo, el beneficio, la extirpación de cafetales, la siembra de nuevos cafetales, la Broca y la Roya.

Entonces, para cada uno de los sectores aquí considerados podemos formar redes semejantes a las de la figura 2, sobre las cuales, con las técnicas del caso, podemos apreciar los pormenores en lo concerniente con el consumo final (según lo definimos anteriormente).

Es así cómo, con miras a evaluar lo pertinente a precios de exportación tanto así como a los aspectos agro-económicos del café, estamos estudiando, en Colombia, durante el período transcurrido entre los años 1974 y 1977, los efectos de las políticas de precio

DEFINICIONES DE LA ANALOGIA ENTRE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA Y LA ECONOMIA DEL CAFE		
DISTRIBUCION DE AGUA	SIMBOLOS	ECONOMIA DEL CAFE
FLUJO	Q	VOLUMEN (MILES DE TON./AÑO)
PRESION	P	PRECIO DE EXPORTACION (\$/TON.)
LONGITUD DEL CONDUCTO	L	ENTRADAS BRUTAS (MILLONES DE \$)
PERDIDA DE PRESION	J	COSTOS DE PRODUCCION $\left(\frac{\$/\text{TON.}}{L \text{ UNITARIO}} \right)$
DIAMETRO DEL CONDUCTO FRICCION	\varnothing	CALIDAD DEL CAFE EXIGENCIAS DEL CONSUMIDOR EXPORTACION CONSUMO INTERNO CONTRABANDO

Cuadro II

Cuadro III

PARAMETROS DE MEDIDA EN XI/21/73(COLOMBIA)		
Q	L	J
VOLUMEN ("VERDE")	ENTRADAS BRUTAS	COSTOS DE PRODUCCION L UNITARIO
MILES DE TON AÑO	MILLONES DE \$	\$/TON. \$10 ⁴ MILLONES DE ENTRADAS BRUTAS
EXPORTACIONES (Ø ₁)		
390.5	118.093	3.829
462.0	139.705	3.054
558.0	168.734	2.347
CONSUMO INTERNO (Ø ₂)		
84.6	7.242	62.444
99.0	8.475	50.345
108.0	9.245	42.830
CONTRABANDO DE EXPORTACIONES (Ø ₃)		
44.9	6.534	69.136
54.0	7.867	54.231
64.5	9.397	42.137
CONTRABANDO DE CONSUMO INTERNO (Ø ₄)		
8.5	1.236	364.290
9.9	1.442	295.810
10.8	1.573	251.654
DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS CORRESPONDIENTES :		
TASA DE CAMBIO = \$ 36.31 / US \$		
PRECIO EN NEW YORK = US \$ 186.49/LIBRA		
1 KILOGRAMO = 2.2 LIBRAS		
PRECIO INTERNO:		
AL CULTIVADOR = \$ 7000 - /CARGA DE 125 KGS. DE CAFE EN PERGAMINO		
AL TOSTADOR = \$ 14.40 / KG.		
REINTEGRO = US \$ 284.65 / SACO DE 70 KG. DE CAFE "VERDE"		
RETENCION = 71.20 KGS. DE CAFE EN PERGAMINO / 70 KGS. DE CAFE "VERDE"		
IMPUESTO AD-VALOREN = 18.0 %		
VENTAS POR VENTANILLA = 50 % DEL VALOR DEL CONTRABANDO A PRECIOS DE NEW YORK		
100 KGS. DE CAFE EN PERGAMINO = 78.65 KGS. DE CAFE "VERDE"		

interno sobre la producción doméstica y sobre el mercado mundial, al mismo tiempo que estamos observando el funcionamiento de la economía del café desde diferentes puntos de vista.

Conclusiones

Estamos cultivando la idea de que la imagen en estudio aquí expuesta puede emplearse, como si fuese

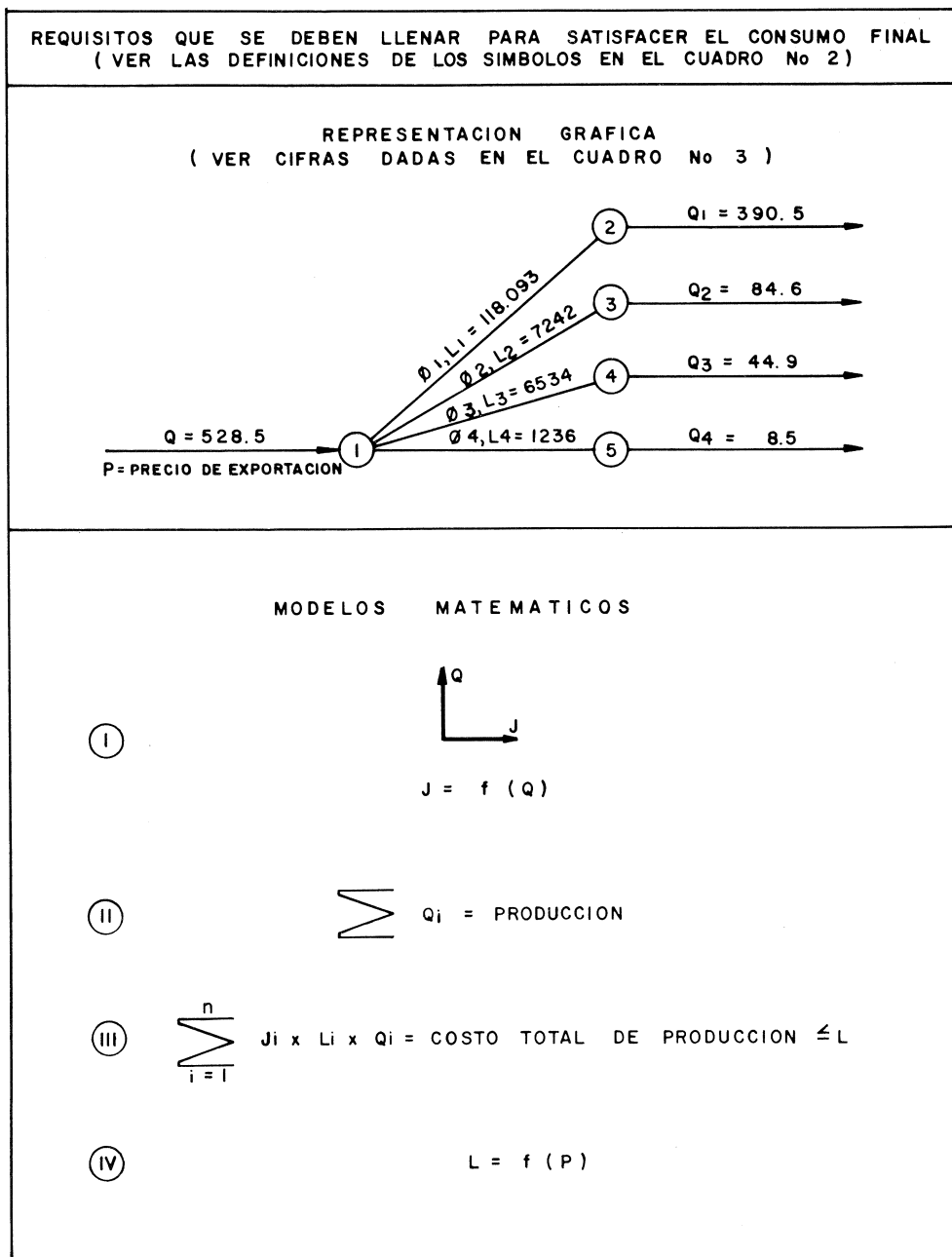
una radiografía, para examinar las operaciones cafeteras en cualquier ocasión. Así, al penetrar en el manejo de la economía del café de un país productor, podemos analizar cuales son las relaciones de causa y efecto de los parámetros de volumen y precio de exportación del grano, con todos los componentes del mercado (su estructura y su conducta) de este producto. Para esto, podemos emplear material de experimentación, utilizando una analogía con un sistema de distribución de agua.

REFERENCIAS

1. B. MARTINEZ-VILLALBA. — Diseño y alcances de un modelo de las relaciones entre los macro-componentes de la industria del café. 7º Coloquio Internacional Científico sobre el Café, Hamburgo (1975), 367.
2. T. GEER. — *An oligopoly, the world coffee economy and stabilization schemes*. The Dunellen Publishing Company, Inc. (New York), (1971).

3. Ib., « The effects of the domestic price policy of the IBC on Brazil's domestic output » and « The effects of the Brazilian price policy on the world market », 79-136.
4. L.F. TAPIAS. — Estudio econométrico de la función consumo para el café en algunos países industrializados. 6º Coloquio Internacional sobre la Química de los Cafés, Bogotá, (1973), 41.

Fig. 3.



5. B. MARTINEZ-VILLALBA. — Op. Cit., 369 y 374.
 6. F.T. MAVIS. — Figuring pipe networks by slide rule and diagram. *Carnegie notebooks in civil engineering (selections from current work of faculty and students)*, F.T. Mavis, Civil Engineering Department, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pa., USA (April 17, 1951).
 7. Federación Nacional de Cafeteros, Atlas Cafetero de Colombia (Basado en las Investigaciones del Censo Cafetero de 1970).
 8. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Economía Cafetera*, Anexo vol. 6, (octubre de 1976).

9. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Economía Cafetera*, Anexo vol. 5 (agosto de 1975).
 10. Ediciones del Banco de la República, Bogotá, Colombia, *Revista del Banco de la República* (1974-1977).
 11. IFCC (Institut Français du Café, du Cacao et Autres Plantes Stimulantes), Paris, *Café Cacao Thé*, Statistiques, (1974-1976), n° 4.
 12. ICO (Organización Internacional del Café), *Statistics, Exports of exporting members during the quarter October-December 1976 and calendar year 1976*, EB, 1492/77 (E), (21 January 1977).

MARTINEZ-VILLALBA (B.). — **Etude des opérations caféières à l'aide de modèles mathématiques.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 175-182, tabl., fig., réf.

L'étude du marché du café dans un pays peut être facilitée par la représentation graphique d'un modèle de toutes les étapes de ce marché. Le réseau commercial du café est assimilé à un circuit d'eau qui permet d'examiner les opérations caféières en toutes occasions. On peut ainsi analyser les relations de cause à effet des paramètres liant les volumes aux prix d'exportation et à toutes les composantes du marché de ce produit.

MARTINEZ-VILLALBA (B.). — **Study of coffee transactions with the aid of mathematic models.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 175-182, tabl., fig., réf.

The study of the coffee trade in a country could be made easier by the diagram of a standard pattern of all the stages of the transactions.

The coffee trade net is compared to a water system which allows to examine the coffee transactions in any opportunity.

It is thus possible to analyse the relations between the parameters connecting the volumes to the export prices and to all the components of the trade of this commodity.

BIOCHEMICAL, PHYSICAL AND ORGANOLEPTICAL CHANGES DURING RAW COFFEE QUALITY DETERIORATION



H. V. Amorim

H. V. AMORIM¹, A. R. CRUZ¹, A. J. ST. ANGELO²,
R. M. DIAS¹, M. MELO³, A. A. TEIXEIRA⁴,
L. E. GUTIERREZ¹, R. L. ORY²

Table I. — Physical measurements of the whole bean and hard (outer) endosperm of Arabica coffee beans which differ in quality of the beverage (the symbols in parentheses represent the number of measurements of the cell wall (1))

Coffee sample	Wt 500 beans (g)	Density	Cell wall thickness (μm)	Volume of cell wall (%)
Soft-1	71	1.085	6.2 (972)	50.7
Soft-2	58	1.014	5.6 (822)	49.7
Rio-1	58	0.967	5.0 (731)	37.5
Rio-2	49	0.761	4.3 (475)	35.6

We have shown that several physical and chemical changes in green coffee are observed when coffee are processed in different ways and also when it is stored in different environment conditions (1, 2, 3, 4). In this report we confirm some data presented earlier and add some more evidence that coffee deterioration is caused by the effect of the environment on the membranes of coffee seeds.

Physical aspects

The methods of coffee harvesting and processing and also the weather conditions dictate the quality of the beverage after roasting and infusion. In Brazil, coffee is classified as the quality of beverage is concerned from Soft to Rio. Hard is an intermediate type. Although Rio coffee is less expensive, some regions in Brazil, as well as in Latin América, USA and Europe, prefer this kind of coffee because of the strong medicinal or phenolic flavor. This characteristic flavor is produced when coffee is harvested in wet climate conditions and so fermentation takes place before drying. We have observed that several physical changes occur as shown in table I. The density, cell wall thickness and the volume of cell wall decrease with age and bad processing conditions. Soft-1, Soft-2 and Rio-1 were coffee samples stored for three years in sealed cans and Rio-2 was seven years old and stored in fiber bags.

Soluble proteins

We also have shown (2) that Rio coffee has more small molecular weight proteins than Soft coffee. However, we analysed only two samples, one of Soft and another of Rio coffee. SDS gel electrophoresis of five different samples of Rio coffee and four of Soft coffee confirm the results observed earlier (2) (fig. 1).

SDS gel electrophoresis separates most of the proteins according to their molecular weights. The gel patterns (fig. 1) show that Soft coffee has some proteins of high molecular weight ($\sim 64,000$ Daltons) that are absent in Rio coffee. On the other hand, Rio coffee shows some bands of low molecular weight that are absent in the Soft coffee. Furthermore, the bands of small polypeptides ($\sim 9,000$ Daltons) are much more intense in the Rio coffee than in Soft coffees. This suggests that the coffee beans which give Rio flavor undergo hydrolisis during processing. SDS gel electrophoresis with extracts without treatment with 2-mercaptoethanol showed that the bands of high molecular weight proteins ($\sim 150,000$ Daltons) were less intense in Rio coffee than in Soft coffee.

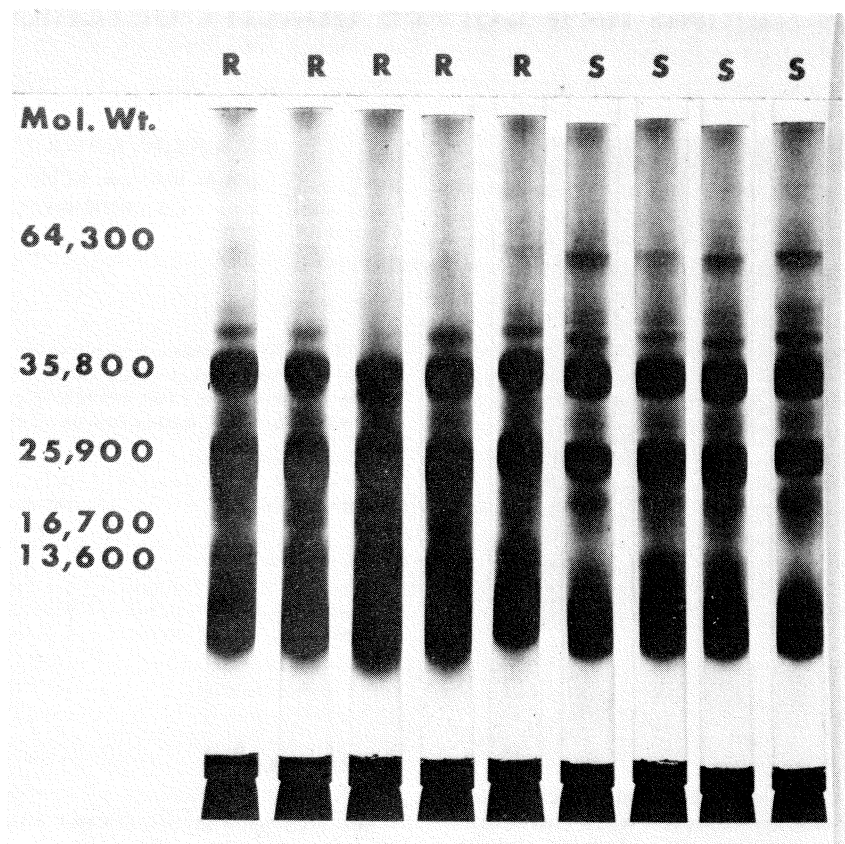
1) Department of Chemistry, Esc. Sup. Agr. « Luiz de Queiróz », University of São Paulo, Piracicaba, Brazil.

2) Southern Regional Research Center, USDA, New Orleans, USA.

3) Sector of Genetics, Instituto Agronómico do Est. S. Paulo, Campinas, Brazil.

4) Instituto Brasileiro do Café, S. Paulo, Brazil.

Fig. 1. — SDS polyacrilamide gel electrophoresis (T = 10%) of green coffee water-soluble proteins, treated with 2-mercaptoethanol of Soft (S) and Rio (R) samples.



Localization of enzymes, lipids and phenolics

Peroxidase was located chiefly in the outer layers of the bean and in the embryo (fig. 2). Polyphenol oxidase (PPO) was found to be located in the outer layers and in the middle of the beans. In the embryo, PPO was also detected chiefly in coffee harvested in the same year. The intensities of the color formation for the detection of these two enzymes decreases with time of storage and the quality of the beverage.

Lipids are located in the whole bean, however, the good coffees showed a more intense band in the outer layers. With deterioration (color and quality of the beverage) this more intense band decreases of intensity and the lipids showed an homogeneous distribution in the whole bean. Table II shows the results on lipid and phenolic distribution of several coffee samples processed and stored in different conditions. Phenolic compounds showed a similar pattern.

These results indicated that there is a marked correlation between coffee quality (organoleptical) and lipid and phenolic distributions in the bean. Although it is not certain that compounds of lipid decomposition

during the roast process take part on coffee flavor, their different distribution patterns must be important in flavor retention during roasting.

Chemical composition, PPO activity and K^+ leaching

The different distribution patterns of lipids and phenolics during coffee quality deterioration indicate that the triacylglycerols might have been hydrolysed by lipase and/or translocated to other regions of the bean. The pattern of phenolics is more difficult to interpret. An analysis of free fatty acids and unsaponified matter of the oil could give us a more direct sign of what really is happening.

Table III, p. 186, shows the results obtained, and also enzymatic activity of polyphenol oxidase, and K^+ leachate when the beans are soaked in water. Part of the unsaponified matter are steroids which are important on permeability and structure of cell membranes. K^+ leaching in a general manner increases when the membranes loose their structure and selectivity.

Table II. — Histochemical localization of coffee lipids and phenolics in green coffee bean

		Coffee samples							
		Natural							
		Stored in							
		Pulped Soft	Soft	Plastic A-Soft	Can A-Soft	Fiber Hard	Cloth Hard	Paper Hard	Rio
Lipid distribution	Outer layer	100	98	60	60	13	4	11	2
	Homogeneous	0	2	40	40	87	96	89	98
Phenolic distribution	Outer layer	87.5							20
	Homogeneous	12.5							70
								(irregular)	10

Legend : The symbols are percentages of the beans on lipid and phenolic distribution patterns (outer layer and homogeneous) found in fifty beans of each kind of coffee (lipids) and eighty beans for phenolics. Pulped and natural Softs were stored for one year in sealed cans. A-Soft and Hard were stored three years, and Rio was seven years old and stored in fiber bags. A-Soft means Almost Soft.

The low enzymatic activity of polyphenol oxidase found in the low coffee qualities were discussed in several occasions (5-3) and the explanation given thereafter seems more evident with the data presented by Lieberei and Biehl (6) which show that polyphenol oxidase is associated with membranes and is activated upon release. Peroxidases (PER) are also associated with membranes, although several forms are also soluble (7). Both PPO and PER are inactivated by their reaction products (8). For this reason we believe that the mechanism of green coffee bean quality deterioration (physical and organoleptical) is triggered by changes in membranes. Environmental conditions (humidity, temperature and injury) might affect first membrane structure and permeability. The release of PPO and/or PER (or other enzymes as well) leads to the interaction of enzymes and substrates. In case of PER and PPO, we should observe an increase in the activities of these two enzymes first, then a decrease with time. Bacchi (9) in Brazil demonstrated that discoloration is caused by injury and is accelerated by the relative humidity of the air and temperature. This is in accordance with our results. Furthermore, the decrease in unsaponifiable matter, the increase in free fatty acids and potassium leaching in coffee of lower qualities suggests that degradative process took place in the bean.

CONCLUSION

The data presented in this paper indicate that coffee membranes might be the first place in the green coffee seed which undergoes chemical and structural changes leading to coffee quality deterioration. Changes in color, density and organoleptical characteristics are associated with changes of lipid and phenolic distribution patterns in the green bean, as well as modifications of chemical composition, enzymatic activities and membranes permeability.

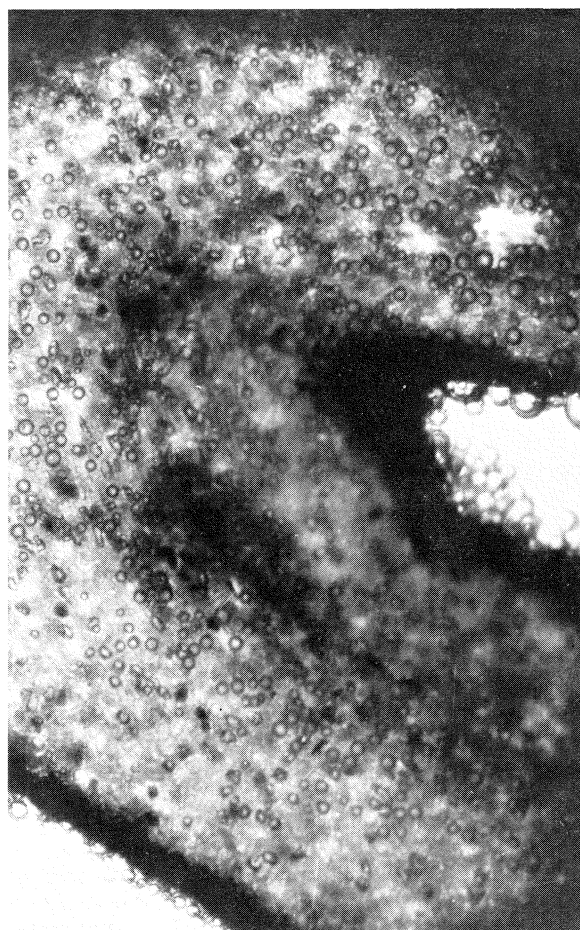


Fig. 2. — Localization of peroxidase activity (black area in the outer layers) in green coffee bean using p-phenylenediamine + H₂O₂ as substrate. Bubles are O₂ produced by catalase activity.

Table III. — Activity of polyphenol oxidase, free fatty acids (mg KOH/g.oil) (FFA), unsaponifiable matter (% oil), K⁺ leachate (90 min.) and PPO activity (Klett units/m) of green coffee samples processed and stored in different ways

Coffee* sample	Beverage** quality	Color***	FFA	Insaponifiable matter	K ⁺ leachate ppm	PPO activity
Pulped	Soft	D. green	3.38	6.6	41	76
Natural-1	Soft	L. green	3.56	-	128	-
Plastic	A. Soft	V.L. green	6.01	6.5	336	35
Can	A. Soft	V.L. green	6.15	6.1	329	32
Fiber	Hard	White	8.58	3.7	381	24
Cloth	Hard	White	8.22	3.9	374	25
Paper	Hard	White	8.02	3.9	374	27
Natural-2	Rio	Brown	13.28	2.9	418	14

* Pulped and Natural-1 = one year old, sealed can
Plastic, can, fiber, cloth, paper = stored for three years
Natural-2 = stored for seven years in fiber bag

** Soft, more accepted flavor, A. Soft = almost soft
*** D. = dark ; L. = light ; V.L. = very light

Acknowledgment : Research was carried out with grants from the Brazilian Institute of Coffee and Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (Proc. Agr. n° 73/1173).

REFERENCES

1. H.V. AMORIM, R. SMUCKER, R. PFISTER. — *Turrialba* (Turrialba), 1976, **26**, p. 24-27.
2. H.V. AMORIM, R.V.J. JOSEPHSON. — *Food Sci.*, 1975, **40**, 1179-1184.
3. H.V. AMORIM, V.L. AMORIM. — « in » Enzymes in Food and Beverage Processing. ACS Symposium Series, n° 47. R.L. Ory and A.J. St Angelo ed., 1977, p. 27-56.
4. M. MELO, L.C. FAZUOLLI, A.A. TEIXEIRA, H.V. AMORIM. — Resumos Soc. Bras. Progr. Cienc. Doc. 133-6.3, p. 846 (Brasilia), 1976.
5. H.V. AMORIM, D.M. SILVA. — *Nature* (Londres), 1968, **219**, 381-382.
6. R. LIEBEREI, B. BIEHL. — *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* (Stuttgart), 1976, **89**, 663-676.
7. N.F. HAARD. — « in » Enzymes in Food and Beverage Processing. ACS Symposium Series, n° 47. R.L. Ory and A.J. St Angelo ed., 1977, p. 143-171.
8. W.D. LOOMIS, J. BATTAILE. — *Phytochem.* (Oxford), 1966, **5**, 423-438.
9. O. BACCHI. — *Bragantia* (Campinas), 1962, **21**, 467-484.

AMORIM (H. V.), CRUZ (A. R.), St. ANGELO (A. J.), DIAS (R. M.), MELO (M.), TEIXEIRA (A. A.), GUTIERREZ (L. E.), ORY (R. L.). — **Changements biochimiques, physiques et organoleptiques pendant la détérioration de la qualité du café vert.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 183-186, fig., tabl., réf.

AMORIM (H. V.), CRUZ (A. R.), St. ANGELO (A. J.), DIAS (R. M.), MELO (M.), TEIXEIRA (A. A.), GUTIERREZ (L. E.), ORY (R. L.). — **Biochemical, physical and organoleptical changes during raw coffee quality deterioration.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 183-186, fig., tabl., réf.

La détérioration de qualité du café vert peut se produire au cours des opérations de cueillette et de manipulation (cafés naturels ou lavés) ; cette détérioration est due à des dégradations (oxydation, hydrolyse) enzymatiques endogènes du fruit et à l'action oxydante de micro-organismes. Ces dégradations enzymatiques provoquent des modifications de couleur et d'arôme de la fève torréfiée. Les conditions de stockage du café vert peuvent aussi altérer l'aspect physique des grains et la qualité du café boisson. Ces modifications sont dues à l'humidité de l'air qui influence l'activité de plusieurs enzymes endogènes de la graine en modifiant la perméabilité des membranes cellulaires. Lorsque la perméabilité membranaire est modifiée, les enzymes hydrolytiques et oxydantes entrent en contact avec leurs substrats ; cette interaction modifie la couleur des fèves et la qualité de l'infusion.

The nature of raw coffee quality deterioration during harvesting and processing (natural and washed coffees) is due chiefly to hydrolytic and oxidative enzymes present in the fruit and to microorganisms. The action of these enzymes change the color and the flavor of the bean after roast. The condition of storage of green beans affects the physical appearance as well as the quality of the beverage. These changes are brought by the humidity of the air which affects the activity of several enzymes as well as the permeability of cell membranes. Changing the cell membrane permeability, several oxidative and hydrolytic enzymes enter into contact with their substrates modifying the color of the bean and the quality of the beverage.

PROGRÈS DANS LE TRAITEMENT ET LE CONDITIONNEMENT DES CAFÉS VERTS



M. RICHARD
IFCC, Montpellier

La politique d'industrialisation de la Côte d'Ivoire est essentiellement fondée sur le développement économique du secteur agro-alimentaire et le café y occupe une place prépondérante.

Si les chiffres de production laissent apparaître une évolution plus ou moins cyclique, on peut néanmoins estimer que cette production se situe pour les cinq dernières années à environ 300 000 t de café marchand.

La Côte d'Ivoire est ainsi le premier producteur mondial de café Robusta et le troisième après le Brésil et la Colombie, producteurs de café Arabica.

Depuis plusieurs décennies, la qualité du café ivoirien n'a cessé de croître. Les exigences du marché, en constante progression, ont nécessité des redressements périodiques, dont les plus significatifs sont :

— Le décret du 1^{er} décembre 1961 fixant les nouvelles normes de conditionnement des cafés verts à l'exportation.

— L'étude du projet de réorganisation de la commercialisation et de l'usinage du café Robusta par voie sèche, depuis août 1968.

C'est de cette étude que nous allons développer les grandes orientations et les principales conséquences sociales, économiques et techniques.

Nous verrons que, comparativement aux structures du système traditionnel, l'originalité de la réforme envisagée s'inscrit parfaitement dans le programme de développement économique ivoirien.

LE SYSTÈME TRADITIONNEL

Structures

Actuellement, dans les zones caféières « hors projet », le traitement des fruits récoltés se compose des opérations suivantes :

Séchage solaire des cerises fraîches

Le séchage solaire est réalisé soit sur sol de terre battue, soit sur aire cimentée, soit sur natte surélevée confectionnée localement. Durée : environ vingt jours (selon les conditions climatiques).

Décorticage du café en coque

Le décorticage du café en coque est obtenu par des appareils à faible débit (100 à 150 kg/h) entraînés par des moteurs à essence (le plus fréquemment).

Leur nombre est d'environ 8 500, disséminés dans la plupart des villages de la région caféière.

Triage manuel du café décortiqué

La législation ivoirienne impose aux producteurs des contraintes de commercialisation nécessitant impérati-

vement un triage manuel du café décortiqué. Chacun d'eux est en effet tenu de séparer **tous** les grains de couleur **noire** avant de pouvoir vendre le produit de sa récolte. Ces grains constituent un défaut réhibitoire qui entraîne par sa présence le refus de certains lots à l'exportation. Il en est de même du café en coque qui n'a pu être décortiqué après deux ou même trois passages.

Le café ainsi trié est ensuite acheté par des « traitants » pour le compte de sociétés privées, qui vont en assurer le traitement complémentaire en usine et l'exportation.

Dans ces usines, toutes situées à Abidjan, le café décortiqué, pour pouvoir être exporté, subit les opérations suivantes :

- nettoyage complémentaire,
- extraction des brisures en excédent et réusinage,
- calibrage en quatre grades,
- ensachage (60 kg net),
- pré-stockage d'attente avant embarquement,
- re-triage des grains noirs pour les lots refusés par le service du conditionnement.

Analyse critique du système traditionnel

Certains aspects de ce système sont positifs et on peut en retenir les principaux :

— Le planteur ivoirien est toujours assuré de vendre sa production au prix garanti.

— Depuis le décret de décembre 1961, l'amélioration de la qualité du produit fini a contribué à la réputation croissante du café ivoirien.

— L'organisation de la Caisse de Stabilisation, très en avance sur celle des organismes similaires de l'étranger, permet de récupérer le bénéfice des ventes, déduction faite de la marge raisonnable laissée au commerce par le barème actuel, et de maintenir les stocks au niveau souhaité.

— Les principaux marchés de consommation ont également pu être ouverts et maintenus.

Cependant, des insuffisances sont apparues, tant sur le plan technique qu'économique et social, ces trois domaines étant étroitement liés.

Aspect technique

1. Au niveau des zones de production, le traitement du café est artisanal et se caractérise par :

— Un décortilage mal conduit qui entraîne la formation d'environ 6 % de brisures.

— Un triage manuel du café décortiqué, pénible, archaïque et insuffisant ; en outre, une fraction de ces rejets ainsi triés (essentiellement des grains noirs) constitue une perte en produit marchand, car seule la pellicule recouvrant ces grains est affectée, ce qui ne peut se corriger qu'industriellement (dépelliculage).

— Une dégradation qualitative de certains lots de café vert trié du fait d'un entreposage prolongé dans les villages, avant commercialisation : les conditions de conservation y sont fréquemment défavorables.

2. Au niveau des transports internes, on constate :

— La souillure des lots véhiculés dans des camions non étanches : réhumidification en cas de pluies, poussière provenant des routes en terre.

— L'utilisation de véhicules à emplois multiples qui favorisent, par contact, des transmissions infectieuses.

3. Au niveau des usines de conditionnement centralisées, on note que :

— L'usage est de type « saisonnier » (six mois par an) et nécessite :

• une forte puissance installée (absorption de la production de pointe) ne fonctionnant que la moitié de l'année,

• une concentration de main-d'œuvre temporaire ne travaillant que six mois par an.

— Les seules opérations effectuées sont : le nettoyage, le calibrage, le réusinage de certains lots et l'ensachage.

— Les équipements, souvent vétustes, ne sont pas adaptés aux exigences actuelles de qualité.

— La diversité de matériels et de « techniques » d'usage, d'un atelier à l'autre, entraîne l'obtention de lots hétérogènes, ce qui oblige à maintenir en place un système de contrôle de qualité (normes de conditionnement) lourd et coûteux.

— Les magasins de stockage d'attente sont surdimensionnés et non conçus pour une bonne conservation des lots usinés « prêts export » (gonflement et blanchiment par réhumidification, parasitisme, etc...).

Aspect économique

1. Au niveau des zones de production, on observe que :

— Le mauvais fonctionnement des appareils de décortilage laisse apparaître (dans les débris de coques) une perte en produit marchand d'environ 4 % de la production nationale.

— Le coût du décortilage et du triage est une lourde charge pour le planteur ; il représente actuellement 15 F CFA minimum par kg, pour les deux opérations.

— Certains déchets de triage, comme les grains noirs, sont achetés à bas prix par des « intermédiaires », introduits dans les circuits de commercialisation interne et vendus au prix normal (fraude).

— Le triage insuffisant de certains lots entraîne, pour le producteur, une réfaction sur le prix d'achat imposé.

— Une perte totale des débris de coques, non réutilisés, qui représentent une source de valorisation importante (énergie, charbon de coques, compost, furfurol, panneaux de particules, etc...) ; ex : la combustion des coques permettrait, entre autres, de fournir 10 % de l'énergie électrique nécessaire à la Côte d'Ivoire.

2. Au niveau des usines de conditionnement, on remarque que :

— La rupture de charge due au transport du café décortiqué des zones de production jusqu'aux usines d'Abidjan entraîne des coûts supplémentaires de trans-

port et d'usinage (transport de déchets, sous-produits, etc...);

- La concentration des unités de traitement hors des zones de production bénéficie à des secteurs non directement concernés (centralisation extrême);
- Le traitement d'une production de pointe entraîne

des frais financiers supplémentaires (location de magasins, transports, etc...).

Compte tenu de tous ces facteurs, dont certains sont extrêmement négatifs, les autorités ivoiriennes ont demandé d'étudier une réforme du système et d'en déterminer les modalités d'application.

LA RÉFORME SERIC

Afin de réformer le système traditionnel, une société d'économie mixte a été créée en juin 1969 : la SEPRIC, société d'études pour la promotion de l'industrie caféière. Les études techniques ayant été confiées à l'IFCC et les études économiques à la SEDES, la SEPRIC a en même temps organisé des missions d'information dans les principaux pays producteurs de café afin d'examiner leurs méthodes et leurs réalisations. Ces missions ont été complétées par des visites aux constructeurs européens concernés par ce secteur. Après vingt mois d'études financées par la Caisse de Stabilisation, la SEPRIC était en mesure, en juin 1971, de recommander au gouvernement la réalisation du projet. Ces études ont en effet abouti à la conclusion qu'il était nécessaire de construire huit usines dans les zones mêmes de production, avec pour objectif principal l'obtention en dix mois d'un café vert « prêt export » à partir de cerises sèches directement achetées aux producteurs.

Afin d'exploiter elle-même le résultat de ses études, la SEPRIC s'est ensuite transformée en SERIC, société d'études et de réalisations pour l'industrie caféière et cacaoyère, en juin 1972.

La décision d'expérimenter cette réforme sur une première usine ayant été prise, le choix de l'implantation à Toumbokro a été retenu.

Réalisation de l'usine de Toumbokro

La première unité du type d'usinage dit « usinage industriel intégré » est entrée en fonctionnement en 1973. Son implantation comprend cinq parties principales (cf. schéma, p. 190) :

Réception

- Un parking de 20 000 m².
- Deux ponts bascules automatiques de trente tonnes.
- Une banque (BNDA).
- Un laboratoire d'analyse des échantillons permettant le paiement à la qualité : durée vingt-cinq à trente minutes.
- Un quai de déchargement de vingt postes, pouvant réceptionner 90 t/h avec reprise par transporteur à chaîne type « Reddler ».

Nettoyage-séchage

Dans une tour de 30 m de haut, deux séchoirs (2 × 25 t/h) permettent de resécher les lots insuffisamment secs, et les cerises, toujours très sales, sont nettoyées (90 t/h). Deux cellules tampon de 200 t permettent d'envoyer 20 t/h à l'usinage et le complément au magasin de stockage.

Stockage : 20 000 m²

Après abaissement de la teneur en eau à 13 % ± 0,5 % (sur matière humide), les cerises sèches sont stockées en vrac dans un vaste magasin (400 × 50 × 22 m) d'une capacité de 50 000 t de café en coque (et 5 000 t de café usiné), dont la charpente est en bois lamellé collé ; signalons que ce type de structure a permis la création d'une nouvelle industrie locale.

Usinage

Dans l'usine proprement dite, les opérations sont les suivantes :

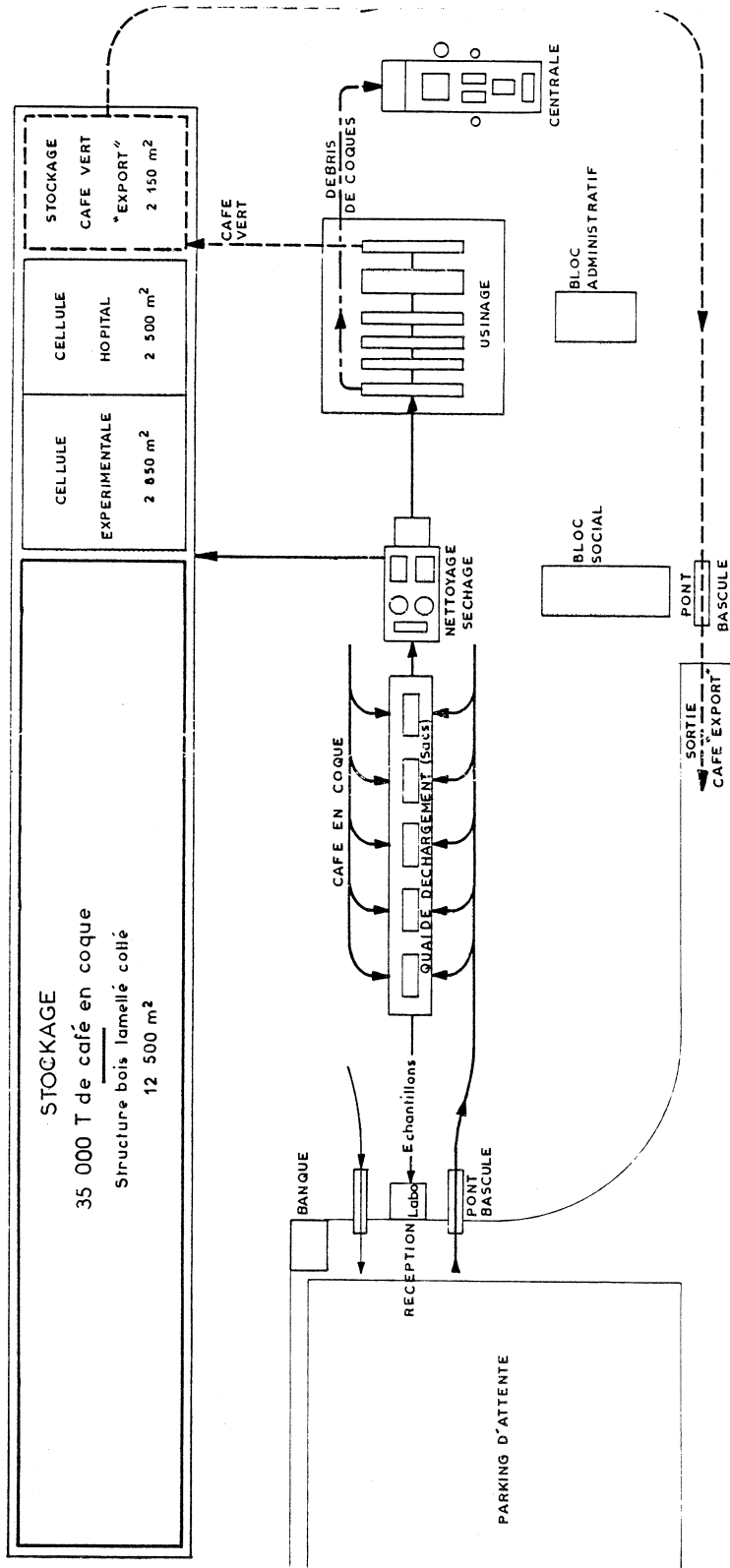
- 1) Décorticage (système brésilien : chaque appareil effectue six opérations).
- 2) Calibrage (type « plan vibrant »).
- 3) Catadorage (type « air float » en circuit fermé).
- 4) Triage densimétrique.
- 5) Triage colorimétrique, à raison de quatre cents grains par seconde et réusinage des rejets (dépellucelage et re-triage).
- 6) Mise en sacs « export ».

Le débit nominal est de 140 t/jour de café marchand, autorisant un traitement de 40 000 t dans l'année (dix mois).

Centrale thermique

Le décorticage donne les proportions approximatives suivantes : 52 % de fèves de café, 48 % de coques. On se débarrasse de ces dernières (environ 30 000 t par an, soit plus de 120 000 m³) en les brûlant dans une centrale thermique qui fournit toute l'énergie nécessaire à l'usine et au séchage (pour la vapeur).

La puissance du turbo-alternateur est de 1 400 Kw. Le pouvoir calorifique des enveloppes s'est révélé étonnamment élevé : 3 700 kcal (pétrole : 10 000).



<p>COTE D'IVOIRE TOUMBOKRO S.E.R.I.C.</p>	<p>USINE DE TRAITEMENT DE CAFÉ "VOIE SECHE"</p>	<p>CAPACITE } 65 000 T café en coque ANNUELLE } 35 000 T café marchand</p>
---	---	--

L'énergie ainsi récupérée correspond à 12 000 t de pétrole par an.

L'usine comprend également un bloc social (cantine, infirmerie, etc...), un bloc administratif, des villas pour les cadres et un village pour les ouvriers et la maîtrise.

Gestion

Dans un souci d'efficacité, il a été décidé de confier la gestion de l'usine à une société privée, choisie parmi les exportateurs/usiniers bénéficiant de l'expérience du produit et présentant une surface financière suffisante.

Un contrat (de deux ans, renouvelable) a été passé avec cette société qui finance les achats de cerises et est responsable de la gestion de l'usine, moyennant une rémunération forfaitaire par kilo de café vendu, tous les frais étant pris en charge par la SERIC.

Personnel

Il se décompose en :

- 10 cadres,
- 25 agents de maîtrise,
- 250 employés permanents,
- 50 employés saisonniers.

CONSÉQUENCES DE LA RÉFORME

Sur le plan « technique »

Sur le plan technique on constate :

— Une qualité très supérieure du produit fini due à :

- Un contrôle du produit réceptionné (cerises sèches type « plantation ») : l'analyse des échantillons permet un paiement à la qualité.

- Des contrôles à chaque stade du traitement.

- L'utilisation de techniques adaptées permettant une valorisation du produit (machines retenues après essais IFCC) : densimétrie, triage colorimétrique.

- Une maîtrise des sous-produits.

- Des conditions de stockage optimales (méthode IFCC appliquée pour la première fois sur 35 000 t de café en coque).

— L'obtention d'un tonnage supérieur en café marchand due à la qualité du système de décorticage industriel retenu ; ce dernier abaisse en effet le taux de brisures en dessous de 0,5 %, au lieu de 6,0 % dans le système traditionnel, et correspond aux tolérances actuelles du conditionnement (normes à l'exportation) : inutilité du réusinage.

— L'obtention d'un tonnage supérieur en café marchand due également au système de dépelliculage des rejets de triage colorimétrique, car certains grains ne sont noirs que par leur pellicule ; cet accroissement peut atteindre 3 % de café marchand, en poids. En outre, l'IFCC a pu montrer, qu'en conséquence du dépelliculage séparé des trois grades G1-G2-G3 :

- le grade 1 non « lavé » de type supérieur devenait extra-prima après dépelliculage ;

- le grade 2 non « lavé » de type supérieur devenait prima après dépelliculage ;

- le grade 3 non « lavé » de type supérieur à cinquante-six défauts ne changeait pas de type, mais n'avait plus néanmoins que quarante-quatre défauts après traitement ;

- l'examen visuel de ces trois grades dépelliculés (à sec) laissait apparaître une homogénéité de couleur verdâtre uniforme caractéristique.

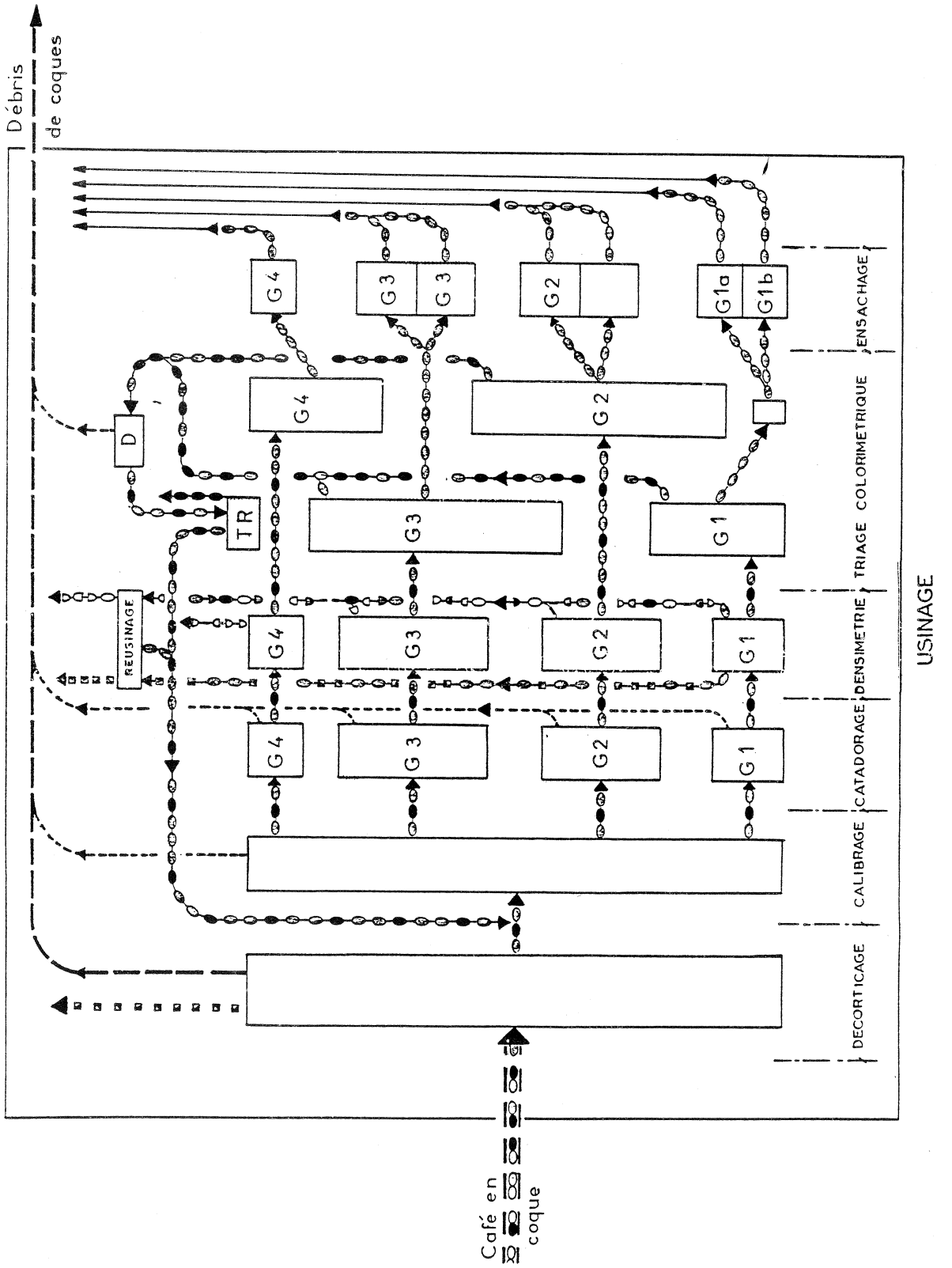
En outre, un test de dégustation a permis de déceler une amélioration de la « qualité à la tasse » très nette en ce qui concerne le grade 3, nette en ce qui concerne le grade 2, non significative en ce qui concerne le grade 1, de l'avis unanime des sept dégustateurs (trois experts — quatre non expérimentés).

Il semble donc qu'on puisse obtenir par ce traitement une plus-value à la fois commerciale (diminution des indésirables, homogénéité de couleur) et organoleptique (augmentation de la « qualité à la tasse »).

Ces résultats, s'ils se confirment, conduisent à réviser les cotations relatives des Robusta « voie sèche » par rapport aux Arabica « voie sèche » et même « lavés » (voie humide).






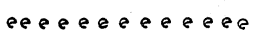








Si le marché du Robusta dépelliculé est actuellement peu développé (principal producteur : Madagascar), c'est qu'il existe une contrainte technique rendant le coût de l'opération élevé. Le traitement est en effet réalisé dans une machine fonctionnant en discontinu (par charges de 600 kg) à des débits faibles (1 200 kg/h) et une puissance installée énorme (35 ch).

Aussi, l'un des objectifs de l'IFCC est-il de lever, par des essais, cette contrainte. Le principe d'une machine connue, la brosse époinçuse, pourrait en effet assurer des **débits continus** de 4 à 5 t/heure de café dépelliculé avec une puissance installée de 15 ch. Mais d'autres possibilités sont envisagées.



USINAGE

LÉGENDE DES CIRCUITS

	Café en coque
	Café vert
	Débris de coques
	Pierres
	Poussière
	Echantillons
	Café trié ou café « export »
	Rejets non dépelliculés
	Rejets dépelliculés
	Grains noirs
	Sortie « lourds » densimétrie
	Sortie « légers » densimétrie
	Densimétrie
	Triage

Quant à l'aspect « stockage » du café dépelliculé, auquel d'aucuns associent une notion de « blanchiment », l'objection est sans fondement. Les principes de conservation à court et moyen terme du café vert sont identiques, que ce dernier soit dépelliculé ou non, car :

— D'une part, la pellicule argentée recouvrant chaque grain de café est très hygroscopique et ne peut donc qu'être préjudiciable à une bonne conservation.

— D'autre part, lorsqu'il y a apparition de blanchiment (reprises d'humidité et séchages alternés, en l'état, pendant une période prolongée : mauvaises conditions de conservation, apparition possible de moisissures), elle se manifeste de manière aussi étendue pour chaque lot placé dans les mêmes conditions de stockage, qu'il s'agisse de café dépelliculé ou non. Les différences que l'on observe par examen visuel ne sont qu'apparentes, car en réalité le blanchiment des

lots non dépelliculés est masqué par la pellicule, mais il n'est pas moindre.

Le blanchiment du café vert est bien un phénomène de conservation et non de dépelliculage.

Sur le plan « économique »

Au niveau des zones de production, on note que :

— La suppression du décorticage et du triage manuel, pour le planteur, libère environ 8 500 000 journées qui deviennent alors théoriquement disponibles pour d'autres activités (cultures vivrières par exemple).

— La prise en charge de ces deux opérations par l'usine permet au planteur de réaliser un gain d'environ 10 F CFA par kg de cerises vendues.

— La création de pôles de développement permet aux centres de l'intérieur de bénéficier d'une activité correspondant à leur production.

— Des conditions favorables sont réunies pour la création de coopératives et le fonctionnement du crédit agricole.

Au niveau des transports, on remarque :

— La régularité des flux, donc la rentabilité des capacités disponibles en véhicules qui, en outre, ne transportent pas de déchets.

— La maintenance contrôlée et parfaitement maîtrisée.

Au niveau national, la rentabilité du système est assurée par :

— La récupération de produit marchand initialement perdu (4 % dans le système traditionnel) ;

— L'amélioration de la qualité ; l'absence de lots de « brisures » excédentaires et déclassés, la suppression des fraudes ;

— La production d'énergie à partir des déchets d'usinage (coques), avec un gain d'environ 300 millions de F CFA ;

— La diminution de la consommation nationale de gas-oil par suppression des décortiqueurs traditionnels : environ 500 millions de F CFA.

Sur le plan « formation »

La maîtrise d'une unité complète fonctionnant dix mois par an permet à la SERIC de résoudre efficacement le problème de la formation du personnel ivoirien.

Un programme de formation correctement conçu et bien adapté a été mis en place depuis 1975. Il correspond à l'orientation donnée en ce domaine par les autorités locales, ce qui n'était pas le cas dans le système traditionnel.

VALEUR DE LA RÉFORME POUR LE PLANTEUR

On a pu comparer les conséquences directes, pour le planteur, de l'application des deux systèmes sur la base des prix fixés suivants :

- Prix d'achat du kg de café décortiqué et trié : 200 F CFA ;
- Prix d'achat du kg de cerises sèches : 100 F CFA.

Rendement du système SERIC

a) cerises brutes réceptionnées		100,00	
— nettoyage	— 1,50	98,50	
— séchage (15 % à 13 %)	— 2,26	96,24	
b) décortilage : $96,24 \times 55,91$		53,81	
c) café inférieur à G4 : $53,81 \times 0,59$	— 0,32	53,49	
d) grains noirs : $53,81 \times 0,46$	— 0,25	53,24	
e) déchets usinage : $53,81 \times 0,70$	— 0,38	52,86	

Rendement du système SERIC : **52,86 %** en poids

Les chiffres de pourcentage utilisés en a, b, c, d, e sont des chiffres réels obtenus au cours d'une campagne.

Rendement du système traditionnel

a) cerises séchées « plantation »		100,00	
nettoyage :	— 1,50	98,50	
b) décortilage : $98,50 \times 51,10$		50,33	
c) triage (grains noirs et sombres) :			
$50,33 \times 3,87$	— 1,95	48,38	

d) usinage

— café inférieur à G4 :			
$50,33 \times 0,59$	— 0,30	48,08	
— brisures :			
$50,33 \times 3,00$	— 1,50	46,58	
— déchets d'usinage :			
$46,58 \times 0,50$	— 0,23	46,35	
— tolérance (+ 1 %) :			
$46,35 \times 1,00$	+ 0,46	46,81	

Rendement du système traditionnel : **46,81 %** en poids

Différence = + 6 % en faveur du système SERIC.

Grâce à la réforme, la Côte d'Ivoire pourrait exporter une quantité supplémentaire de :

$560\ 000 \times 6\% = 33\ 600$ tonnes de café marchand.

Même en ramenant prudemment ce chiffre à 30 000 t, il y aurait une rentrée supplémentaire d'au moins : $(30\ 000 \times 300\ \text{F/kg FOB}) = 9$ milliards.

Quant au planteur, dans le système SERIC il reçoit 100 000 F par tonne de cerises. Dans le système traditionnel il vend :

$1\ 000 \times 48,38\% = 483,8\ \text{kg} \times 200\ \text{F/kg} = 96\ 760\ \text{F}$, dont il faut déduire environ 15 F/kg de café pour le décortilage, le triage, les transports divers, soit : $483,8 \times 15 = 7\ 257\ \text{F}$, arrondis à 7 260 F.

Il ne lui reste en réalité que :

$96\ 760\ \text{F} - 7\ 260\ \text{F} = 89\ 500\ \text{F}$.

Il y a une différence d'environ 10 F/kg de cerises en faveur du système SERIC pour le planteur.

Cette réforme est donc déjà pleinement justifiée, mais elle ne prendra son vrai sens qu'avec la construction de la totalité des usines prévues.

DIFFICULTÉS RENCONTRÉES ET SOLUTIONS

Après une première campagne de fonctionnement, plusieurs points faibles de l'installation sont apparus :

- La plupart des lots livrés à l'usine était beaucoup plus chargés en matières étrangères et poussières que les études initiales ne pouvaient le laisser prévoir, et le réseau de dépoussiérage s'est très rapidement révélé insuffisant.

- Les producteurs effectuant fréquemment le séchage de leur récolte sur terre battue, le produit sec obtenu acquiert un pouvoir abrasif étonnant : il en est résulté

une usure spectaculaire de nombreux conduits métalliques.

- La centrale thermique n'a fonctionné que peu de temps du fait de la présence d'imbrûlés obturant en 48 h les tubes de fumée des chaudières.

Par ailleurs, la gestion d'une unité aussi importante s'est révélée difficile et mal adaptée.

Il a donc fallu envisager des solutions à ces divers problèmes et certaines ont pu être appliquées rapidement.

Poussières

Une campagne de sensibilisation auprès des producteurs a été lancée afin de les inciter à livrer un produit plus propre (conditions de séchage, d'entreposage, etc...).

Résultat : l'année suivante, le taux de matières étrangères et poussières avait diminué de moitié.

En outre, le réseau de dépoussiérage a été renforcé.

Abrasion

Certains circuits de manutention ont été modifiés, avec adjonction de boîtes de chute et utilisation de pièces d'usure en aciers spéciaux (Creusabro).

Centrale thermique

Un système de piège à imbrûlés a été installé à

l'intérieur du foyer, côté entrée des chaudières. De même, des vannes de « vent chaud », entre foyer et chaudières, ont permis d'isoler, pour nettoyage, chaque chaudière individuellement sans pour autant arrêter l'installation.

D'autre part, l'étude de diverses allures de brûlage des débris de coques a entraîné une diminution sensible du taux d'envolées.

En ce qui concerne les problèmes de gestion et l'orientation qu'il convient de donner au projet, force est d'admettre que les seuls critères techniques ne peuvent être retenus.

Aussi est-il envisagé actuellement la création, dans les zones de production caféière, de centres de décorticage moins importants (une vingtaine au lieu de huit usines intégrées) utilisant les techniques les plus modernes récemment mises au point en Côte d'Ivoire. Le café décortiqué serait ensuite préparé pour l'exportation dans les usines existantes d'Abidjan où seront installés des équipements complémentaires (séparation densimétrique, triage colorimétrique, etc...).

PERSPECTIVES

Nous avons vu que les progrès récents concernant la technologie du « café vert » permettaient d'appliquer une politique de qualité parfaitement adaptée aux nouvelles exigences du marché international :

— contrôle et paiement de la matière première « à la qualité » ;

— nettoyage et séchage des lots réceptionnés ;

— stockage et conservation en vrac, au moindre coût ;

— décorticage, triages densimétrique et colorimétrique hautement performants ;

— traitements sanitaires selon les normes internationales.

Les recherches actuelles orientées en fonction d'une application rapide concernent surtout :

— Le nettoyage du café en coque réceptionné, parallèlement à un encadrement plus important des producteurs (récolte, séchage, etc...) ; ainsi, plutôt que

d'éliminer la poussière en chaque point du circuit où elle apparaît, on cherchera à provoquer sa formation en un seul point précis où on pourra la maîtriser.

— Le décorticage par de nouvelles techniques (stator à barreaux, rouleaux gonflables, etc...), le triage densimétrique (sans fluidisation), le triage colorimétrique, le dépelliculage (sablage).

— La valorisation des débris de coques : nouvelles techniques de brûlage (sous forme de poudre, de granulés, etc...), chaudières à tubes d'eau, fabrication de gaz pauvres pour moteur, panneaux agglomérés, etc...

Si des techniques dites « de meunerie » ont été appliquées dans un premier temps à l'industrie caféière, on constate qu'aujourd'hui apparaissent des équipements et des procédés spécifiques au domaine caféier.

RICHARD (M.). — Progrès dans le traitement et le conditionnement des cafés verts. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 187-196, fig.

En Côte d'Ivoire, une expérience intéressante a été tentée dans le domaine de l'usinage et du conditionnement du café vert.

RICHARD (M.). — Progress in green coffee processing and grading. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 187-196, fig.

An interesting experience dealing with processing and grading of the green coffee has been carried out in the Ivory Coast.

La réorganisation envisagée s'est appuyée sur des principes nouveaux de traitement dont l'application la plus spectaculaire est représentée par l'usine SERIC de Toumbokro.

Une comparaison, sur les plans technique et économique, entre le système traditionnel et la méthode de traitement appliquée montre clairement les conséquences de la réforme à tous les niveaux, les principales étant :

- un accroissement des revenus des producteurs,
- une amélioration qualitative et quantitative du produit.

The reorganization under consideration is based on new principles of processing, the most spectacular application of which being represented by the SERIC plant in Toumbokro.

A comparison, from the technical and economical point of views, between the traditional system and this newly applied method clearly shows the consequences of the changes obtained at any level, the principal of which being :

- an increase of the growers' incomes,
- a qualitative and quantitative improvement of the product.

LES OPÉRATIONS UNITAIRES DE LA TECHNOLOGIE DU CAFÉ



M. LONCIN

Ensia F 91305 Massy
Université D 7500 Karlsruhe

GÉNIE CHIMIQUE. GÉNIE BIOCHIMIQUE ET TECHNOLOGIE DU CAFÉ

Le génie chimique consiste essentiellement en l'étude des opérations unitaires de l'industrie chimique telles la filtration, la distillation, les réactions chimiques, etc... Ces opérations peuvent être décrites par des équations aux dérivées partielles, qui par la suite peuvent être intégrées en tenant compte des conditions initiales et des limites. Il est alors possible d'appliquer ces solutions à diverses matières premières en vue d'obtenir des produits finis.

Cette conception, qui date de la première moitié du vingtième siècle, s'est révélée extrêmement fructueuse dans l'industrie chimique et pétrolière et a permis l'expansion prodigieuse que nous connaissons. Cette expansion n'aurait cependant pas été possible sans l'utilisation des méthodes de la similitude physique et sans l'emploi généralisé des ordinateurs (Loncin, 1969).

La transposition de ces notions aux industries biochimiques et alimentaires est plus récente et a été retardée par la difficulté de définir la matière biologique ainsi que par l'importance des caractères organoleptiques et

diététiques. Il n'empêche cependant que par établissement de corrélations entre ces caractères et des mesures objectives de plus en plus raffinées, le génie biochimique et le génie industriel alimentaire sont devenus des réalités (Loncin, 1976).

Dans la technologie du café, les méthodes du génie chimique peuvent être appliquées aux divers stades de la préparation du café vert, de la torréfaction, de l'extraction et du séchage éventuel des extraits. Etant donné cependant que la valeur du café dépend exclusivement de ses caractères organoleptiques, une part importante d'empirisme subsiste et subsistera jusqu'à ce que des corrélations plus exactes soient établies. On sait, par exemple, que la couleur du café vert influence sa qualité et des méthodes correspondantes de mesure et de triage ont été mises au point. Nous sommes loin cependant de la « sonde » qui mesurerait en continu la qualité du café boisson et permettrait d'automatiser et d'optimiser les opérations en amont de sa préparation (Clarke, 1976).

EXEMPLES DE TRANSFERTS DE MATIÈRE, DE CHALEUR ET DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT, D'OPÉRATIONS MÉCANIQUES ET DE RÉACTIONS CHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES

Les transferts de matière jouent un rôle important lors de la maturation, du séchage des baies, de l'extrac-

tion du café boisson et de son séchage éventuel. Les transferts de matière au travers des matériaux d'embal-

lage jouent souvent un rôle essentiel sur la conservation.

Les transferts de chaleur interviennent également aux divers stades du séchage et de la torréfaction.

Quant aux transferts de quantités de mouvement, leur importance est très grande lors de l'extraction et de la filtration du café boisson.

Souvent ces trois transferts interviennent de façon simultanée et interdépendante comme c'est le cas lors du séchage ou de la torréfaction (Heiss, 1968). Dans ce dernier cas (fig. 1), on observe :

- un transfert de chaleur par contact avec un solide, qui peut être étudié par la deuxième équation de Fourier ;

- un transfert de chaleur entre un gaz et les baies qui peut être étudié par les méthodes de similitude (nombre de Nusselt) ;

- un transfert de chaleur à l'intérieur des baies décrit par une autre deuxième équation de Fourier ;

- des réactions chimiques très complexes dont les constantes de vitesses varient en fonction de la température suivant des équations du type Arrhenius ;

- des phénomènes de diffusion de l'intérieur vers l'extérieur qui peuvent être étudiés par la deuxième équation de Fick ;

- des vaporisations superficielles fonction d'un nombre de Sherwood.

Evidemment, on ne dispose pas toujours des constantes physiques ou cinétiques pouvant être introduites dans ces expressions. Il y a un siècle, on ne disposait pas non plus des constantes ou des fonctions utilisées de nos jours quotidiennement pour l'optimisation des processus de l'industrie chimique ou pétrolière !

Les opérations mécaniques de triage et de manutention peuvent être étudiées par les procédés mis en œuvre dans d'autres industries. Des procédés très raffinés peuvent être mis en œuvre dans l'industrie du café à cause du prix élevé de la matière première. Le broyage avant extraction joue un rôle très important puisque l'allure d'extraction dépend en principe de l'inverse du carré des dimensions moyennes (nombre de Fourier) ; de plus, il peut influencer la nature

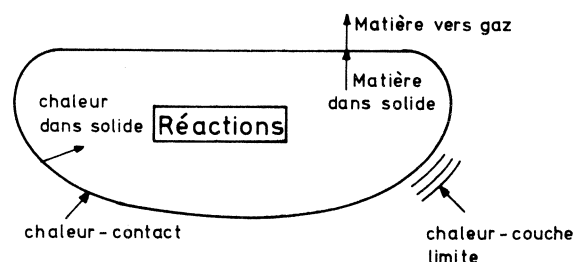


Fig. 1. — Variations locales dans le temps t (Variations dans l'espace et données cinétiques).

Fonction des expressions de Fourier, Fick, Nusselt, Arrhenius, Sherwood, etc.

qualitative des produits extraits. L'étude du broyage du café torréfié est rendue difficile par suite de la nature hétérotrope du produit.

Quant aux réactions chimiques et biochimiques extrêmement complexes se produisant en particulier lors de la torréfaction, on ne pourra les étudier que lorsque l'on connaîtra mieux les produits responsables du goût et de l'odeur, c'est-à-dire de l'arôme du café boisson. (Sivetz, 1963 et 1973 ; Eichler 1976).

Signalons comme problèmes très spécifiques de la technologie du café :

- l'influence de la fermentation lors de la séparation des baies sur le rendement et la qualité ;
- les méthodes de séparation des baies entre elles en diverses qualités marchandes ;
- l'investigation des phénomènes intervenant lors de la torréfaction en vue de son optimisation ;
- la détermination des conditions optimales d'extraction ;
- le séchage, l'instantanéisation ou la lyophilisation de l'extrait en vue de la rétention des substances d'arôme ;
- le conditionnement du café torréfié, moulu ou de l'extrait desséché.

DISPERSION DES TEMPS DE SÉJOUR LORS DES OPÉRATIONS CONTINUES

Dans la technologie du café, tout comme dans d'autres domaines, la tendance est au passage du discontinu au continu. Cela est vrai pour la préparation, la torréfaction, l'extraction aussi bien que pour la dessiccation des extraits. Le plus souvent, ces processus peuvent être représentés par des réactions du premier ordre (fig. 2) : c'est-à-dire que l'allure est proportionnelle à la concentration en produit non encore extrait ou transformé. Par intégration on obtient une loi logarithmique. Pour une réaction commençante, posons que le taux de transformation est de 2 % en dix secondes. Si une partie du produit ne séjourne qu'une seconde compensé par une partie égale séjournant

dix-neuf secondes, le taux moyen de transformation est toujours de 2 % environ.

Par contre, lors d'une réaction finissante, le taux de transformation en une seconde est de 40 % et en dix-neuf secondes de 99,99 %. La dispersion des temps de séjour signifie que le taux moyen sera de 70 % au lieu de 99 % lors d'une opération discontinuée pendant laquelle toutes les particules séjournent pendant dix secondes !

Il est bien certain qu'au cours d'opérations complexes comme la torréfaction, on se trouve à la fois devant des réactions commençantes et finissantes favorables ou non à la qualité. On conçoit donc que le passage du

$$\log \frac{1}{1-x} = k \cdot t$$

Taux de transformation · 100

Temps	Réaction commençante	Réaction finissante
0	0 %	0 %
1	0,2 %	40 %
10	2 %	99 %
19	3,8 %	99,99 %
Moyenne 1+19	2 %	70 %

Fig. 2. — Influence de la dispersion des temps de séjour

discontinu au continu s'accompagnant en principe toujours d'une dispersion des temps de séjour donne des résultats très différents, même si par exemple la température et la durée moyenne restent identiques.

De même, au cours de l'extraction, le fait qu'une partie déjà extraite séjourne plus longuement dans l'appareil ne compense pas le fait qu'une partie non encore extraite quitte prématurément l'extracteur.

Ce phénomène est bien connu dans l'industrie et des modèles mathématiques ont été établis (Rao, 1974), permettant de prévoir l'influence de la dispersion.

Plus important peut-être au point de vue purement pratique est de savoir comment éviter cette dispersion. En principe deux systèmes peuvent être considérés (fig. 3) :

— la multiplication du nombre d'extractions dites théoriques en cascade ;

— la méthode des lots séparés et consécutifs ce qui revient à l'utilisation d'une série d'opérations discontinues successives.

Ces deux procédés sont utilisés dans des industries aussi différentes que la synthèse chimique, le blanchiment des légumes et la pasteurisation des œufs homogénéisés. Ils doivent également être pris en considération dans la technologie du café chaque fois que les impératifs techniques ou économiques obligent à passer du discontinu au continu.

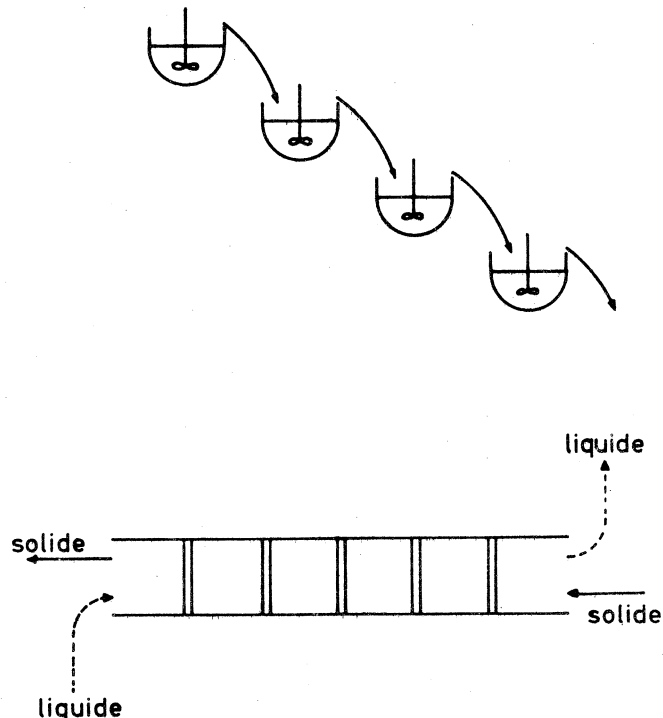


Fig. 3. — Systèmes permettant d'éviter la dispersion des temps de séjour : cascade et lots séparés consécutifs

PROBLÈMES D'OPTIMISATION

En général, il existe dans l'industrie une infinité de solutions à tout problème. Nous entendons par là qu'il existe un nombre illimité de combinaisons de températures, concentrations, longueurs, pressions, durées, etc... permettant d'arriver au but recherché.

Par contre, parmi toutes ces solutions une seule est optimale du point de vue économique. Prenons l'exemple de l'extraction du café torréfié renfermant par kg x_0 kg de matières solubles extractibles. Le coût du café torréfié est C_2 par kg et la valeur marchande de l'extrait sec C_1 par kg.

On peut souvent poser que les frais d'extraction restent constants et égaux à C_3 par kg de matière première jusqu'à un certain taux y_0 d'extraction de substances passant aisément dans la phase liquide. Lorsque l'on dépasse ce taux, les frais par kg de matière première s'élèvent et peuvent être représentés le plus souvent par une fonction du type

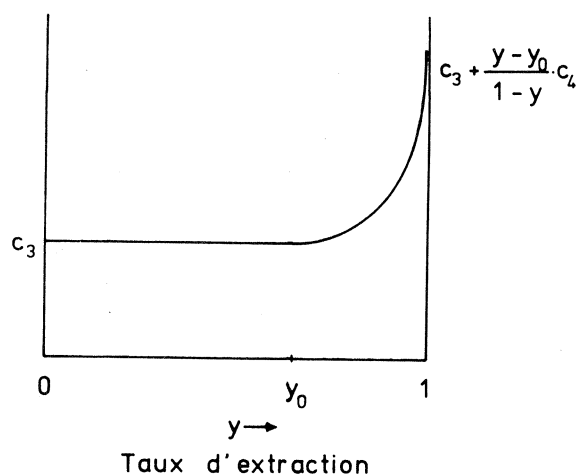
$$C_3 + \frac{y - y_0}{1 - y} \cdot C_4$$

Il est évident que si l'on décidait d'extraire la totalité des matières solubles, ces frais deviendraient infinis par suite de l'incidence des amortissements, des frais de concentration, etc...

La fonction économique F représentant la différence entre la valeur de l'extrait d'une part et celle de la matière première et des frais d'extraction d'autre part, est reprise sur la figure 4.

Il est bien évident que ce calcul brutal ne tient pas compte des qualités organoleptiques de l'extrait qui doivent être déterminées de façon adéquate et inter-

viennent de façon non encore déterminée, mais déterminante, dans la fonction économique (Heiss, 1969 ; Voilley, 1977).



$$F = c_1 \cdot x_0 \cdot y - c_2 - c_3 - \frac{y - y_0}{1 - y} \cdot c_4$$

$$\frac{dF}{dy} = c_1 \cdot x_0 - \frac{1 - y_0}{(1 - y)^2} \cdot c_4$$

Fig. 4. — Optimisation du taux d'extraction

CONCLUSIONS

La valeur du café dépend de son arôme, c'est-à-dire de son goût et de son odeur. Jusqu'à présent, l'homme n'a pu faire mieux que la nature, comme il l'a fait par exemple pour les matières colorantes ou les médicaments.

Au début du siècle, l'alizarine, colorant rouge, était obtenue à partir de la garance dont il existait des champs immenses. Le chimiste a pu reproduire l'alizarine par synthèse et les champs ont disparu ; il a ensuite synthétisé de nouveaux colorants plus stables, de nuances plus attrayantes, moins chers, plus faciles à l'emploi.

Qui nous dit que dans l'avenir, les quelques centaines de grammes de substances d'arôme produites par

hectare-année de culture de caféier ne pourront pas être reproduites par synthèse, améliorées encore en ce qui concerne leurs qualités organoleptiques et diététiques ? La science moderne est en mesure d'envisager la fabrication de produits meilleurs, plus sûrs et moins chers.

On ne peut que féliciter l'ASIC d'être arrivé à réunir des spécialistes provenant de domaines très différents qui, mettant leur savoir en commun, permettent d'envisager l'avenir sous un jour scientifique, réaliste et en confiance. Une évolution dans un sens ou dans un autre est inéluctable, la garance a vécu, le caoutchouc naturel vit toujours. Quel sera l'avenir de l'arôme café ?

BIBLIOGRAPHIE

- R. J. CLARKE. — Food engineering and coffee. *Chemistry and industry* (Londres), 362, 1976.
- O. EICHLER. — Kaffee und Coffein. Edit. Springer, 1976.
- R. HEISS *et al.* — *Verfahrenstechnik* (Mayence), 2, 474, 1968.
- R. HEISS *et al.* — *Verfahrenstechnik* (Mayence), 3, 17, 1969.
- M. LONCIN. — Die Grundlagen der Verfahrenstechnik in der Lebensmittelindustrie. Edit. Sauerländer Aarau, 1969.
- M. LONCIN. — Génie industriel alimentaire. Edit. Masson (Paris), 1976.
- M. R. RAO, M. LONCIN. — Residence time distribution

- and its role in continuous pasteurization. *Lebensm.-Wiss. u. Techn.*, 7, 5 et 14, 1974.
- M. SIVETZ. — Coffee processing technology. Edit. AVI (Westport), 1963, vol. I : 598 p., vol. II : 379 p.
- M. SIVETZ. — Coffee origin and use. Coffee publications. Edit. (Corvallis), 1973, 500 p.
- A. VOILLEY. — Evolution de l'amertume d'un café-boisson en fonction de quelques paramètres d'extraction. 8^e Colloque Scientifique International du Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 251-259.

- LONCIN (M.). — **Les opérations unitaires de la technologie du café.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 197-201, fig., réf.
- Génie chimique, génie biochimique et technologie du café.
- Exemples de transferts de matière, de chaleur et de quantités de mouvement, d'opérations mécaniques, de réactions chimiques et biochimiques.
- Dispersion des temps de séjour lors des opérations continues.
- Problèmes d'optimisation ; exemple : extraction du café.

- LONCIN (M.). — **Unit operations of coffee technology.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 197-201, fig., réf.
- Chemical and food engineering in relation to coffee technology.
- Examples of mass, heat and momentum transfers, of mechanical operations and of chemical and biochemical reactions.
- Dispersion of residence time in continuous operations.
- Optimization problems ; extraction of coffee as an example.

DIE HERSTELLUNG VON KAFFEE-EXTRAKT



K. F. SYLLA

Entwicklungsabteilung der HAG AG
Bremen

Unter Kaffee-Extrakt versteht man ein haltbares Konzentrat der wasserlöslichen Inhaltsstoffe von Röstkaffee. Mit heißem Wasser gelöst erwartet man ein Getränk, welches sich möglichst wenig von einer frischen Zubereitung aus gemahlenem Bohnenkaffee unterscheidet. Es werden Farbe, Duft, Geschmack, anregende Wirkung und « mouth-feeling » wie dort gewohnt, erwartet.

Warum gibt es Kaffee-Extrakt ?

Wir haben doch Bohnenkaffee.

Neben einer Reihe von bekannten Vorzügen hat das direkt aus gemahlenen Bohnen hergestellte Kaffeetrink bemerkenswerte Nachteile :

Die Zubereitung dauert verhältnismäßig lange, der Verbrauch muß vorher bestimmt werden, das Getränk ist anfangs zu heiß, unterschiedliche Dosierungen sind schwierig, coffeinhaltig — coffeefrei nebeneinander, Abfallproblem mit dem Kaffeesatz.

Für Kaffee-Extrakt sehen obige Punkte ganz anders aus :

blitzschnelle Zubereitung,
beliebig viele Einzelportionen,
sofort gewünschte Temperatur,
individuelle Dosierung,
mehrere Sorten nebeneinander,
kein Abfall.

Bei einem Vergleich obiger Eigenschaften wird es verständlich, daß der Kaffee-Extrakt ein ganzes Bündel von Problemlösungen bietet, vor allem überall da, wo eine Küche fehlt, etwa im Büro, beim Camping usw. Der Kaffee-Extrakt verdankt seine Existenz der aufwendigen Bohnenkaffeehandlung.

Zum Glück für den Bohnenkaffee hat der Extrakt auch eine Schwäche :

Er schmeckt nicht so gut.

Auf dem Markt gibt es weltweit noch keinen getrockneten Kaffee-Extrakt, der von geschulten Testpersonen mit einem frischen Aufguß aus Bohnenkaffee verwechselt werden könnte. Auf der anderen Seite gibt es eine Vielzahl von Lebens- und Genußmitteln, die ohne Schädigung ihrer Qualität getrocknet oder extrahiert und getrocknet werden können, so z.B. Fruchtsäfte und Gewürzextrakte, Milchpulver, Fleisch, Pilze usw., um nur einige zu nennen.

Für den Forscher wie für den Verfahrenstechnologen ist das bisherige Fehlen des Optimalgeschmacks eine seit langem bestehende Herausforderung. Die Firma, deren Forschung und Entwicklung obiges Problem exklusiv lösen könnte, hätte ganz bestimmt einen beachtlichen Vorteil.

Aus der Sicht des Technologen sieht die Aufgabe folgendermaßen aus :

Es ist unter wirtschaftlichen Bedingungen großtechnisch aus Röstkaffee mit Wasser als einzig zugelassenem Lösemittel ein Extrakt herzustellen, der durch Wasserentzug zu konservieren ist. Das Produkt muß längere Zeit haltbar und mit Wasser aufgegossen einem frischgebrühten Getränk aus Bohnenkaffee zum Verwechseln ähnlich sein.

Durch Variation der Verfahrensbedingungen ist die Qualität des Produkts zu optimieren.

Für den Verfahreningenieur ist bei einer Aufgabe dieser Art die genaue Kenntnis der Inhaltsstoffe und deren chemisches und physikalisches Verhalten von grundlegender Wichtigkeit. — Schon bei flüchtiger Durchsicht der Literatur wird man überrascht von der Mannigfaltigkeit der bekannten Inhaltsstoffe auf der einen Seite, wie von der großen Zahl der erst halb oder völlig unbekanntem Anteile auf der anderen.

Eine kurzgefaßte Übersicht über die Inhaltsstoffe des Röstkaffees gibt Vitzthum (1976) zugleich mit den zitierten Autoren. Von den Inhaltsstoffen sind 25,17 % wasserlöslich. Von der chemischen Struktur her sind nach der Aufstellung etwa 1/3 dieser Substanzen nicht genau definierbar. Ein weiteres Drittel ist aus der Sicht des Chemikers einer Reihe von bekannten Substanzen zwar einzuordnen, eine genau definierte Aussage fehlt jedoch. Sie müssen deshalb aus chemischer Sicht als teilweise bekannt angesehen werden. Von der Menge her gesehen ist nur das letzte Drittel gut bis mittelmäßig quantitativ bestimmbar. Von diesen Substanzen sind die 0,4 % flüchtigen Aromastoffe bisher mit dem größten Forschungsaufwand untersucht worden. Wie bekannt, werden durch Anwendung höherer Temperaturen als 100 °C weitere Substanzen des gerosteten Bohnenkaffees extrahierbar. Da er 24 % wasserunlösliche Polysaccharide, 27,5 % wasserunlösliche unbekannte Substanzen und 7,5 % wasserunlösliche Eiweißstoffe enthält, befinden sich im Kaffee-Extrakt anteilmäßig noch mehr unbekannte Substanzen als im Kaffeeaufguß. Praktisch die Hälfte der Substanzen ist unbekannt, nur etwa ein Achtel besteht aus quantitativ bestimmbareren Inhaltsstoffen.

Die organoleptische Prüfung technologisch verschiedenen hergestellter Varianten ist leider nur für mittelgroße Unterschiede der Proben als Beurteilungsmittel geeignet. Kleine Verbesserungen im Verfahren können im einzelnen nicht erkannt werden.

Welche chemischen Analysen können nun dem Verfahreningenieur als sicheres Werkzeug für die Optimierung in die Hand gegeben werden ?

Bei Durchsicht der vorher angegebenen Inhaltsstoffe kommt man zu folgendem Ergebnis.

Eiweiß bzw. Aminosäuren

Belitz (1975) erwähnt eine Reihe von Aminosäuren als bitter-schmeckend. Den niedrigsten Schwellenwert von 4-6 mMol/l zeigt Tyrosin (MG 181.19). Nach Pereira und Pereira (1971) kommen freie Aminosäuren in Röstkaffee in Spuren vor, diese liegen jedoch weit unterhalb des obigen Schwellenwertes. Eine Aminosäureanalyse erscheint daher für die Optimierung von Verfahrensbedingungen nicht geeignet zu sein.

Kohlehydrate, Mono-, Oligo- und Polysaccharide

Dieses ist eine vielseitige und technologisch vor allem für die mechanischen Produkteigenschaften sehr maßgebende Gruppe von Verbindungen. Mehrfach wird erwähnt (Thaler (1957), Ara (1973), Kröplien (1974)), daß Mono- und Oligo-Saccharide im Röstkaffee und Kaffee-Extrakt nur in geringen Mengen

vorhanden sind. Ara hat nachgewiesen, daß mit Sicherheit keine Dextrine vorkommen, da auch Stärke nicht nachweisbar ist.

Der Anteil der Polysaccharide ist mit insgesamt 30 % im Röstkaffee sehr hoch. Nur 6 % davon sind bei 100 °C wasserlöslich. Sivetz (1963) meint, daß bei höheren Temperaturen größere Moleküle hydrolysiert und damit wasserlöslich werden. Er vergleicht dieses mit dem Stärkeabbau zu Dextrin und der Holzverzuckerung. Dieser Vorstellung wird in späteren Arbeiten, vor allem dem Arbeitskreis um Thaler und H. G. Maier widersprochen.

Wegen der Vielfalt der Substanzen und der Schwierigkeit exakter und quantitativer Bestimmungen erscheint dem Technologen das Kohlehydratgebiet noch wenig durchleuchtet. Es gibt zwar reproduzierbare quantitative Bestimmungen der monomeren Bausteine der Polysaccharide. So zeigt Ara (1973) Abhängigkeiten der Polysaccharidzusammensetzung von der Art des Kaffees und seinem Röstgrad, bei Extrakten auch vom Extraktionsgrad. Asante (1974) zeigt in seinen Untersuchungen, daß die Aufspaltung von Polysacchariden in einer « Hydrolyse » unwahrscheinlich ist. Mit steigendem Extraktionsgrad werden die mittleren Molemassen nämlich größer und nicht kleiner. Er nimmt an, daß temperaturabhängige Löse- und Sorptionsverhältnisse, die mit steigenden Temperaturen sich erhöhenden Extraktionsgrade erklären.

Asante weist ebenfalls darauf hin, daß die Polysaccharide und Galaktan aromabindende Eigenschaften besitzen und die bei den Trocknungsvorgängen auftretenden Aromaverluste vermindern. Diese Annahmen werden von H. G. Maier (1975) bestätigt und vertieft.

Pictet (1975) konnte die Kohlehydrate des Instantkaffees in definierte Einzelfractionen auftrennen.

A. Leifert (1975) zeigte in Autoklavenversuchen, daß sich Mannose bei Temperaturen oberhalb 180 °C aus Kaffeesubstanzen bis zu 1,16 % bildet, ebenso erhöht sich der Anteil an Arabinose von 0,16 % auf Werte bis zu 0,6 %.

Die bisher gewonnenen Kenntnisse über die Kohlehydratfraktion geben dem Technologen folgende Empfehlung :

Er sollte den Extraktionsprozeß so steuern, daß möglichst alle Substanzen, die bei 100 °C extrahierbar sind, auch wirklich bei dieser Temperatur herausgelöst werden. Die anschließende Extraktion bei höheren Temperaturen sollte sich dann auf die Inhaltsstoffe mit höherer Teilchenmasse konzentrieren, die erst dann löslich sind. Dieses läßt sich analytisch verfolgen.

Fette und Lipide

Die Fette und Lipide sind für die Aromabindung zweifellos sehr wichtig, im Kaffee-Extrakt kommen sie jedoch in verhältnismäßig kleinen Mengen vor.

Sie werden daher häufig dem getrockneten Kaffee-Extrakt mit angereichertem Mahlgas- oder Stripparoma in kleinen Mengen zugesetzt.

Säuren

Die flüchtigen Säuren können wichtige Hinweise bei der Hantierung beim Aromastrippen geben, sie sind chemisch-analytisch leicht zu bestimmen.

Bei den nicht flüchtigen Säuren ist wichtig, daß die Chlorogensäuren, wie Leifert (1975) zeigen konnte, bei höheren Extraktionstemperaturen abgebaut werden. Der Chlorogensäuregehalt ist daher ein gutes Maß für die Effektivität der 100 °C-Extraktionsstufe einer Prozeßführung. Kwasny (1975) hat aufgezeigt, daß der Chlorogensäurekomplex schnell und einfach bestimmt werden kann.

Alkaloide

Coffein und Trigonellin sind gut wasserlöslich. Für die analytische Auswertung bei der Optimierung von Extraktionsverfahren spielt daher der Coffeingehalt in Einzelfractionen eine wichtige Rolle. Die Nicotinsäure hat wegen ihrer geringen Menge technologisch gesehen keine Bedeutung.

Mineralstoffe

Die anorganischen Bestandteile der Kaffeeinhaltsstoffe sind zu 90 % gut wasserlöslich. Sie werden anscheinend vom Kaffeerückstand nicht adsorbiert. Da die Mineralstoffe sehr schnell und leicht nach dem Veraschen von Proben analysiert werden können, stellen sie ein wichtiges Hilfsmittel beim Verfolgen der einzelnen Extraktionsstufen dar.

Flüchtige Aromastoffe

Der Aufwand der Kaffeearomaforschung ist erheblich. Hunderte von Stoffen wurden isoliert und identifiziert, dabei hat man stabile und empfindliche Substanzen gefunden. Es wird vermutet, daß noch etwa drei Hundert Stoffe (Streuli (1973)) der Aufklärung harren.

Bisher haben diese Forschungsergebnisse für die Technik noch wenig praktischen Nutzen gebracht. Es ist für die Optimierung von Extraktionsprozessen nützlich, begleitende Gaschromatogramme der flüchtigen Inhaltsstoffe zu besitzen und zu sehen, ob die Fingerprints nach Art und Menge ohne große Veränderungen die einzelnen Verfahrensstufen überstehen. Bei der Beurteilung der Aromahantierung im Kaffee-Extraktprozeß, so z.B. beim Aufarbeiten von Stripparoma in wichtige oder störende Fraktionen, ist die Hilfeleistung durch die analytische Chemie leider noch

nicht groß. Man erkennt dieses deutlich an vielen Aromaverfahrenspatenten, die praktisch alle ohne chemische Definition der Inhaltsstoffe auskommen.

Unbekannte Substanzen

Alles das, was an Stoffen mit höheren Molekulargewichten als braune Reaktionsprodukte aus Kohlehydraten und Eiweißstoffen im Röstkaffee vorkommt, ist wenig bzw. gar nicht bekannt.

Wohl kann man Bruchstücke isolieren und identifizieren, für die Kaffee-Extrakt-Technologie bieten die Untersuchungen auf diesem Gebiet zwar interessante Hinweise, diese reichen jedoch nicht für eine Prozeßoptimierung aus.

Neben der besseren Erkenntnis der erwünschten Extraktstoffe ist auch die der unerwünschten notwendig. Bei der Variation der praktisch möglichen Extraktionstechnologie treten bisweilen empfindliche, nicht immer chemisch erklärable Störungen auf. So wird man zum Beispiel beim Extrahieren von feingemahlenem Kaffee oder beim Trennen von Kaffeesatz und Extrakt mit Zentrifugen, oder beim Extrahieren mit kaltem Wasser durch andersartiges Verhalten der Inhaltsstoffe überrascht. Auch beim Versuch, aus dem gemahlten Kaffee zuerst durch Wasserdampf wertvolle Aromastoffe zu isolieren und dann anschließend zu extrahieren, werden bei nicht genügend schnellem Arbeiten empfindliche Störungen registriert. Diese äußern sich dadurch, daß die mechanischen Eigenschaften des sprühgetrockneten Pulvers dem gewohnten Bild nicht mehr entsprechen. So läßt z.B. die mechanische Festigkeit der Hohlpartikel nach, die Teile zerfallen bei mittlerer Beanspruchung, etwa beim Verpacken. Sie bilden schwere staubige Pulver. Auch der Versuch, sprühgetrockneten Extrakt zu agglomerieren, mißlingt.

Gefriergetrocknete Partikel lassen den sonst gewohnten festen Aufbau vermissen, sie zerfallen ebenfalls sehr leicht.

Es kann auch vorkommen, daß beim Aufkonzentrieren von klarfiltrierten Extrakten Ausfällungen auftreten von dunkelgefärbten, sehr bitter schmeckenden Stoffen. Dieses ist vom pH-Wert abhängig. Im sauren Bereich nehmen die Störungen zu.

Ein anderer Effekt ist wahrscheinlich von der Rohkaffeesorte abhängig, gelegentlich kann man das Gelieren von Extraktlösungen in den Lagertanks beobachten.

Außergewöhnlich unangenehm sind Störungen, die sich erst im trockenen Produkt bemerkbar machen. Klarfiltrierte Lösungen ergeben dann Extrakte mit einer Vielzahl von wasserunlöslichen Partikeln, die das Produkt ungenießbar machen.

Anscheinend brauchen wir bei der Kaffee-Extrakttechnologie auch noch die Hilfe des Kolloid- und Physiko-Chemikers, um viele offene Fragen zu beantworten.

Die Einzeloperationen der Extrakterstellung sind :

Rösten
Zerkleinern
Extrahieren
Aromahantieren
Konzentrieren
Separieren und Lagern
Einfrieren
Gefriertrocknen
Sprühtrocknen
andere Trocknungstechniken
Agglomerieren
Verpacken.

Technische Literatur

Die technische Literatur ist nicht ganz so zahlreich wie Veröffentlichungen über Inhaltsstoffe.

Sivetz (1963) gibt einen ausführlichen Überblick in « Coffee Processing Technology » über den damaligen Stand, von dem vieles heute noch gültig ist.

Speziell über die amerikanische Patentliteratur gibt Pintauro in « Coffee Solubilization » (1975) wertvolle Angaben. Die recht zahlreichen europäischen Patente finden in diesem Werk leider keine Beachtung.

Es gibt eine Reihe von technischen Veröffentlichungen, so z.B. die sehr umfassenden Übersichten von Smith (1975). Erwähnenswerte Veröffentlichungen von *Anlagenfirmen* mit ihren Auroren sind u.a. :

Atlas mit Soerensen (1976) und Ettrup Pertersen (1977).

Niro mit Andresen (1973).

Leybold-Heraeus mit Stahl (1976 und 1979).

Weiterhin kommen ausführliche Prospekte von den Firmen Bühler-Miag, Krauss-Maffei, Alfa-Laval und Atlas, Niro und Leybold.

Einen interessanten Einblick in die Situation eines Anwenders gibt Kamps (1977) von der Firma Dr. O. Suwelack.

Als Beispiel für Hochschulforschung gibt es eine Arbeit von Thijssen (1973). Die chemische Ergänzung hierzu liefern Maier u. Krause (1977).

Im übrigen gibt die Patentliteratur eine Vielzahl von Ergebnissen und Anregungen.

Wir wissen zum Thema der Kaffee-Extrakt-Optimierung jetzt folgendes :

Es liegt im Röstkaffee ein Vielkomponentengemisch vor mit mehr als 50 % unbekanntem Stoffen. Über die eigentliche « Essenz », das « Aroma », den Begriff « Qualität » gibt es chemisch-analytisch keine eindeutigen Definitionen. Es kommt darauf an, aus der Sicht des Verbrauchers « wertvolle » Inhaltsstoffe zu bewahren und die Bildung oder Extraktion « unerwünschter » Substanzen zu verhindern.

Die Herstellung muß den gesetzlichen Bestimmungen entsprechen. Die Extrakt-Pulver oder Granulate müssen ein abriebfestes Schüttgewicht von ca. 250 g/l

aufweisen. Geschmack und Duft müssen von gleichbleibender Beschaffenheit, und die Herstellung muß wirtschaftlich sein.

Die Grundoperationen im einzelnen

Beim **Rösten** gibt es eine Reihe von Optimierungsmöglichkeiten. Neben der Wahl der Rohkaffeemischung und Gleichmäßigkeit der Röstung, muß die für den Extraktionsgrad und den Geschmack optimale Röstfarbe ermittelt werden. Diese kann für Arabica und Robusta verschieden sein.

Die Druckröstung hat nach unseren Untersuchungen keinen positiven Einfluß auf den Extraktionsgrad, eher negativ. Sie steht jedoch für das Rösten von zerkleinertem Rohkaffee zur Diskussion.

Das **Zerkleinern** von Kaffee für die Extraktion unterscheidet sich in der Korngrößenverteilung deutlich von der üblichen Haushaltsmahlung. Es ist erforderlich, für jeden Extraktionsprozeß optimal zu zerkleinern. Da Röstkaffee ein sprödes Material ist, gibt es beim Mahlen ein breites Kornverteilungsspektrum. Für das schnelle Befeuchten ist ein hoher Oberkornanteil nachteilig. Das Unterkorn führt in Perkolatoren zu hohen Filterwiderständen, u.U. zu Verstopfern. Wasseraufnahme und Filterwiderstände kann man in geeigneten Geräten bestimmen. Feingemahlener Kaffee führt ebenfalls zu erhöhtem Trübstoffanteil und Schwierigkeiten bei der Separation.

Da Rohkaffee weniger spröde ist und daher beim Zerkleinern ein engeres Kornspektrum aufweist, ist aus obiger Sicht die Druckröstung zu diskutieren.

Das **Extrahieren**, von der Optimierung her die aufwendigste Verfahrensstufe, ist im Prinzip eine einfache Operation. Man läßt heißes Wasser auf Röstkaffee im Gegenstrom einwirken und trennt die Extraktlösung vom unlöslichen Kaffeersatz. Einen Ansatz zur rechnerischen Behandlung eines Diffusionsvorganges geben Douze und Ugstad (1975) für die Herstellung von Fruchtsaft.

Zwei Beispiele für Verfahren, die nicht realisiert wurden, sind die Deutsche OS 1.519.818 und 1.719.463 der I.W.K. (1969 und 1970) und die deutsche Patentschrift 1.234.680 (1967) der Metallgesellschaft.

In beiden Fällen reicht die Betrachtung als Diffusionsproblem nicht aus, um Kaffee-Extrakt herzustellen. Verschiedene Vorschläge, die Extraktion drucklos durchzuführen und die sog. « Hydrolyse » im Autoklaven zu vollziehen, haben sich in der Praxis nicht realisieren lassen.

Es ist nötig, das Durchströmen des Kaffeebetts mit heißem Wasser auch bei Temperaturen über 100 °C durchzuführen. Für halbtechnische Arbeiten ist es daher erforderlich, eine Apparatur zu bauen, die dieses sowohl mit kontinuierlich steigender Temperatur als auch bei einer fest eingestellten Temperatur ermöglicht.

Mit Hilfe einer solchen Apparatur ist es möglich, die unterschiedlichen Abhängigkeiten, etwa des Extraktionsgrades von Temperatur, Wasserströmungsgeschwindigkeit, Mahlgrad und Röstung zu bestimmen.

Ebenfalls ist es möglich, den Einsatz der Verfahrensbedingungen auf die Veränderungen der chemischen Zusammensetzung zu studieren. Die bei Leifert (1975) beschriebenen Autoklavenversuche lassen sich unserer Meinung nach nicht auf technologische Verhältnisse übertragen.

Aus den Versuchsergebnissen ergibt sich, warum eine Perkolatorenbatterie so gut funktioniert und warum auch die Niro-Schnecke für Kaffee-Extrakt eine gangbare Alternative darstellt. Die deutsche OS 2.508.422 gibt mit Thijssen als Erfinder ein Verfahren an, welches aus unserer Sicht ebenfalls funktionieren müßte, wenn die Mahlung nicht zu fein gehalten wird.

Die klassische Form einer Perkolatorenbatterie ist für Kaffee-Extrakt nach wie vor gut anwendbar. Eine Reihe von Verbesserungen und technischen Verfeinerungen können noch zur Optimierung beitragen.

Eine der neueren Nestle-Anmeldungen (1976 DOS 2.633.298) wendet wieder das bekannte Prinzip des « pre-wetting » an, um den Extraktfluß zur Aufkonzentrier- und Aromastripp-Stufe nicht zu unterbrechen.

Die Zahl der Apparatehersteller, die Perkolatoren für Kaffee-Extrakt in ihrem festen Lieferprogramm haben, ist in Europa stark geschrumpft, es gibt sie nur noch bei Niro, Kopenhagen.

Natürlich kann man nach eigenen Angaben Perkolatoren bei einem beliebigen Behälterhersteller bestellen.

Das **Aromahantieren** ist sehr komplex, die Patentliteratur sehr vielseitig. Auf einen einfachen Nenner gebracht, können flüchtige Aromabestandteile aus Mahlgas, bei der Dampfbehandlung von Röstkaffee in den Perkolatoren oder vor dem Aufkonzentrieren aus dem wäßrigen Extrakt gewonnen werden. Nach Aufarbeitung, eventuell mit Kaffeeöl gemischt, werden die Aromastoffe in den aufkonzentrierten Extrakt gegeben oder erst nach dem Trocknen mit den nicht flüchtigen Inhaltsstoffen vereint.

Das **Konzentrieren** von Kaffee-Extrakt war noch vor ca. 10-12 Jahren eine Kunst, die nur wenige ExtraktHersteller verstanden. Inzwischen hat man viel hinzugelernt. Das Aufkonzentrieren durch Vakuumverdampfung kann in einer Reihe von Apparatekonstruktionen durchgeführt werden. Sehr bekannt ist der Centri-Therm von Alfa-Laval, es geht jedoch auch mit geringerem mechanischem Aufwand in Röhren- oder Plattenverdampfern.

Die Gefrierkonzentrierung ist seit Jahren im Gespräch, sie wird vereinzelt auch großtechnisch angewandt.

Zum **Separieren** und **Lagern** gibt es eine Reihe von Optimierungsmöglichkeiten. Die Trübstoffe bestehen nicht nur aus feinem Kaffeesatz, das Separieren sollte daher nicht nach optischen Gesichtspunkten geschehen. Apparate dafür sind zumeist von der Milchindustrie bekannt und in vielen Variationen erhältlich. Das gleichmäßige, kühle Lagern ist zum Vermeiden von Qualitätsabfall wichtig. Auch hier kann man mit Erfolg optimieren.

Einfrieren und **Gefriertrocknen** muß man, wenn die Optimierung des Produktes im Vordergrund steht, gemeinsam betrachten, obgleich beide Verfahrensschritte auch einzeln sehr komplex sind. Die Konzentration der wäßrigen Extrakte vor dem Trocknen

beträgt bei vielen Herstellern heute um 40 % und mehr, und es wird normalerweise geschäumt eingefroren. Die Aromabindung ist bei höheren Ausgangskonzentrationen verbessert. Da jedoch der Einfriervorgang, vor allem, wenn er langsam vor sich geht, einer Gefrierkonzentrierung gleichkommt, ist die Wahl der Einfriertechnik ebenfalls für die Aromabindung von Wichtigkeit. Auch die Produktfarbe wird von der sog. Lamellendicke und der Größe der Eiskristalle bestimmt. Nach einem Schweizer Patent der HAG AG (Nr. 511.409, 1971) kann durch zweistufiges Einfrieren der Vorgang optimiert werden, nach einem weiteren patentierten Verfahren der HAG AG (Schweizer Patent Nr. 543.238, 1973) kann durch geeignete Wahl des Gases zum Schäumen beim Einfrieren ebenfalls eine stärkere Lamellendicke erhalten werden.

Grundsätzlich kann Kaffee-Extrakt an Walzen, auf Bändern oder in Schalen eingefroren werden. Die Wahl des Verfahrens hängt in starkem Maße von den gewünschten Produkteigenschaften ab.

Zu Beginn der Herstellung von gefriergetrocknetem Kaffee-Extrakt hat man der Eishantierung noch wenig Aufmerksamkeit gewidmet. So wurden damals im « Maxim » grobe Extrakt-Eisstücke ohne weitere Zerkleinerung und Siebung gefriergetrocknet. Inzwischen wird eine ausgeklügelte Technik der Eishantierung eingesetzt, um Granulate mit engem Kornspektrum ohne Staubanteil zu trocknen.

Die Anlagenbauer hatten in den 60er Jahren einen ausgesprochenen Boom. Sehr schnell wurden wirtschaftliche Systeme entwickelt, bei denen z.B. von der Fa. Leybold das Kammerprinzip durch Aneinanderreihen von Segmenten und Anbringen von Ein- und Ausfahrtschleusen für eine quasi kontinuierliche Fahrweise erweitert wurde. Das Eisgranulat wurde in Schalen gefüllt, die zum besseren Wärmeübergang mit Rippen versehen waren.

In Zusammenarbeit mit den Anwendern wurde das System verbessert, grundlegende Untersuchungen führten zur Optimierung.

Mit dem Conrad-System brachte Atlas eine Vereinfachung der Trocknungsschalenhantierung. Soerensen (1976) beschreibt das System ausführlich.

Weitere Fortschritte brachte die schalenlose Hantierung. Mit der kontinuierlichen Gefriertrocknung nach dem Tellertrocknerprinzip, schuf Krauss-Maffei ein sehr wirtschaftliches großtechnisches System. Es werden Anlagengrößen bis zu 175 m² Heizfläche gebaut, die eine Produktion bis zu 6 t/Tag Kaffee-Extrakt zulassen. Die Wasserverdampfung liegt zwischen 2,7 und 3,3 kg/m²/h, die Trocknungszeit unterhalb 2,5 Stunden.

Auch Leybold hat eine schalenlose Gefriertrocknung entwickelt. In einem Kaskaden-Vibrations-Gefriertrockner können bis zu 5 kg/m²/h Wasser verdampft werden.

Anlagen bis 38 m² Heizfläche für Kunststoffgranulat wurden gebaut. Ein Firmenprospekt gibt einen umfassenden Überblick.

Es gibt noch eine Reihe anderer Hersteller von Gefriertrocknungsanlagen, über die mir leider schriftliche Unterlagen nur unvollkommen vorliegen.

Das **Sprühtrocknen** von Kaffee-Extrakt hat anfangs durch die rasante Entwicklung der Gefriertrocknung etwas an Ansehen verloren. Durch die Anwendung konzentrierter Extrakte und die Weiterverarbeitung zu Agglomerat ist die Bedeutung inzwischen größer als zuvor. Weitere Optimierungen erscheinen möglich, etwa durch Sprühdüsen mit engerem Tropfen-Spektrum, durch ausgeklügelte Luftführungen oder gar durch das Fahren in einem Inertgaskreislauf.

Die Zahl der Trockenturmbauer für Kaffee-Extrakt hat sich ebenfalls stark reduziert, den größten Anteil hat anscheinend die Fa. Niro, Kopenhagen.

Andere Trocknungstechniken sind ebenfalls probiert worden, die Kaltluftsprühtrocknung nach dem Birs-Verfahren, die sog. Schaummatte-Trocknung, und selbst die Walzentrocknung gibt ansehnliche Resultate. Alle diese Verfahren haben sich jedoch nicht recht durchsetzen können, anscheinend stört vor allem das andersartige Aussehen dieser Produkte.

Durch das **Agglomerieren** können feinkörnige Extraktpulver zu stückigen Agglomeraten vereinigt werden. Im Fallen oder auf drehenden Scheiben werden die Pulverteilchen mittels Wasserdampf miteinander verklebt und anschließend getrocknet. Jensen (1975) beschreibt dieses ausführlich.

Es gibt daneben eine Reihe anderer Möglichkeiten zum Agglomerieren von Kaffee-Extrakt. Das Schweizer Patent Nr. 528.227 (1972) beschreibt ein Verfahren der HAG AG, bei dem Extraktpulver durch Befeuchten und anschließendem Trocknen in Vakuumkammern stückig gemacht wird. Dieses Verfahren hat vor allem den Vorteil sehr abriebfester Agglomerate mit genügend niedrigem Schüttgewicht.

Das **Verpacken** von Kaffee-Extrakt-Granulaten oder Pulvern ist schon mehr eine Aufgabe der mechanischen Technologie. Es gibt gut funktionierende, wirtschaftlich arbeitende Systeme zu kaufen. Schwierigkeiten bereitet noch das Verpacken unter Luftausschluß. Es ist jedoch zu erwarten, daß mit steigenden Anforderungen nach diesen Systemen in der Zukunft preiswerte Maschinen für das Verpacken in Inertgas angeboten werden.

Die **Zukunftsaussichten** sind durchaus hoffnungsvoll. Es ist zu erwarten, daß neue Erkenntnisse bei der Erforschung der Koffeinhaltsstoffe zu weiteren technologischen Verbesserungen führen werden, sowohl was die Extraktion, die Aromahantierung, als auch die Trocknung betrifft.

LITERATUR

R. ANDRESEN. — Preparation of Coffee Extracts by Continuous Extraction. 6. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Bogotá, 4.-9. Juni 1973) ASIC (Paris) S. 234-239.

V. ARA. — Zur Kenntnis eines mit alkalischer Kupferlösung fällbaren Galaktomannans in Kaffee-Extrakten. Dissertation Techn. Univ. Braunschweig, 1973.

M. ASANTE. — Polysaccharid-Komplexe von geröstetem Robusta-Kaffee und Robusta-Kaffee-Extrakten, Dissertation Techn. Univ. Braunschweig, 1974.

H. D. BELITZ. — Geschmacksaktive Substanzen in Kaffee, Intern. Kongress über Kaffeechemie (Hamburg, 9.-14. Juni 1975) ASIC (Paris), S. 243-252.

R. DOUSSE, E. UGSTAD. — Anwendung der Fest-Flüssig-Extraktion für die Herstellung von Fruchtsaft. *Lebensm.-Wiss. u. Technol.*, **8**, 255-264, 1975.

E. ETTRUP PETERSEN. — Five Steps of the Freeze-Dry Process. *Tea & Coffee Trade Journal* (New York), **149** (4), 14-15 + 45, 1977.

HAG A. G. — Verfahren zur Herstellung von pulverförmigen Produkten aus Säften von Früchten oder Gemüsen oder aus wässrigen. Extrakten von pflanzlichem Material. CH-Pat. 511 409, 1971.

IWK A. G. — Verfahren und Vorrichtung zur Extraktion löslicher Anteile aus Feststoffen. DE-OS 1 519 818 (1969).

J. D. JENSEN. — Agglomerating, Instantizing, and Spray-Drying. *Food Technology* (Chicago), **29**, 6, 60-71, 1975.

H. KAMPS. — Industrielles Gefriertrocknen. *Ernährungswirtschaft, Lebensmitteltechnik*, **8**, 379-381, 1977.

U. KRÖPLIEN. — Monosaccharides in Roasted and Instant Coffees. *J. Agr. Food Chem.* (Washington), **22**, 110-116 (1974).

H. KWASNY. — Zur Bestimmung von Chlorogensäuren in Kaffee-Extrakt. 7. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Hamburg, 9.14. Juni 1975). ASIC (Paris), S. 303-311.

A. LEIFERT. — Das Verhalten einiger Bohnenkaffee-Bestandteile bei der Druckextraktion. Dissertation, Münster, 1975.

H. G. MAIER. — Bindung von Aromastoffen an die Matrix von Pulverkaffee. 7. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Hamburg, 9.-14. Juni 1975). ASIC (Paris), S. 211-219.

H. G. MAIER, H. G. KRAUSE. — Zur Bindung flüchtiger Aromastoffe an Pulverkaffee. *Kaffee-u. Tee-Markt* (Hamburg), **27**, 13, 3-6, 1977.

METALLGESELLSCHAFT A. G. — Verfahren zur kontinuierlichen mehr-stufigen Gegenstromextraktion pastenartiger, breiiger oder feinpulveriger Stoffe. DE-Pat. 1 234 680, 1971.

NESTLE S. A. — Verfahren zur Herstellung eines Kaffee-Extrakts. DE-OS 2 633 298 (1977).

A. Jr. PEREIRA, M. M. PEREIRA. — Amino Acids in Coffees. 5. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Lissabon, 14.-19. Juni 1971). ASIC (Paris), S. 85-90.

G. A. PICTET. — Les hydrates de carbone du café instantané. Un procédé nouveau pour leur fractionnement et leur évaluation quantitative. 7. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Hamburg, 9.-14. Juni 1975). ASIC (Paris), S. 189-201.

N. D. PINTAURO. — Coffee Solubilization-Commercial Processes and Techniques. Noyes Data Corp. (Park Ridge), 1975.

M. SIVETZ, H. E. FOOTE. — Coffee Processing Technology, AVI Publishing Comp. (Westport), 1963, vol. 1, 598 p.

R. F. SMITH. — Recent Reports on the Chemistry and Technology of Coffee. 7. Intern. Kongress über Kaffeechemie

mie (Hamburg, 9.-14. Juni 1975). ASIC (Paris), S. 389-400.
P. K. SOERENSEN. — Continuous Freeze-Drying Plants for Instant Coffee. *Tea & Coffee Trade Journal* (New York), **148**, 4, 24-25, 1976.

B. STAHL. — Freeze-Drying of Foodstuffs. European Session « Séchage des Produits Alimentaires », 7.-9. Dezember 1976, cycle CPCIA Europe, Paris.

B. STAHL. — Kontinuierliche Gefriertrocknungsanlagen und ihre Einsatzmöglichkeiten. *Gordian* (Hamburg), **76**, 4, 111-115, 1976.

H. STREULI. — Der heutige Stand der Kaffeechemie. 6. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Bogotá, 4.-9. Juni 1973). ASIC (Paris), S. 61-72.

SYLLA (K. F.). — **Procédés de fabrication des extraits de café soluble.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 203-209, réf.

On fournit un aperçu des différentes étapes de fabrication de l'extrait de café soluble instantané en tenant compte plus particulièrement de la qualité du produit. Cet exposé est illustré par les bases théoriques, les expériences de laboratoire et quelques expériences pratiques.

Les équipements et matériels disponibles, en particulier installations d'extraction et de déshydratation, sont présentés et décrits en fonction des buts recherchés.

SYLLA (K. F.). — **Die Herstellung von Kaffee-Extract.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 203-209, réf.

Es wird ein Überblick gegeben über die einzelnen Verfahrensstufen, die bei der Herstellung von Kaffee-Extrakt angewandt werden. Die Qualität des Extrakts wird dabei besonders beachtet.

H. THALER. — Das lösliche Mannan des gerösteten Kaffees. *Z. Lebensm.-Unters.-Forsch.* (München), **106**, 128-132, 1957.

H. A. C. THUISSEN. — Effect of Process Conditions in Drying Coffee Extract and other Liquid Foods on Aroma Retention. 6. Intern. Kongress über Kaffeechemie (Bogotá, 4.-9. Juni 1973). ASIC (Paris), S. 222-233.

O. G. VITZTHUM. — Chemie und Bearbeitung des Kaffees. In: O. Eichler, Kaffee und Coffein, Springer-Verlag (Berlin-Heidelberg-New York), 1976, S. 3-64.

SYLLA (K. F.). — **Processing of instant coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 203-209, réf.

A survey is given on the different steps of processing, which are used in the production of instant coffee. The quality of the product is emphasized.

To illustrate the survey, the basic theories and laboratory-experiments and some practical experiences are given.

Equipment-availability is discussed with the potentials to purchase and operate various extraction- and drying processes.

Die Behandlung der theoretischen Grundlagen und Labor-experimente, sowie Erfahrungen aus der Praxis illustrieren den Überblick.

Das Angebot der Anlagenindustrie wird erörtert, ebenso die Möglichkeiten, Extraktions- und Trocknungsanlagen zu erwerben und zu betreiben.

THE CONCENTRATION OF COFFEE EXTRACTS TO HIGH PRODUCT CONCENTRATIONS

W. H. J. M. VAN PELT

GRENCO B. V., 's-Hertogenbosch, Pays-Bas

INTRODUCTION

The main process-steps in the production of soluble coffee are : grinding, roasting and extraction ; concentration and drying. From the roasted and ground coffee beans a coffee liquid is extracted which is a very complex aqueous mixture of organic and inorganic compounds. The water content of the extract is usually about 20-25 weight percent. The main objectives of concentrating prior to drying are : reduction of the overall dewatering costs including capital and energy costs ; improvement of retention of volatile aromas in the drying process and reduction of the bulk volume of the dried product.

The concentration of coffee extract is a delicate

affaire. Even at moderate temperatures many of its constituents prove to be chemically unstable. The quality is greatly dependent on the concentration and composition of odorous compounds. All aroma components are naturally volatile and can be lost by evaporation.

For the concentration of the extract two processes can be used, evaporation and freeze concentration.

In the following we will investigate the influence, with respect to the overall water removal costs, of increasing the feed strength by pre-concentration of the extract before drying.

THE EXTRACTION PROCESS

The coffee extract produced in the extraction can be divided into :

An aroma-rich fraction in which about 22 % of the roasted and ground coffee beans dissolve at temperatures below 100 °C. This fraction contains both a large proportion of the coffee flavour components and substances which are sensitive to thermal treatment.

A hydrolytic fraction consisting of components dissolving at temperatures between 100 °C and 190 °C. This fraction contains fewer volatile aroma components and/or components sensitive to thermal treatment than the aroma-rich fraction.

The extraction process generally produces an extract with a concentration of dissolved solids ranging from 20-25 wt %. However, the permissible level of the dissolved solids concentration of the extract fed to the freeze-dryer or spray-dryer can be 40 wt % or more. When a pre-concentration process is used before the drying step, the overall water removal costs for the combination of pre-concentration and drying will be lower than that of the drying step alone, since pre-concentration, or removal of water, costs much less.

Naturally, though, the pre-concentration process should not reduce the quality of the extract.

THE PRE-CONCENTRATION PROCESS

In practice there are two pre-concentration processes :

Evaporators

The first pre-concentration process is evaporation, which is generally considered to be the best developed and economically most advantageous technique for concentrating aqueous solutions. Its disadvantages are that it is possible for thermal decomposition to occur and that it is impossible to avoid the loss of volatile aroma components.

According to Thijssen *et al.* (1) volatiles, including water and aromas, distribute themselves in evaporation over liquid phase and vapour phase. The selective distribution with respect to water is expressed by the partition coefficient :

$$\beta_{i,w} = \frac{C_i^1/C_i}{C_w^1/C_w}$$

in which C^1 is the concentration in the gas phase, C the concentration in the liquid phase and the subscripts i and w refer to an aroma component and water respectively.

When there is equilibrium between the phases, the partition coefficient is called the relative volatility $\alpha_{i,w}$. When there is no phase equilibrium, the value of $\beta_{i,w}$ is always closer to unity than $\alpha_{i,w}$.

When the distribution of volatiles is fully mass transfer controlled, $\beta_{i,w}$ becomes about equal to unity, consequently :

$$1 \cong \beta_{i,w} \cong \alpha_{i,w} \quad \text{if } \alpha_{i,w} > 1$$

and

$$\alpha_{i,w} \cong \beta_{i,w} \cong 1 \quad \text{if } \alpha_{i,w} < 1$$

The coffee aroma is composed of many different odorous components. The relative volatilities of most components in an aroma are larger or even significantly larger than unity.

The potential for aroma loss can more conveniently be expressed by some mean of the relative volatilities of the components constituting the bouquet. The α_{eff} values of, for example, apple juice, blackberry juice, blueberry juice, red raspberry juice and strawberry juice are 6.5, 4.5, 3.3, 4.5 and 10.3 respectively.

In evaporators with a large specific surface area of the liquid phase, such as long tube falling-film evaporators and plate type evaporators, phase equilibrium is closely approached. Equilibrium is generally not obtained in centrifugal film evaporators.

Aroma losses with the water vapour are very dependent on the number of effects used. If vapour and concentrate leaving an evaporator are about in equilibrium, it can be derived for the fraction of the aroma R_i , retained in the concentrate :

$$R_i = \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha_{\text{eff}} V_1}{F - V_1}\right) \times \left(1 + \frac{\alpha_{\text{eff}} V_2}{F - (V_1 + V_2)}\right) \times \dots \times \left(1 + \frac{\alpha_{\text{eff}} V_n}{F - (V_1 + V_2 + \dots + V_n)}\right)}$$

in which F is the feed rate and V_1, V_2, V_n denote the kilograms of vapour leaving the first, second and n -th effect per unit time.

In non equilibrium evaporation, the transfer of aromas from the liquid phase to the vapour phase is limited by the mass transfer in the liquid phase. In centrifugal film evaporators the values of $\beta_{i,w}$ is about equal to $\alpha_{i,w}$ at very low evaporation fluxes of about $100 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$, but approaches unity at high fluxes exceeding $600 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$. The fluxes of centrifugal evaporators used in the coffee industry to concentrate coffee extract to approx. 48% by weight range between $200\text{-}300 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$. Therefore the favourable effect of higher aroma retention due to non equilibrium evaporation only happens to a limited extent.

In figure 1 the aroma retention of a food liquid with a mean effective relative volatility of 6 is presented as a function of the concentration ratio (F/P).

Evaporators, used in the coffee industry, can be divided into :

Plate-type evaporators and falling-film evaporators :

in general not operated at product concentrations higher than 45 wt %.

Centrifugal evaporators :

maximum product concentrations in general do not exceed 48 wt %.

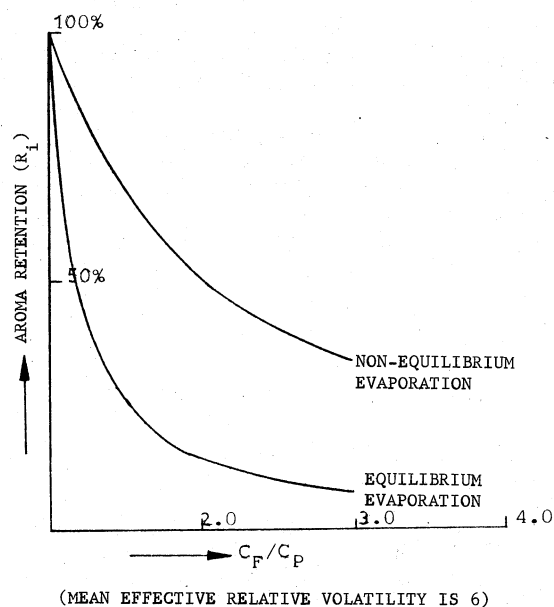


Fig. 1. — Aroma retention of single stage evaporation

Rotary thin-film evaporators :

maximum product concentrations range between 55 and 60 wt %.

Freeze concentration

The other process is freeze concentration and here the advantages are that no volatile aromas are lost and that thermal decomposition is practically nil.

However, the water removal costs of this process are higher than those of evaporation.

Freeze concentration can be applied to that part of the coffee extract where loss of aroma components and/or thermal decomposition must be avoided.

From the above it is evident that concentration of the aroma-rich fraction is only possible by means of freeze concentration whereas evaporation can only be used to a limited extent for the concentration of the hydrolytic fraction.

THE DRYING PROCESS

The two drying processes, generally used in the production of soluble coffee are :

average not more than thirty seconds. The moisture contents of the product is usually between 3 and 5 wt %.

Spray-drying

In spray-drying, the extract is sprayed in the form of small droplets into a cylindrical, and usually vertical, chamber into which is fed a large volume of hot air sufficient to supply the heat necessary for complete evaporation of the liquid. Heat-transfer and mass-transfer are accomplished by direct contact of the hot air with the dispersed droplets. Drying is carried out at essentially the drying-air wet-bulb temperature, the feed temperature of the hot air ranges between 180 to 260 °C. The temperature of the air, leaving the spray-dryer, is between 90 to 120 °C.

Because of the large total drying-surface and the small sized droplets, the actual drying time in a spray-dryer is measured in fractions of a second. Total residence time of a particle in the system is on the

Freeze-drying

In freeze-drying, the extract is fed to the dryer in the form of frozen particles. The water in the frozen or solid state is sublimated and is removed from the frozen particle directly as a vapour. The vapour then condenses on condensers. Since the vapour pressure of ice is considerably below atmospheric pressure, freeze-drying requires high vacuum. The water usually exists in the form of a eutectic mixture and it is therefore necessary to cool the material to temperatures below 0 °C in order to keep the water in the solid phase.

The drying-time of a particle ranges between 15 to 350 min. The residence-time of the particle in the system is between 20-420 min.

The moisture contents of the product is usually less than 2.5 wt %.

THE ECONOMICS OF THE COMBINATION OF PRECONCENTRATION PROCESS AND DRYING-PROCESS

Until recently freeze-concentration of coffee extract was possible to approx. 36 wt % and concentration by evaporation to approx. 48 wt %. In case of a combination of freeze-concentration of the aroma-rich fraction and evaporative concentration of the hydrolytic fraction the concentration of the extract fed to the drying-process is approx. 40 wt %.

Recent developments in freeze-concentration made it possible to concentrate the aroma-rich fraction of the extract to approx. 42 wt %. Furthermore a new rotary thin-film evaporator is now introduced into the market of which the manufacturer claims it can concentrate the hydrolytic fraction to approx. 60 wt %. Therefore, it appears to be possible to increase the concentration

of the extract fed to the drying process from 40 wt % to 47.7 wt %.

In order to investigate the influence of above mentioned developments upon the overall water removal costs of the pre-concentration and drying-process, we calculated the water removal costs for the following cases (see table I and figure 2, p. 214) :

- I — Freeze-concentration of the aroma-rich fraction to 36 wt %.
- Concentration by centrifugal evaporation of the hydrolytic fraction to 48 wt %.
- Feed concentration to the drying process of 40 wt %.

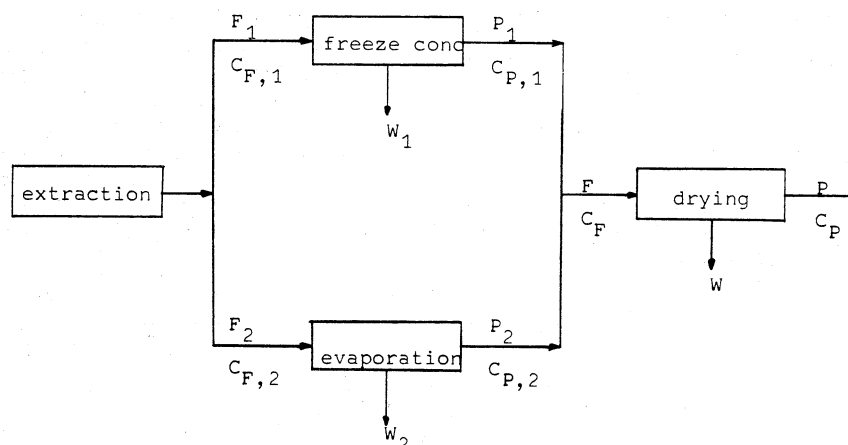


Fig. 2. — Schematic flow diagram of split extraction

Table I

$C_{F,1}$	$C_{F,2}$	$C_{P,1}$	$C_{P,2}$	C_F	
25	20.5	36	48	40	I
25	20.5	42	45	43.2	II
25	20.5	42	48	44.2	III
25	20.5	42	60	47.7	IV

All concentrations are expressed in weight percent and based on 60/40 split.

- II — Freeze-concentration of the aroma-rich fraction to 42 wt %.
- Concentration by plate-type evaporation of the hydrolytic fraction to 45 wt %.
- Feed concentration to drying process of 43.2 wt %.
- III — Freeze-concentration of the aroma-rich fraction to 42 wt %.
- Concentration by centrifugal evaporation of the hydrolytic fraction to 48 wt %.
- Feed concentration to the drying process of 44.2 wt %.
- IV — Freeze-concentration of the aroma-rich fraction to 42 wt %.
- Concentration by rotary thin-film evaporation of the hydrolytic fraction to 60 wt %.
- Feed concentration to the drying process of 47.7 wt %.

The calculations have been carried out for the combination of the above mentioned four preconcentration processes both with spray-drying and freeze-drying.

Basic for the cost calculations

In order to allow cost comparisons that are dependent of rapidly changing values of currencies and of increasing fuel-costs, the energy consumptions are expressed in steam equivalents. The steam equivalent of a specific process is the ratio of the total utility costs per ton of water removal of that process to the costs of one ton of steam. In the calculations we take the following constants :

$$\frac{\text{Cost of 1,000 kWh}}{\text{Cost of 1 ton steam}} = 4.33$$

and

$$\frac{\text{Cost of 1,000 m}^3 \text{ cooling water}}{\text{Cost of 1 ton steam}} = 3.33$$

and

$$\frac{\text{Cost of 1 ton fuel}}{\text{Cost of 1 ton steam}} = 8.33$$

The utility costs per ton of water removal are now simply calculated by multiplying the costs of one ton of steam with the number of steam equivalents of the process.

The energy consumption per ton water removal expressed in steam equivalents for various processes are given in table II.

Because labour costs vary widely from country to country only general figures for the sum of capital costs and costs of utilities will be given in the calculations.

The following figures have been used :

- Annual capital recovery factor of costs of installed equipment based upon an amortization of 7 years and an interest of 10 % : 20 %
- Costs of steam/ton : \$ 12
- Costs of electricity per 1,000 kWh : \$ 52
- Costs of cooling water per 1,000 m³ : \$ 40
- Costs of fuel per ton : \$ 100

Table II. — Energy consumptions of various processes in steam equivalents

Process	Steam equivalents
Freeze-drying	14.70
Spray-drying	1.70 - 2.00
Freeze concentration	0.25 - 1.45
Centrifugal evaporation (single effect)	1.24
Rotary thin film evaporation (with thermal compression)	0.66 - 1.24
Plate type evaporation (single effect)	1.24
4 effect plate-type evaporation (with thermal compression)	0.16

Water removal costs of various processes

Figure 3 shows the calculated costs per ton water removal for 7,000 operation hours per year.

From the figure the following conclusions can be drawn. The water removal costs of freeze-drying are ten times higher as compared to spray-drying, while the water removal costs of freeze-concentration are 2 to 2.5 times higher as compared to evaporation.

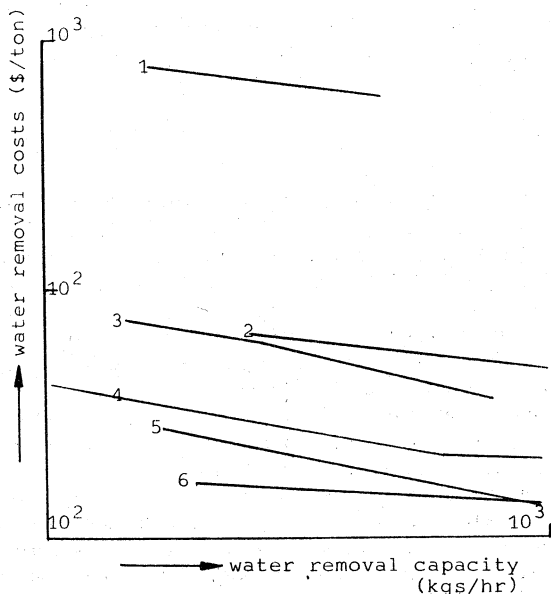


Fig. 3. — Water removal costs for various concentration and drying processes.

- 1 = freeze-drying.
- 2 = spray-drying.
- 3 = freeze concentration (single stage).
- 4 = centrifugal evaporation (single stage).
- 5 = rotary thin film evaporation (with thermal compression).
- 6 = plate type evaporation (single stage).

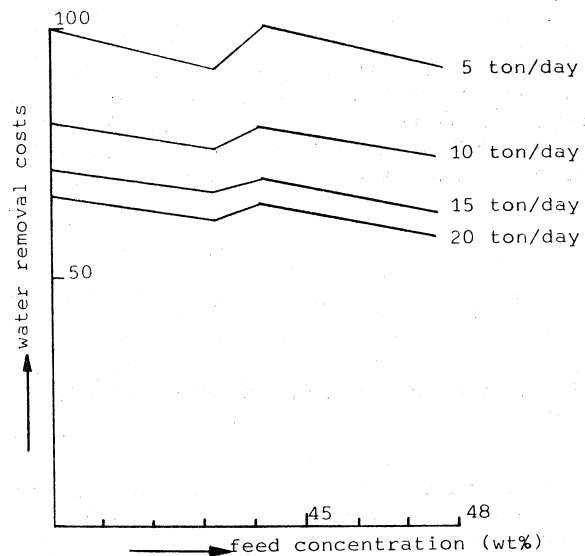


Fig. 4. — Water removal costs as function of the feed concentration to the spray-dryer

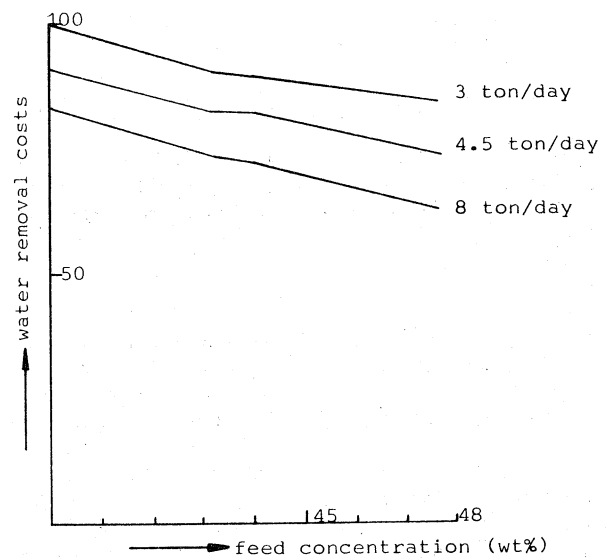


Fig. 5. — Water removal costs as function of the feed concentration to the freeze-dryer

Figure 4 shows the water removal costs for the combination of various pre-concentration systems and spray-drying, as function of the feed concentration to the spray-dryer. The costs are calculated for spray-drying plants having a production capacity ranging from 5 to 20 tons per day of spray-dried coffee. The costs are expressed relative to the costs of a combination of freeze-concentration, centrifugal evaporation and spray-drying. With a feed concentration to the

spray-dryer of 40 wt % and a plant capacity of 5 tons/day.

Figure 5 (p. 215) shows the water removal costs for the combination of various pre-concentration systems and freeze-drying, as function of the feed concentration to the freeze-dryer. The costs are calculated for freeze-drying plants with production capacities ranging

from three to eight tons/day freeze-dried coffee. The costs are expressed relative to the costs of a combination of freeze-concentration, centrifugal evaporation and freeze-drying with a feed concentration to the freeze-dryer of 40 wt % and a plant capacity of three tons/day. The costs of such a plant we have assumed to be 100.

CONCLUSIONS

Combination of pre-concentration and spray-drying

From figure 4 it follows that in increasing the feed concentration to the spray-dryer, the reduction in overall water removal costs varies from 8 to 13 %. From an economical point of view application of the combination of freeze-concentration and centrifugal evaporation to concentrate the feed extract to the spray-dryer to 44.2 wt % appears to be highly questionable. According to authoritative literature sources, a substantial increase in aroma retention in the spray-

drying process will occur when the feed concentration of the coffee extract to the spray-dryer is increased from 40 wt % to 47.7 wt %.

Combination of pre-concentration and freeze-drying

From figure 5 it follows that in increasing the feed concentration to the freeze-dryer, the reduction in overall water removal costs ranges from 16 to 23 %.

REFERENCES

1. H. A. C. THIJSSSEN, N. S. H. VAN OYEN, 1977. — Analysis and economic evaluation of concentration alternatives for liquid foods. Symposium, Eindhoven, September 1977.

2. LEYBOLD-HERAEUS. — Industrial freeze-drying.

3. ATLAS. — Freeze-drying.

4. NIRO. — Rotary thin film evaporators.

VAN PELT (W. H. J. M.). — **Concentration d'extraits de cafés à de hautes teneurs en matières solides.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 211-216, fig., tabl.

VAN PELT (W. H. J. M.). — **The concentration of coffee extracts to high product concentrations.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 211-216, fig., tabl.

Les coûts de séchage (lyophilisation ou atomisation) conditionnent dans une large mesure les coûts de production des cafés instantanés. Une opération de concentration plus poussée des extraits liquides aura donc pour effet de diminuer le coût global de production, puisque les coûts d'évaporation sont moins élevés que ceux du séchage ; on peut s'attendre aussi à une perte moins élevée en constituants aromatiques.

Les procédés de congélation ne permettent pas d'obtenir une concentration supérieure à 35-38 % de matières solides, vu les propriétés physiques des extraits de café. La combinaison des opérations unitaires d'évaporation et de congélation permet d'obtenir un concentré à 42-45 % de matières solides. Ce nouveau procédé va permettre de réduire les coûts de production du café instantané et d'améliorer aussi la rétention des arômes au cours du séchage.

The production costs of instant coffee are largely determined by the cost of freeze-drying and spray-drying. These production costs could be reduced considerably when pre-concentrating the coffee extract via processes which in point of dewatering costs are far less expensive and whereby hardly any aroma components get lost.

Until to-day it has been possible to concentrate coffee extract in freeze concentrating equipment up to a maximum of 35 to 38 % by weight, depending upon the physical properties of the coffee extracts. Recent developments now make it possible to freeze concentrate coffee extract up to a maximum of 42 to 45 % by weight. This means that a combination of freeze concentration and evaporation now permits pre-concentration of coffee extract up to 45 % by weight. Applying pre-concentration will result not only in a considerable decrease in the production costs of instant coffee, but also, according to some authoritative literature sources, in a substantial increase of the aroma retention in the drying processes.

TORRÉFACTION DU CAFÉ EN COUCHE FLUIDISÉE GAZEUSE

J.-L. ARJONA, G. RIOS, H. GIBERT

Laboratoire de génie alimentaire
Université des sciences et techniques du Languedoc (*)

J.-C. VINCENT

Institut Français du Café et du Cacao (**)
Laboratoire de chimie-technologie

G. ROCHE

Stagiaire au Laboratoire de chimie-technologie
de l'Institut Français du Café et du Cacao

La « fluidisation » est un procédé de mise en contact de phases, qui consiste à mettre en suspension dans un courant fluide des particules solides, et confère à la couche de solides rendue mobile les propriétés apparentes d'un liquide.

En phase gazeuse, la fluidisation présente trois caractéristiques essentielles :

— les transferts de matière ou de chaleur entre le gaz et le solide divisé sont intenses en raison de la grande surface offerte à l'échange par unité de volume d'appareil ;

— les particules sont soumises en permanence à une agitation, ce qui assure une bonne qualité de mélange des produits ; dès lors, on peut garantir un traitement uniforme des grains tout au long du cycle opératoire, et donc une qualité homogène de produit en fin d'opération ;

— cette technique assure de très intéressantes perspectives d'adaptation en continu des procédés, conséquences de l'état de grande mobilité des grains solides au sein même du système, et des possibilités de soutirage de produit par transport pneumatique.

Dans bien des cas, ces propriétés concourent à la mise en place de conditions « optimales » de traitement d'un solide divisé par un fluide, que ce soit du point de vue du comportement mécanique global du système ou du point de vue de la qualité des transferts entre phases



J.-C. Vincent

en résultant. Par là même, elles expliquent le développement important des applications de la fluidisation dans les industries chimiques et para-chimiques. Compte tenu des progrès réalisés grâce à cette technique, on peut logiquement se demander s'il n'y aurait pas lieu de généraliser son emploi dans le domaine des industries agro-alimentaires où les opérations de traitement des grains solides sont nombreuses et variées ? (1).

La torréfaction du café nous paraît être à cet égard un exemple typique. En théorie le problème est simple : il s'agit de porter des grains verts à température élevée, pendant une durée limitée, afin de provoquer leur décomposition thermique partielle et de faire apparaître des composés chimiques responsables de l'arôme et de la saveur caractéristiques du café. Toutefois, sur le plan pratique, torréfier le café est une opération délicate, dont il convient de contrôler parfaitement les différentes étapes en modulant, chaque fois que le besoin s'en fait sentir, les conditions de pyrolyse, que ce soit en fonction de la nature des grains, de leur granulométrie, de la charge globale de produit introduite dans le torréfacteur... Par ailleurs, l'accroissement très important des coûts du café sur le marché

(*) Place E. Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

(**) Avenue du Val de Montferrand, B. P. 5035, 34032 Montpellier Cedex.

mondial et l'augmentation du prix de l'énergie rendent aujourd'hui nécessaire l'optimisation de cette transformation basée sur l'obtention de produits de qualité avec un coût de transformation minimal. La « fluidisation » offre précisément sur ces plans des garanties intéressantes.

Ces raisons nous ont incités à entreprendre une

analyse bibliographique critique des procédés de torréfaction existants, puis une étude expérimentale de la torréfaction du café en couche fluidisée, en mettant l'accent principalement sur les incidences du mode de grillage sur la qualité des produits obtenus et sur le coût énergétique des opérations. Cet article fait le point de nos premières conclusions en ce domaine.

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Au vu des réalisations technologiques passées ou présentes, nous pouvons distinguer essentiellement **trois manières de concevoir et de réaliser une opération de torréfaction** :

a) La plus ancienne ou « procédé par flammage » consiste à attaquer directement par la flamme le café ou le cylindre qui le contient. Un brassage mécanique continu du solide a pour but de favoriser l'uniformité du traitement thermique. Le mode essentiel de transfert est la conduction, la chaleur transitant de la flamme au cœur du grain par le biais de contacts directs métal-grain ou grain-grain. D'après Sivetz (2), c'est vers 1900 qu'ont été construits les premiers torréfacteurs de café opérant suivant cette méthode.

b) La méthode la plus répandue jusqu'à ces dernières années consiste à préchauffer l'air dans un brûleur (de façon à le porter à la température désirée), puis à l'envoyer dans l'enceinte de grillage où le café est brassé mécaniquement pour favoriser sa mise en contact avec le fluide. Le mode prédominant de transfert de la chaleur devient ici la convection ; compte tenu de la faible vitesse de passage des gaz dans la couche, l'écoulement autour des grains s'opère en régime laminaire et les coefficients d'échange gaz-particules demeurent faibles. C'est vers 1935 que sont apparus sur le marché les premiers appareils de ce type (2).

c) Enfin, la méthode la plus récente consiste à mettre en suspension des grains dans le courant de gaz chaud provenant du brûleur : on « fluidise » le produit. Le gaz de fluidisation est de l'air (3), ou même de l'azote (4, 5), sous pression atmosphérique normale ou en légère surpression. Le mode majeur de transfert de la chaleur est la convection en régime turbulent. L'aérotherme (3) de Lurgi, construit en 1958, est à notre connaissance le premier appareil fonctionnant suivant ce principe.

Pour compléter l'analyse précédente, nous formulons les remarques suivantes :

1. — Les procédés de grillage par flammage présentent l'avantage d'avoir, du fait de leur compacité, un rendement thermique excellent. Mais l'attaque des grains par la flamme, ou une paroi surchauffée, produit une torréfaction qui n'est pas homogène ; des huiles aromatiques calcinées peuvent apparaître à la surface du grain, nuisant à sa conservation...

2. — Dans les procédés de grillage du second type, on améliore l'uniformité du traitement et de façon plus générale la qualité du café torréfié (les grains sont nets, de couleur uniforme, torréfiés en profondeur ; la masse traitée est homogène ; le café est brillant, mais non huileux...). Mais, l'utilisation d'un agent caloporteur entre le brûleur et la chambre de torréfaction se traduit par une diminution du rendement énergétique des opérations, imputable aux pertes le long du circuit de fluide, à l'introduction de résistances thermiques additionnelles et à la plus ou moins bonne distribution du gaz dans la couche de café.

3. — Les procédés par fluidisation représentent indéniablement, du point de vue théorique, la solution optimale. Le traitement doux et uniforme du grain ainsi que la qualité du mélange du produit qu'ils garantissent contribuent à l'obtention d'un café de bonne qualité ; par ailleurs, les conditions d'échange thermique régnant à la surface du grain sont excellentes, puisque l'écoulement périphérique du fluide s'effectue en régime turbulent. Enfin, la facilité d'adaptation en continu des procédés et les courts temps de grillage (3 mn avec l'appareil de Lurgi) autorisent la conception d'appareils très compacts et plus aisément automatisables.

Toutefois, d'un point de vue pratique, ces procédés introduisent certaines exigences strictes. C'est ainsi que, compte tenu de la difficulté rencontrée pour mettre correctement en suspension dans un courant fluide des grains de forte granulométrie, il semble impératif de procéder à des études mécaniques minutieuses avant d'entrer dans le détail de toute étude de transfert : les conditions d'échange sont en effet très fortement dépendantes du comportement mécanique de la couche. C'est ainsi encore que, étant donné les grandes vitesses de passage des gaz nécessaires pour fluidiser les gros grains de café, il sera impératif de recycler les gaz chauds afin de limiter les pertes de chaleur et donc les dépenses énergétiques.

Dès lors, comment mieux conclure cette analyse bibliographique qu'en soulignant que, si le procédé Lurgi (3) s'est avéré non viable et trop dispendieux d'énergie, c'est au manque de précautions opératoires prises, plutôt qu'à la technique elle-même, qu'il faut en imputer la faute ; comment mieux préciser aussi toute la recherche fondamentale qu'il reste à faire sur la

torréfaction du café en couche fluidisée qu'en signalant que le seul travail publié à notre connaissance sur le comportement mécanique des couches de café est une étude fondamentale due à Rolz et Menchu (6). Tous les brevets de fabrication déposés sur le sujet ne reposent

quant à eux sur aucune étude précise en la matière. Pour nous, la « fluidisation » demeure une technique de pointe en matière de torréfaction : il appartient simplement à ses utilisateurs de définir les conditions opératoires satisfaisantes.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Appareillage

Nous avons utilisé une colonne transparente en altuglass de 100 mm de diamètre pour réaliser l'étude qualitative et quantitative des conditions de mise en suspension des grains de café dans un courant gazeux.

« L'installation pilote », construite pour effectuer les essais de torréfaction en couche fluidisée gazeuse, est schématiquement représentée par la figure 1. Elle se compose essentiellement de trois éléments :

1. — Une soufflerie d'air refoulant sous une pression relative maximale de 0,2 bar.

2. — Un four auxiliaire permettant le chauffage de l'air à la température maximale de 300 °C. Ce four est lui-même composé d'un cylindre en acier inoxydable de 200 mm de diamètre autour duquel sont enroulés trois cordons chauffants d'une puissance unitaire de 2,5 kW ; la puissance de chauffe est modulable par l'intermédiaire de variateurs de tension. A l'intérieur du four est placé un lit de billes de verre de diamètres compris entre 0,85 et 1,00 mm, que le gaz à chauffer fluidise. Le distributeur est constitué d'une grille

perforée sur laquelle a été placée une couche fixe de billes en acier de 2 mm de diamètre (7).

3. — L'organe de torréfaction proprement dit est une colonne en acier inoxydable de 100 mm de diamètre et de 300 mm de hauteur au sein de laquelle les grains de café sont mis en suspension dans le courant gazeux. Nous avons utilisé pour distributeur une grille perforée de trous de 1,25 mm de diamètre, autorisant la mise en place d'une fluidisation traditionnelle. A la sortie du torréfacteur, les fumées sont évacuées vers l'extérieur par l'intermédiaire d'un tuyau de poêle.

Les mesures de débit ont été réalisées au moyen d'organes déprimogènes préalablement étalonnés.

Enfin, les mesures de températures ont été effectuées à l'aide de six thermocouples placés en divers points de l'installation et reliés à un enregistreur multivoies.

Nous avons travaillé à pression atmosphérique normale.

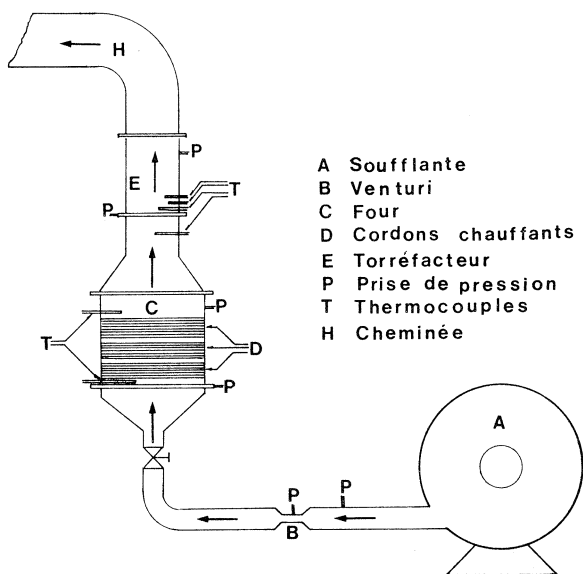


Fig. 1. — Schéma de l'installation

Comportement mécanique des couches fluidisées de café

Pour déterminer les vitesses minimales du gaz requises pour fluidiser les produits, nous avons suivi la méthodologie classique (8, 9) basée sur l'analyse des courbes donnant la chute de pression subie par le gaz à la traversée de la couche en fonction de sa vitesse de passage. Nous avons ainsi opéré avec trois origines de Robusta et deux origines d'Arabica ; les grains utilisés étaient verts ou torréfiés.

Les résultats quantitatifs obtenus sont consignés dans le tableau I (p. 220).

On observe que pour le café vert, le débit minimal de fluidisation Q_{mf} dépend assez peu de la nature du café : il est de l'ordre de 33 m³/h à 25 °C.

Par contre, ce débit diminue sensiblement en fonction du degré de traitement du produit, l'écart relatif entre les débits minimaux de fluidisation correspondant aux cafés vert et torréfié atteignant 15 % à 25 °C ; une telle variation est imputable au fait qu'en cours de grillage les grains sont le siège d'une évaporation d'eau et d'une réaction exothermique interne, qui ont pour conséquences une importante perte en poids (12 à 17 % de la valeur originelle) et un gonflement du grain (accroissement du volume dans un rapport supérieur à

Tableau I. — Vitesses minimales de fluidisation

Type de café	Référence	Q_{mf} à 25 °C, m ³ /h	Q_{mf} à 250 °C, m ³ /h *
Robusta (∅ 16/64) — Vert	IFCC I	34,0	45,2
Robusta (∅ 16/64) — Vert	IFCC II	33,0	43,9
Robusta Cameroun — Vert	Commercial	33,5	44,6
Robusta Cameroun — Torréfié.....	Commercial	28,0	37,2
Arabica Colombie — Vert	Commercial	32,5	43,2
Arabica Colombie — Torréfié	Commercial	28	37,2
Arabica Costa Rica — Vert	Commercial	33	43,9
Arabica Costa Rica — Torréfié.....	Commercial	29,5	39,2

* Les débits minimaux de fluidisation (Q_{mf}) à 250 °C ont été calculés par la formule $(U_{mf})_{250^{\circ}\text{C}} = 1,33 (U_{mf})_{25^{\circ}\text{C}}$.

2), donc un accroissement du « diamètre moyen » d_p (de l'ordre de 33 %) et une diminution de la masse volumique ρ_p (de l'ordre de 115 %) des particules ; un rapide calcul, mené à partir de l'équation d'Ergun (8, 9), permet de retrouver l'ordre de grandeur de l'écart relatif entre les débits.

Enfin, les vitesses minimales de fluidisation sont accrues dans des proportions notables lorsqu'on augmente la température des gaz, en raison de la diminution de la masse volumique du fluide. Si le gaz fluidisant est de l'air, un calcul théorique basé sur la relation d'Ergun montre qu'à d_p et ρ_p donnés :

$$U_{mf}(250\text{ }^{\circ}\text{C}) = 1,33 \cdot U_{mf}(25\text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

Qualitativement, on observe un « pistonnage » important au sein du système dès que l'épaisseur de la couche devient trop importante (charge de café supérieure à 400 g) : les conditions de mise en suspension des grains dans le courant gazeux se dégradent alors très rapidement. Ainsi se trouve posé, dans toute son acuité, le problème de la mise en fluidisation correcte des grosses particules par un gaz. Rolz et Menchu (6) ont essayé de le résoudre en introduisant au sein de la couche des chicanes destinées à redistribuer le gaz et briser les pistons qui se forment lorsqu'on augmente la hauteur de produit ; quant aux auteurs du procédé Lurgi (3), ils ont choisi la technique dite de « la couche à jet » (8, 9). En tout état de cause, ce sont là des solutions qui présentent de nombreux inconvénients d'un point de vue thermique, dont le moindre n'est pas l'hétérogénéité de température du produit solide qui résulte de la détérioration des conditions de mélange.

Pour les études qui suivent, nous avons choisi de travailler en respectant les limites de charge précédemment déterminées, dans des conditions optimales de mise en contact des phases.

NOMENCLATURE

C	: Chaleur spécifique du gaz	$ C = L^2 T^{-2} \theta^{-1}$
G	: Débit massique du gaz	$ G = MT^{-1}$
M	: Charge de café	$ M = M$
P	: Pertes thermiques dans l'équation (2)	$ P = ML^2 T^{-3}$
Q_{mf}	: Débit volumique minimal de fluidisation	$ Q_{mf} = L^3 T^{-1}$
t_T	: « Temps de torréfaction »	$ t_T = T$
U_{mf}	: Vitesse minimale de fluidisation	$ U_{mf} = LT^{-1}$
Φ	: « Energie de torréfaction »	$ \Phi = ML^2 T^{-3}$
θ_E	: Température du gaz à l'entrée du torréfacteur	$ \theta_E = \theta$
θ_S	: Température du gaz en sortie du torréfacteur ou « température de torréfaction »	$ \theta_S = \theta$

Torréfaction du café en couche fluidisée traditionnelle

Mode opératoire

L'étude a été menée à partir de variétés différentes de cafés en faisant varier certains des paramètres de définition du système, tels que la température d'entrée du gaz dans le torréfacteur, le débit de l'air ou encore le poids de la charge de café traitée.

Pour réaliser chacun des essais, nous avons utilisé une méthodologie expérimentale précise, basée sur une conduite « colorimétrique » du grillage : à intervalles de temps réguliers, des échantillons sont prélevés dans l'enceinte de torréfaction et leur couleur est comparée à celle d'échantillons de référence. Avec une telle méthode, on peut estimer à ± 15 s l'incertitude absolue sur les temps de torréfaction.

Une étude comparative des caractéristiques organoleptiques des produits obtenus a permis de juger leurs qualités gustatives.

Enfin, nous avons procédé à l'évaluation des « énergies de torréfaction » ou énergies requises pour assurer le traitement complet d'une masse unitaire de café. Ce faisant, nous nous sommes trouvés confrontés au problème du choix d'une température caractéristique de l'état de traitement du solide à un instant donné, ou « température de torréfaction ».

« Température de torréfaction ». Définition et évolution temporelle

En raison même du type de l'écoulement du gaz prévalant à travers une couche mince (et très proche d'un écoulement piston), du transfert de chaleur intervenant entre gaz et grain et de la faible chaleur sensible du gaz, la température du gaz diminue logiquement au cours de son ascension dans la couche. Par contre, étant donné l'intense agitation du solide qui règne dans le lit, on peut considérer comme uniforme la température des particules solides à tout instant.

Lorsqu'on immerge un thermocouple au sein du

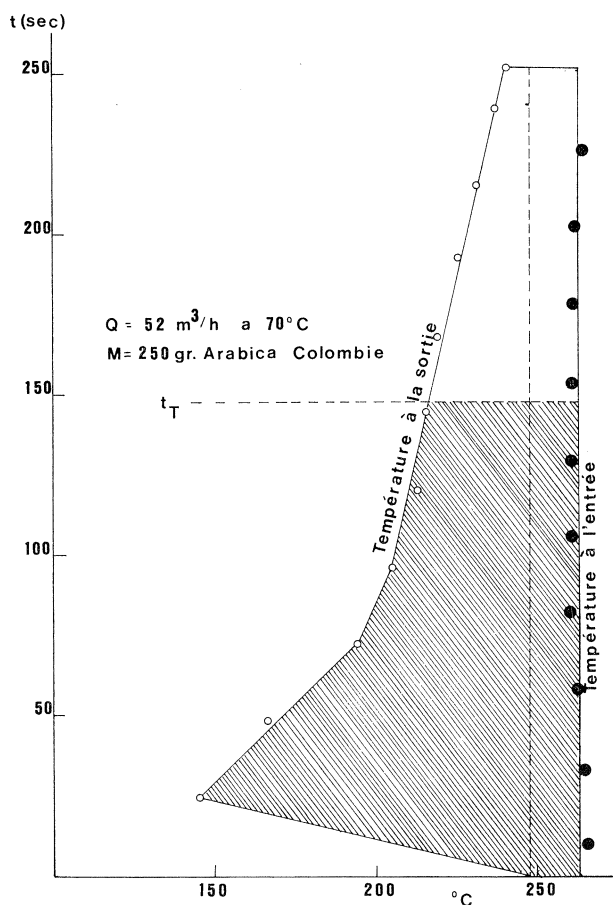


Fig. 2. — Evolution de la température de torréfaction au cours du temps

milieu, la température que l'on relève est en théorie une température intermédiaire entre la grandeur caractéristique de la surface du grain et celle caractéristique du gaz au niveau considéré. Toutefois, compte tenu de la dimension importante des grains et de leurs faibles temps de contact avec l'élément sensible, on peut estimer la mesure obtenue caractéristique de la température du gaz : de la valeur de cette hypothèse témoigne la décroissance des températures observée, lorsqu'on s'élève dans la couche depuis le distributeur jusqu'à l'interface supérieure.

La température du gaz en sortie de couche a été choisie comme « température caractéristique du grillage » ou « température de torréfaction » : c'est à partir de cette dernière valeur qu'ont été réalisées les études énergétiques du procédé.

A titre d'exemple, nous fournissons sur la figure 2 l'évolution de la température de torréfaction en fonction du temps, pour une température d'entrée de l'air constante. A l'introduction de la charge, la température diminue brusquement du fait de la différence importante de capacité calorifique entre gaz (chaud) et produit solide (froid), puis elle augmente. Par ailleurs, notons que l'accroissement de température qui suit est beaucoup plus lent en fin de traitement (au-delà de 100 s pour une charge de 250 g) qu'en début : cela tient certainement au fait qu'au-delà de cette limite le séchage du grain est terminé et que la réaction exothermique de pyrolyse prévaut ; on tend vers l'équilibre. Même à des temps $t \gg t_F$, il subsiste un écart notable entre les températures d'entrée et de sortie du gaz, de 10 °C environ, qui nous paraît caractériser les pertes thermiques au niveau de la chambre de torréfaction.

Influence du débit d'air, du poids de l'échantillon et de la température d'entrée du gaz sur le temps de torréfaction

Nous avons travaillé sur des échantillons d'Arabica du Costa Rica, d'Arabica de Colombie et de Robusta du Cameroun ; pour chacune de ces variétés et origines, nous avons procédé à la détermination de points expérimentaux correspondant à la torréfaction de charges de produit comprises entre 150 et 400 g, le débit d'air pouvant varier de 40 à 58 m³/h et la température d'entrée du gaz de 220 à 260 °C. Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux II et III, et font l'objet des figures 3, 4 et 5 (p. 222, 223, 224).

Comme le montrent les figures 3 et 4 établies en travaillant avec des charges de café de 150 g, on peut considérer qu'à une température d'entrée donnée du gaz, le temps de torréfaction décroît linéairement lorsque le débit gazeux augmente. Ce résultat est logique compte tenu de l'accroissement des coefficients d'échange gaz-particule, mais surtout de la diminution des gradients longitudinaux de température sur le gaz à l'intérieur de la couche, conséquence d'un apport énergétique (sous forme de chaleur sensible) plus important.

Parallèlement et pour les mêmes raisons, nous constatons sur la figure 5 que le temps de torréfaction augmente avec la masse de produit traitée en suivant une loi approximativement linéaire.

Tableau II. — Café Arabica du Costa Rica (commercial)

Temps de torréfaction Secondes	Température de départ °C	Débit à 70 °C m ³ /h	Perte en poids %	Masse volumique apparente café torréfié kg/m ³
124	255	58	12,67	320
125	255	52	13,0	330
150	255	48	13,0	330
210	255	40	13,0	320
145	245	58	12,0	330
150	245	52	13,0	350
152	245	48	13,0	350
190	245	45	13,0	320
195	245	40	15,0	330
178	235	58	15,3	300
207	235	52	16,67	300
214	235	48	13,3	350
217	235	45	16,67	330
233	235	40	16,0	320
235	220	58	13,3	320
262	220	52	16,67	320
291	220	48	15,3	340
303	220	45	15,3	330
319	220	40	16,7	330

Masse volumique apparente du café vert $\approx 700 \text{ kg/m}^3$.

Tableau III. — Café Robusta du Cameroun

Temps de torréfaction secondes	Température de départ °C	Débit à 25 °C m ³ /h	Perte en poids %	Masse volumique apparente café torréfié kg/m ³	Débit à 70°C m ³ /h
108	272	49,3	16,7	290	52
112	280	55,1	20,0	270	58
169	255	55,1	19,0	330	58
195	255	49,3	17,0	280	52
185	255	45,6	17,0	300	48
200	255	42,7	19,0	270	45
205	255	38,0	17,0	300	40
227	240	55,1	17,0	290	58
244	240	49,3	17,0	300	52
256	240	45,6	17,0	250	48
262	240	42,7	19,0	320	45
282	240	38,0	19,0	300	40
306	230	55,1	17,0	320	58
315	230	49,3	17,0	320	52
320	230	45,0	17,0	300	48
330	230	42,7	17,0	300	45
423	230	38,0	17,0	330	40

(ρ_a) masse volumique apparente du grain de café vert = 700 kg/m^3 .

La température d'entrée du gaz est un paramètre particulièrement important, puisqu'un accroissement de 25 °C provoque, à débit d'air et charge de café fixés, une diminution de moitié du temps de torréfaction

(fig. 2 et 3). Il semble que l'influence de cette grandeur soit moins marquée avec la variété Arabica ; encore que ce résultat demanderait à être précisé.

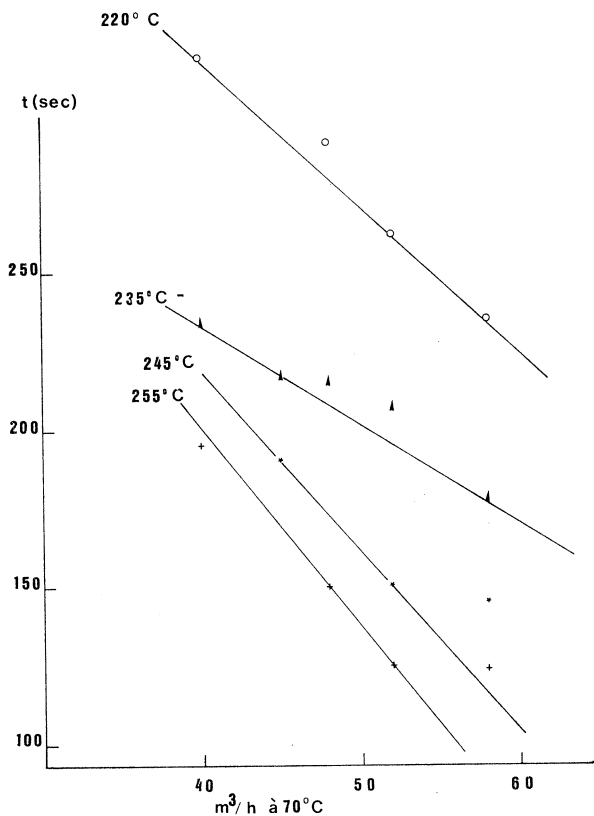


Fig. 3. — Temps de torréfaction en fonction du débit (café Arabica, Costa Rica)

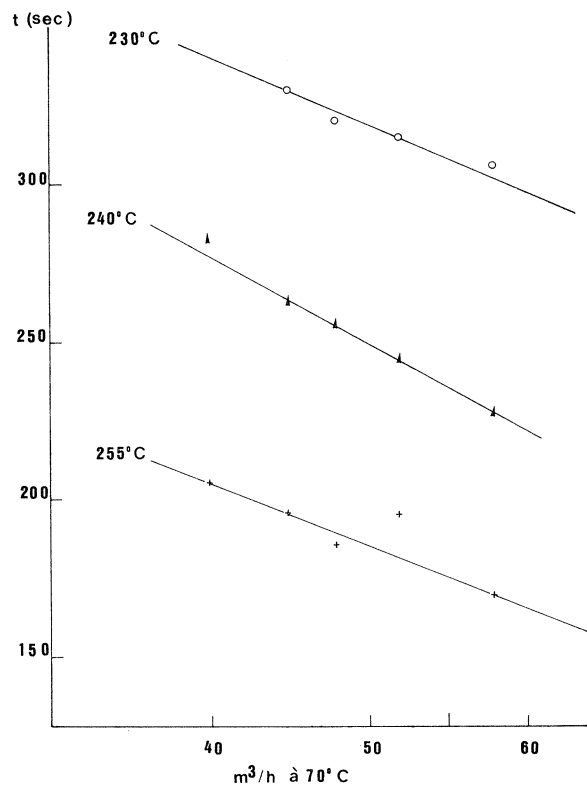


Fig. 4. — Temps de torréfaction en fonction du débit (café Robusta, Cameroun)

Qualité du produit torréfié

Entre 220 et 250 °C, nous avons constaté que les grains torréfiés en couche fluidisée présentent des caractéristiques organoleptiques très comparables à celles de grains de même qualité torréfiés par les méthodes traditionnelles ; en portent témoignage les analyses gustatives réalisées à l'IFCC et dont nous fournissons certains résultats dans les tableaux IV et V, page 224.

Par contre, pour des températures d'entrée de l'air supérieures (≈ 280 °C), la « qualité à la tasse » se détériore. A l'observation, la couleur du grain n'apparaît plus uniforme.

Energie de torréfaction

Par bilan thermique sur le système, nous avons évalué la quantité de chaleur à fournir par unité de masse de produit pour assurer la torréfaction.

En première approximation, nous avons :

$$\Phi = GC \int_0^{t_T} (\theta_E - \theta_s(t)) dt - P \quad (2)$$

avec :

- G : débit massique du gaz
- C : chaleur spécifique du gaz
- θ_E : température d'entrée du gaz
- $\theta_s(t)$: température de sortie du gaz (ou température de torréfaction)
- : énergie de torréfaction
- P : pertes thermiques au niveau du torréfacteur
- t_T : temps de torréfaction.

Graphiquement, la valeur de l'énergie perdue par le gaz à la traversée de la couche, entre $t = 0$ et $t = t_T$:

$$\Phi + P = GC \int_0^{t_T} (\theta_E - \theta_s(t)) dt \quad (3)$$

correspond à la zone hachurée de la figure 2, p. 221, comprise entre $t = 0$ et $t = t_T$. Quant aux pertes thermiques P par les parois de la colonne de torréfaction, mal calorifugées du fait de l'implantation des thermocouples, et les brides, elles correspondent à l'aire de la zone rectangulaire délimitée par $t = 0$ et $t = t_T$, ainsi que $\theta = \theta_E$ et $\theta = \theta_s(0)$.

Les valeurs de l'énergie de torréfaction ainsi déterminées, 95 kcal/kg de café vert, sont très voisines de la

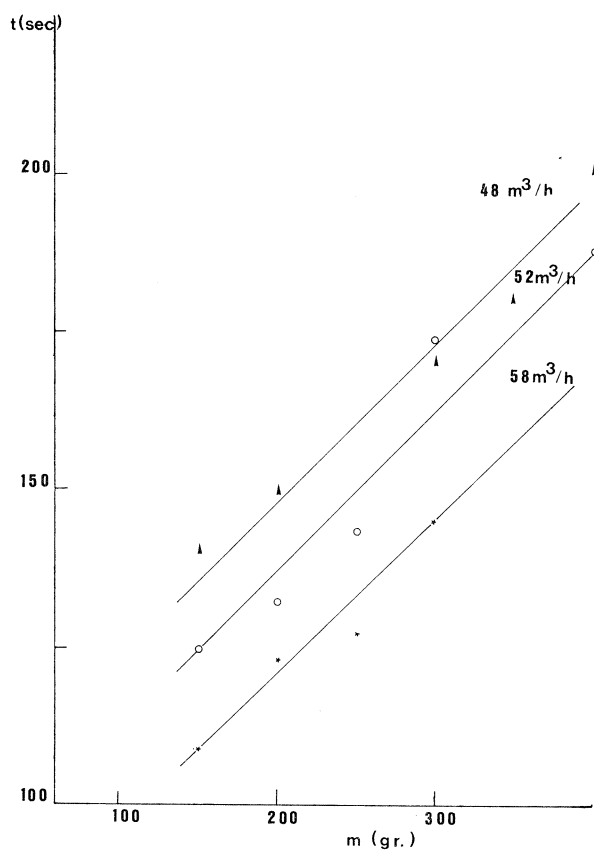


Fig. 5. — Temps de torréfaction en fonction du poids de l'échantillon à 260 °C (Arabica, Colombie)

Tableau IV. — Signes conventionnels utilisés au cours des expériences et essais

Signes conventionnels	Cotation chiffrée	Signification
?	—	Très faible à nul. Peut même exprimer le doute.
.	—	Très faible.
+	—	Faible.
++	—	Net.
+++	—	Fort.
++++	—	Très fort.
TB	1	Très bonne tasse.
B	2	Bonne tasse.
A ⁺	3	Tasse acceptable se rapprochant de B, soit « plus qu'acceptable ».
A	4	Tasse acceptable.
A ⁻	5	Tasse acceptable se rapprochant de M, soit « moins qu'acceptable ».
M	6	Mauvaise tasse.
TM	7	Très mauvaise tasse.
I	8	Inconsommable.
CM	9	Convient au mélange, implique pour ce café une absence de caractère propre susceptible d'être perçu dans un mélange avec d'autres cafés.

NB : On peut utiliser des cotations gustatives intermédiaires, par exemple : 4,5 = acceptable à moins qu'acceptable (A à A⁻).

Tableau V. — Fiche de dégustation de café

N°	θ (°C)	G $\frac{m^3}{h}$	t	Echantillon	Corps et force **	Astringence **	Acidité **	Amertume **	Goût particulier et observations	Classement **
1	220	58	3 mn 55	Arabica	+	+	+++	+	aigre, vert	4,1
2	280	58	1 mn 35	Arabica	+	—	+++	—	r. a. s.	4,8
3	272	52	1 mn 48	Robusta	++	—	—	++	ligneux, sale	4,9
4	255	58	2 mn 49	Robusta	++	—	—	+++	brûlé	5,5
5	250	40	3 mn 30	Arabica	++	—	+++	++	agréable	2,9
6 *	—	—	20 mn	Arabica	+	++	+	++	agréable	3,6

* Résultats correspondants à une torréfaction effectuée par une méthode traditionnelle (IFCC).

** Réf. codes cf tableau IV.

quantité théorique de chaleur à fournir pour torréfier 1 kg de café (85-90 kcal) et que l'on peut calculer à partir des données physicochimiques de base caractérisant l'opération (chaleur sensible à fournir au solide à traiter, chaleur de vaporisation de l'eau...). Toutefois, du fait de l'indétermination existant sur les courbes de température en début d'expérience et imputable à la faible vitesse de balayage du multiplexeur de l'enregistreur, les valeurs de Φ que nous calculons ne constituent certainement que des évaluations par défaut des valeurs exactes. Cependant, en les rapprochant des valeurs fournies par Sivetz (2) pour des appareils traditionnels (250 à 300 kcal/kg au minimum), on peut juger de tout l'intérêt du procédé par fluidisation.

On constate en outre (tableau VI) que l'énergie de torréfaction est indépendante de la charge dans la zone opératoire choisie (charge comprise entre 150 et 400 g). Ceci prouve la bonne reproductibilité des conditions

d'échanges entre grains et gaz, indépendamment du poids de café traité, et par là même témoigne des propriétés mécaniques avantageuses du système fluidisé sur cette plage de valeurs de la charge.

Tableau VI. — Energie de torréfaction - Café Arabica de Colombie

$Q_{(70^{\circ}\text{C})}$ (m^3/h)	θ_E °C	M (g)	t (s)	$\Phi + p$ (kcal/kg)	Φ (kcal/kg)
52	260	150	125	126	90
52	260	200	132	115	87
52	260	250	144	120	95
52	260	300	174	122	97
52	260	350	180	120	98
52	260	400	192	119	98

CONCLUSIONS

L'étude bibliographique des divers modes de torréfaction laisse apparaître très clairement les limites des procédés traditionnels par « flammage » ou par convection en couche dense, qu'elles soient d'ordre énergétique ou organoleptique. Cette analyse montre encore que, si d'un point de vue purement théorique, la « fluidisation » apparaît être une solution optimale au problème de la torréfaction, les réalisations pratiques en ce domaine ont conduit à un certain nombre de déboires qui remettent en cause non pas la technique elle-même, mais une certaine méconnaissance de ses conditions d'application ; en particulier il existe une carence notoire dans le domaine qui concerne l'étude préliminaire du comportement mécanique des couches fluidisées de café.

Après avoir défini de ce point de vue les exigences strictes d'un procédé en lit fluidisé, nous avons effectué divers essais de torréfaction en jouant sur plusieurs paramètres essentiels de définition du système. Les résultats majeurs obtenus sont les suivants :

1. — Le temps de torréfaction est considérablement réduit par rapport aux méthodes traditionnelles. Pour une température d'entrée de l'air comprise entre 220 °C et 260 °C, ce temps varie d'une minute trente à trois minutes trente.

2. — La perte en poids des grains torréfiés est moindre que celle usuellement relevée dans la littérature (12 à 17 % contre 18 à 20 %).

3. — L'énergie requise pour assurer la torréfaction d'un kilogramme de café vert est inférieure à celle nécessitée par les appareils traditionnels.

4. — L'influence de la température sur le temps de torréfaction est capitale, et beaucoup plus marquée que celle du débit. La valeur optimale de la température se situe entre 220 °C et 260 °C ; au-dessous de 220 °C, le temps de torréfaction augmente considérablement et la pyrolyse s'opère mal ; au-delà de 260 °C, il y a détérioration des qualités organoleptiques des produits.

5. — Lorsque toute la chaleur échangée au niveau de la chambre de torréfaction est apportée par l'agent fluidisant, le temps de torréfaction est fonction du poids de l'échantillon, et décroît lorsque la charge diminue.

6. — Les qualités organoleptiques des produits obtenus sont excellentes ; l'aspect extérieur du grain torréfié est très bon (pas de tache, ni de marbrure ; grain luisant, mais non huileux) ainsi que son traitement en profondeur. Enfin, le produit est d'une qualité très homogène.

BIBLIOGRAPHIE

1. H. GIBERT. — La fluidisation dans l'industrie agro-alimentaire. APRIA. Journée d'étude : Le Génie Industriel Alimentaire, Paris, 17 juin 1976.
2. M. SIVETZ, H. E. FOOTE. — Coffee processing technology. The Avi Publi. Co. (Westport, Connecticut), 1963, 2 vol., 598 p. et 379 p.

3. Fiches techniques de LURGI. Procédé de torréfaction en couche turbulente. « Aérotherm », 1965.
4. « Smitherm's new method of coffee roasting ». *Tea and Coffee Trade Journal* (New York), 1972, vol. 143, n° 2, p. 23-25.
5. M. SIVETZ. — Continuous pressure roasting of coffee

beans. *World Coffee and Tea* (New Haven), 1972, vol. 13, n° 2, p. 52-55.

6. C. ROLZ, J. F. MENCHU *et al.* — La tostación continua del café en cama fluida. *Café*, Lima (Peru), juil.-sept. 1968, vol. 9, n° 3, p. 3-19.

7. G. HENGL, H. ANGELINO, H. GIBERT. — Brevet français, n° 731 4526, 1973.

8. D. KUNII, O. LEVENSPIEL. — Fluidization engineering. John Wiley and Sons (Londres), 1969.

9. D. HARRISON, J. F. DAVIDSON. — Fluidization. Academic Press (Londres), 1971, 847 p.

ARJONA (J.-L.), ROCHE (G.), RIOS (G.), GIBERT (H.), VINCENT (J.-C.). — **Torréfaction du café en couche fluidisée gazeuse.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 217-226, fig., tabl., réf.

Après une analyse critique de la bibliographie concernant les procédés de torréfaction existants, les p. 217-226, présentent une étude expérimentale de la torréfaction du café en couche fluidisée. Les essais ont été poursuivis avec trois origines de café Robusta et deux origines de café Arabica, après avoir déterminé les limites de charge à observer et les conditions optimales de mise en contact des phases.

Le temps de torréfaction est considérablement diminué par rapport aux méthodes traditionnelles et les qualités organoleptiques des produits obtenus sont excellentes.

ARJONA (J.-L.), ROCHE (G.), RIOS (G.), GIBERT (H.), VINCENT (J.-C.). — **Torrefaction of coffee in a fluidized gas bed.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 217-226, fig., tabl., réf.

After a critical analysis of the bibliography of existing torrefaction methods, the authors present an experimental investigation of the torrefaction of coffee in a fluidized bed. The trials were carried out with Robusta coffee of three different origins and Arabica coffee of two origins, following the determination of the charge limits to be observed and the optimal conditions of placing the phases into contact.

The torrefaction time is reduced considerably as compared with traditional methods and the organoleptic properties of the products obtained are excellent.

NACHWEISMÖGLICHKEITEN FÜR BEARBEITETE KAFFEES

Dr. H.-W. MEYER

Dr. Gilbert Chem. Laboratorium, Hamburg

Der Kaffeekonsum ist bei Personen mit Herz- und Kreislaufbeschwerden sowie bei Magen-, Leber- und Gallekranken vielfach mit Unverträglichkeitssymptomen verbunden.

Schon früh wurden daher Verfahren entwickelt, um das Coffein als physiologisch wirksamen Inhaltsstoff aus dem Kaffee zu entfernen und dem Kreis von Personen mit Beschwerden aufgrund der Coffeinwirkung einen coffeinfreien verträglichen Kaffee anzubieten.

Da bald erkannt wurde, daß nicht in allen Fällen das Coffein, sondern sogenannte Röstreizstoffe für bestimmte Unverträglichkeitssymptome verantwortlich zu machen waren, entstand für diesen Personenkreis der Bedarf nach einem coffeinhaltigen Kaffee, dem durch besondere Bearbeitungsverfahren ein Teil der Röstreizstoffe entzogen wurde. Das älteste und bekannteste dieser Bearbeitungsverfahren zur Herstellung eines verträglichen coffeinhaltigen Kaffees ist das Lendrich-Verfahren, das bereits im Jahre 1933 patentiert wurde und bei dem der Rohkaffee einer mehrstündigen Behandlung mit übersättigtem Wasserdampf unterzogen wird (17). In ähnlicher Weise wird der Rohkaffee auch nach dem sogenannten KVV-Spezialverfahren bearbeitet, das aus dem Lendrich-Verfahren entwickelt worden ist (18).

Beim Bach-Verfahren wird nicht der Rohkaffee sondern der Röstkaffee bearbeitet, d.h. mit flüssigem Kohlendioxid gewaschen, wobei er von den an der Oberfläche der Röstkaffeebohnen haftenden Schmutzstoffen befreit wird (3).

Nach einem weiteren, in den letzten Jahren entwickelten Verfahren (15, 22) wird der Rohkaffee mit einem leichtflüchtigen Lösungsmittel entwacht, ohne daß der Coffeingehalt erheblich vermindert wird; das Lösungsmittel wird anschließend durch Dämpfen entfernt. Zahlreiche andere Verfahren, die ebenfalls zu einer Verminderung der Röstreizstoffe und damit zu einem verträglichen coffeinhaltigen Kaffee führen sollen, sind aus der Patenlliteratur bekannt (5, 6, 10, 12, 21). Im Gegensatz zu den erstgenannten Verfahren sind sie nach unserer Kenntnis jedoch zur Zeit noch ohne wirtschaftliche Bedeutung.

Da die Verbraucher solcher Kaffees, die im Handel als bearbeitet, veredelt oder besser bekömmlich

bezeichnet werden, vor einem Mißbrauch geschützt werden sollen, müssen die mit der Lebensmitteluntersuchung befaßten Stellen den Nachweis führen können, daß ein als veredelt angebotener Kaffee tatsächlich im Sinne der aufgestellten Werbebehauptung erfolgreich bearbeitet wurde.

Während der Nachweis der Entcoffeinierung in Roh- und Röstkaffee durch die Bestimmung des Coffeingehaltes einfach und sicher durchgeführt werden kann, ist der Nachweis der Bearbeitung coffeinhaltiger Kaffees problematisch, da die bessere Bekömmlichkeit auf die Verringerung der chemisch nicht näher definierten Röstreizstoffe zurückgeführt wird. Im Gegensatz zu den entcoffeinierten Kaffees gibt es deshalb auch keine allgemeinen gesetzlichen Anforderungen an bearbeitete Kaffees, so daß sich die mit der Lebensmitteluntersuchung befaßten Stellen bei der Beurteilung der Werbeaussagen nicht auf allgemein verbindliche Grundsätze stützen können.

Welche Möglichkeiten zum Nachweis der Bearbeitung gibt es bisher?

Bei lösungsmittelgewaschenen Kaffees ist der Gehalt an Carbonsäure-5-hydroxytryptamiden ein Maß für die Menge des vorhandenen Kaffeewachses und damit ein Hinweis auf eine Bearbeitung.

Da die CHT-Gehalte jedoch, abhängig von Kaffeeart und Lagerdauer der Kaffees, stark schwanken — sie liegen bei normalen Röstkaffees zwischen 600 und 1 000 ppm (24) —, ist nur bei sehr geringen Gehalten mit Sicherheit von einer erfolgten Bearbeitung auszugehen.

In der Schweiz dürfen so behandelte Kaffees den Hinweis « reizarm » nur führen, wenn der CHT-Gehalt kleiner als 400 ppm ist, in anderen Ländern liegen keine derartigen Bestimmungen vor.

Bei einem CHT-Gehalt in der Größenordnung normaler Kaffees kann der Bearbeitungsnachweis nur geführt werden, wenn der unbearbeitete Kaffee als Vergleich zur Verfügung steht und die Differenz der CHT-Gehalte signifikant ist. Die quantitative Bestimmung der CHT erfolgt dabei allgemein nach dünn-schichtchromatografischer Trennung von anderen mit dem Kaffeewachs extrahierten Stoffen durch Anfärben mit Gibbs'-Reagenz und Messung der Extinktion im Spektrofotometer (7, 14, 28). Zur Zeit werden

verschiedene Verfahren angewendet, die zu stark unterschiedlichen Werten führen und mit Großen Fehlermöglichkeiten behaftet sind. In der Bundesrepublik Deutschland wird von den interessierten Kreisen derzeit an der Normierung eines geeigneten Verfahrens zur CHT-Bestimmung gearbeitet.

Bei Kaffees, die nach dem Bach-Verfahren mit flüssigem Kohlendioxid gewaschen wurden, konnten chemische Unterschiede zu unbearbeiteten Kaffees bisher nicht festgestellt werden (9).

Bei gedämpften Kaffees, d.h. solchen, die nach dem « Lendrich-Verfahren » oder nach dem « KVV-Spezialverfahren » bearbeitet wurden, wird der CHT-Gehalt ebenfalls vermindert gefunden (13, 19). Die Reduzierung durch die Dämpfung ist signifikant, sie liegt bei 20-25 % und könnte als Bearbeitungsnachweis herangezogen werden, wenn ein allgemein erprobtes und befriedigendes Verfahren zur CHT-Bestimmung erarbeitet ist, das reproduzierbare Ergebnisse liefert. Voraussetzung ist jedoch, daß der unbearbeitete Kaffee zum Vergleich herangezogen werden kann, was bei den im Handel angetroffenen Kaffees jedoch normalerweise nicht möglich ist.

Bearbeitete Rohkaffees lassen sich nach Windemann (26) durch die Anwesenheit des 3-Methoxy-4-hydroxystyrols, das beim Dämpfen entsteht, nachweisen. Da diese Substanz jedoch nach dem Rösten nicht mehr nachweisbar ist, kann diese Methode zur Unterscheidung bearbeiteter und unbearbeiteter Kaffees bei den im Handel angetroffenen Röstkaffeeproben nicht angewandt werden.

Eine Reduzierung des Gehaltes an Chlorogensäuren, die für die bessere Bekömmlichkeit mit verantwortlich gemacht wurde, konnte bei bearbeiteten Röstkaffees nicht bestätigt werden (25).

Als nicht geeignet erwies sich auch der Versuch, die Menge der ätherlöslichen Substanzen im Röstkaffeeauszug als Untersuchungsmerkmal heranzuziehen, da diese Unterschiede sich nicht als reproduzierbar herausstellten (16, 27).

Daß ein mit Wasserdampf bearbeiteter Kaffee eine andere Wirkung als ein unbearbeiteter Kaffee besitzt, ist seit den Untersuchungen von Behrens und Malorny an Hunden bekannt (4, 8). Die kürzlich von Fintelmann und Haase (11) an magenkranken Probanden als gekreuzter Doppelblind-Versuch durchgeführte klinische Untersuchung hat erwiesen, daß ein nach dem KVV-Spezialverfahren behandelter Kaffee sich auf die Acidität des Magensaftes hochsignifikant geringer auswirkt als unbearbeiteter Kaffee, somit für diesen Personenkreis bekömmlicher ist.

Wie aus Abbildung 1, die das Ergebnis dieser Studie wiedergibt, deutlich wird, wurde anhand der maximalen pH-Wert-Änderungen nach Verabreichung des unbearbeiteten bzw. spezialbehandelten Kaffees gefunden, daß der veredelte Kaffee wesentlich weniger säurestimulierend wirkt als der unbearbeitete Kaffee.

Da für die Untersuchung einer im Handel angetroffenen als bearbeitet und besser bekömmlich bezeichneten Röstkaffeeprobe auf die Richtigkeit dieser Behauptung naturgemäß keine aufwendige klinische Untersuchung vorgenommen werden kann, muß nach einer Methode gesucht werden, mit deren Hilfe chemische

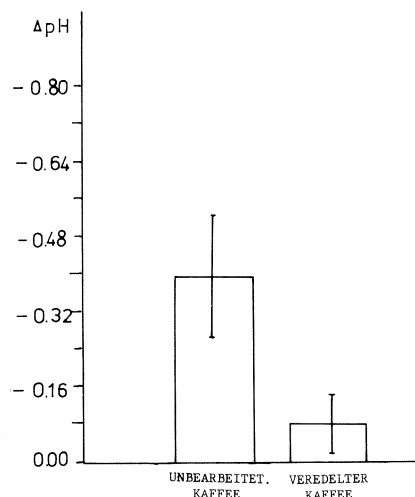


Abb. 1. — Veränderungen der pH-Werte nach Kaffeetrunk

Unterschiede einfach und eindeutig erkannt werden können.

Wir fanden eine solche Möglichkeit, indem wir die Menge der mit Methylalkohol im Röstkaffeeauszug fällbaren Polysaccharide bestimmten. Diese Möglichkeit hat Wurziger schon 1969 angedeutet, ohne allerdings weitere Versuche in dieser Richtung angestellt zu haben (13). Auch in den Arbeiten von Albanese (1) findet sich ein Hinweis auf eine Abnahme des Mannan-Gehalts bei gedämpften Kaffees.

Allerdings ist die Menge der fällbaren Polysaccharide noch vom Röstgrad abhängig, der somit ebenfalls bestimmt werden muß, da der Röstgrad der im Handel angetroffenen Kaffees stark schwankt. Auch Thaler (2) hat in seinen Untersuchungen der im Kaffee vorhandenen Polysaccharide bei allerdings anderer Zielsetzung seiner Arbeiten kürzlich auf diese Röstgradabhängigkeit hingewiesen. Der Einfluß weiterer Parameter auf die Menge der fällbaren Polysaccharide, z.B. die Menge des zur Fällung verwendeten Methanols, der pH-Wert des Kaffeeauszuges, die Korngröße des eingesetzten Kaffees und andere Fällungsbedingungen kann durch genaues Einhalten der Vorschrift ausgeschaltet werden. Der Extraktgehalt der Röstkaffeeauszüge wurde dabei zu 25 % bestimmt und praktisch konstant gefunden. Da in Einzelfällen der Extraktgehalt jedoch auch verändert sein kann, wurde dieser refraktometrisch bei jeder Bestimmung überprüft. Bei signifikanten Abweichungen wurden die erhaltenen Werte auf 25 % Extraktgehalt korrigiert. Die so erhaltene Fällung besteht nach unseren Untersuchungen aus einem Galaktomannan mit Galaktose- und Mannosebausteinen im Verhältnis 40 : 60. Dies steht im Einklang mit den von Thaler schon früher mitgeteilten Ergebnissen seiner Untersuchungen solcher Polysaccharidfällungen aus Röstkaffeeauszügen (23). Da Röstkaffee unterschiedliche Mengen Feuchtigkeit enthält, empfiehlt es sich, diese ebenfalls zu bestimmen und den Gehalt an fällbaren Polysacchariden auf die Trockensubstanz zu beziehen.

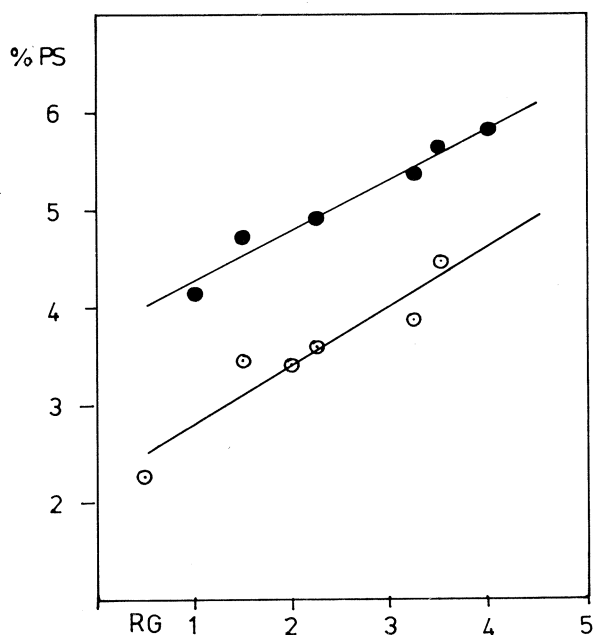


Abb. 2. — Polysaccharidfällung eines unbearbeiteten und veredelten Arabica-Röstkaffees in Abhängigkeit vom Röstgrad.

Aus der Abbildung 2 ist ersichtlich, daß die Menge der fällbaren Polysaccharide mit zunehmendem Röstgrad steigt. Die Abhängigkeit vom Röstgrad, den wir nach der Methode von Mohr (20) aus den Veränderungen im UV-Spektrum bestimmt haben, ist linear, die Zunahme pro Röstgradeinheit beträgt ca. 0,6 %, bezogen auf die eingesetzte Kaffeemenge. Die schwarz ausgefüllten Punkte stehen für unbearbeitete Proben der Sorte Guatemala, die nicht ausgefüllten Punkte für bearbeitete Proben aus der gleichen Charge (*).

Das Ergebnis der Korrelationsrechnung ergibt die Beziehung $PS = 0,52 \cdot RG + 3,75$ mit dem Korrelationskoeffizienten 0,986 und der Standardabweichung 0,12 für die unbearbeiteten Kaffees und $PS = 0,62 \cdot RG + 2,2$ für die spezialbehandelten Kaffees, wobei der Korrelationskoeffizient zu 0,946 und die Standardabweichung zu 0,26 ermittelt wurden.

Die Ergebnisse der Röstgradabhängigkeit sind in Tabelle I (S. 230) zusammengefaßt.

RG ist der nach Mohr bestimmte Röstgrad, unter mg PS ist die Menge der gefällten Polysaccharide nach drei Stunden Trocknung bei 110°C zu verstehen, der Trocknungsverlust ist als % H₂O bezeichnet und die beiden letzten Spalten enthalten die Menge der Polysaccharide in Trockensubstanz, bezogen auf die eingesetzte Röstkaffeemenge beim bestimmten Röstgrad bzw. bezogen auf den mittleren Röstgrad 3. Als Mittelwerte für die so berechneten Polysaccharidfällungen

(*) Hersteller Kaffeeveredlungswerk Hamburg.

ergeben sich 5,35 % für den unbearbeiteten und 4,0 % für den bearbeiteten Guatemala mit tatsächlichen Abweichungen von weniger als 5 % bzw. 9 % vom jeweiligen Mittelwert. Die Differenz beider Mittelwerte mit 1,35 % absolut bzw. -25 % relativ bezogen auf den höheren Wert ist signifikant.

In Tabelle II (S. 231) sind die Polysaccharidfällungen unbearbeiteter und KVV-spezialbearbeiteter Röstkaffees verschiedener Arten — Arabica und Robusta — sowie verschiedener Arabica-Provenienzen gegenübergestellt. Ein deutlicher Einfluß der Provenienz bei Arabica-Kaffees ist offensichtlich nicht vorhanden, der Mittelwert der unbearbeiteten Arabicas liegt bei 5,45 %, der bearbeiteten bei 4,3 %; die Differenz beträgt durchschnittlich -21,2 % relativ. Für die beiden untersuchten Robusta-Kaffees wurden deutlich geringere Werte gefunden, die Differenz der Polysaccharidfällung ist jedoch auch hier signifikant.

Wir haben uns daraufhin im Handel verschiedene unbearbeitete Röstkaffeeproben und solche mit der Behauptung der Bearbeitung bzw. besseren Bekömmlichkeit beschafft und diese in gleicher Weise untersucht. Der Kaffee lag in fast allen Fällen in Form der gerösteten Bohnen vor und konnte als Arabica angesprochen werden.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse in Abhängigkeit vom gleichfalls bestimmten Röstgrad aufgeführt. Die gestrichelten Geraden entsprechen der aus Abbildung 2 ermittelten Röstgradabhängigkeit für die bearbeiteten und unbearbeiteten Guatemala-Proben. Während bei den unbearbeiteten Kaffees die Korrelationsrechnung eine Gerade mit gleicher Steigung und gleichem Ord-

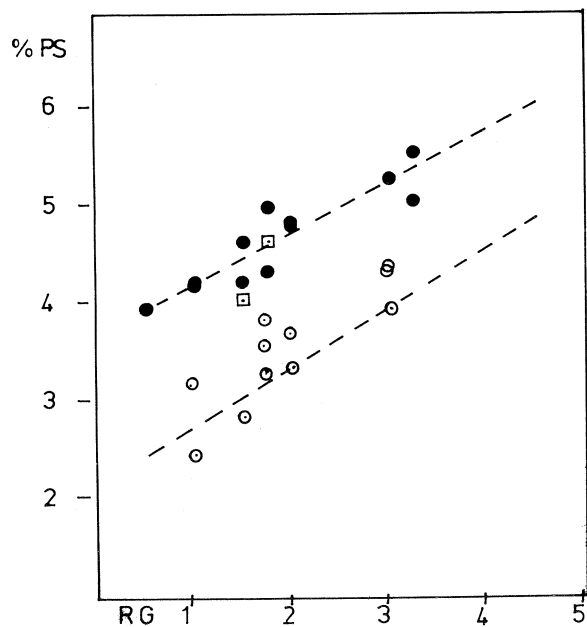


Abb. 3. — Polysaccharidfällungen verschiedener unbearbeiteter und bearbeiteter Röstkaffees in Abhängigkeit vom Röstgrad.

natenschnittpunkt liefert, — wobei sich der Korrelationsfaktor zu 0,886 und die Standardabweichung zu 0,23 ergab, — sind die Abweichungen bei bearbeiteten Kaffees deutlich größer. Zwei Proben, die als reizarm bzw. bekömmlich bezeichnet waren, müssen als unbearbeitete Kaffees angesehen werden, sie sind in der Abbildung als Quadrate markiert.

Bei allen anderen, die als bearbeitet bezeichnet waren, ist dieses somit nachweisbar, wenn auch in unterschiedlichem Maße, was durch unterschiedliche Bearbeitungsbedingungen begründet sein kann.

In Tabelle III sind die als eindeutig bearbeitete Arabicas anzusprechenden Proben aufgeführt, der Polysaccharidgehalt bezogen auf den Röstgrad 3 beträgt im Mittel 4,2 %.

Tabelle IV (S. 232) enthält die als unbearbeitete Kaffees anzusprechenden Proben mit einem Durchschnittswert der Polysaccharidfällung von 5,45 % und einer Schwankungsbreite von 5,2-5,8 %. Die beiden am Schluß der Tabelle aufgeführten, bereits genannten Proben sind aufgrund dieser Nachweismethode somit als unbearbeitet bzw. als nicht genügend bearbeitet anzusehen. Die Differenz der Mittelwerte beträgt 1,25 % absolut, das entspricht 23 % relativ bezogen auf den unbearbeiteten Kaffee. Die Werte sind in guter Übereinstimmung mit den vorher in den Tabellen I und II aufgeführten Mittelwerten. Interessant ist die Tatsache, daß zahlreiche Kaffees mit der Werbeaussage wie naturmild und extra mild, eindeutig als unbearbeitet anzusprechen waren. Dagegen sind alle Proben, die

Tabelle I. — Abhängigkeit der Polysaccharidfällung vom Röstgrad

Bezeichnung	mg PS ^{a)}	%H ₂ O ^{b)}	%PS ^{c)}	RG ^{d)}	%PS (RG=3) ^{e)}
Arabica-Guatemala, unbearbeitet	132,8	3,8	4,14	1,0	5,34
	151,7	3,3	4,71	1,5	5,61
	157,5	3,3	4,99	2,25	5,34
	173,7	3,3	5,39	3,25	5,24
	181,2	3,5	5,63	3,5	5,33
	187,0	3,4	5,81	4,0	5,21
				Ø	5,34
Arabica-Guatemala, KVV-spezialbearbeitet	72,8	4,0	2,28	0,5	3,78
	112,0	2,6	3,45	1,5	4,35
	110,8	2,6	3,41	2,0	4,01
	116,6	2,7	3,60	2,25	4,05
	126,0	2,7	3,88	3,25	3,73
	145,2	2,6	4,47	3,5	4,17
				Ø	4,0

a) Polysaccharidfällung in mg nach 3 Stunden Trocknung bei 110°C, Mittel aus Doppelbestimmung

b) Trocknungsverlust nach 3 Stunden bei 105°C

c) Polysaccharidfällung in Trockensubstanz, bezogen auf die eingesetzte Kaffeemenge

d) Röstgrad, nach Mohr bestimmt

e) Polysaccharidfällung in Trockensubstanz, bezogen auf die eingesetzte Kaffeemenge und den Röstgrad 3,0

Tabelle II. — Vergleich der Polysaccharidfällungen von unbearbeiteten und spezialbearbeiteten Röstkaffees aus gleicher Probe

Bezeichnung	unbearbeitet		KVV-spezialbearbeitet		$\Delta PS^a)$	$\Delta \%PS^b)$
	RG	%PS (RG=3)	RG	%PS (RG=3)		
Arabica-Guatemala (Mittel aus 6 Röstungen)	1,0-4,0	5,35	0,5-3,5	4,0	-1,35	-25,2
Arabica-Costa Rica	3,25	5,45	3,0	4,45	-1,0	-18,3
Arabica-Uganda	1,75	5,80	1,75	4,65	-1,15	-19,8
Arabica-Guatemala	3,25	5,25	3,0	4,45	-0,8	-15,2
Arabica-Mexiko	2,0	5,50	2,0	4,0	-1,5	-27,3
Arabica \emptyset		5,47		4,31	-1,16	-21,2
Robusta-Kamerun	3,75	3,75	3,75	2,60	-1,15	-30,7
Robusta-Zaire	2,5	4,35	2,5	3,5	-0,85	-19,5

a) Differenz der Polysaccharidfällungen beim Röstgrad 3,0

b) Abnahme der Polysaccharidfällung beim spezialbearbeiteten Kaffee, bezogen auf den unbearbeiteten Kaffee

Tabelle III. — Bearbeitete Arabica-Kaffees

Bezeichnung	%H ₂ O	%PS	RG	%PS (RG=3)
1. Guatemala, spezialbearb. (\emptyset aus 6 Röstungen)	-	4,0	3,0	4,0
2. Costa Rica, spezialbearbeitet	3,7	4,45	3,0	4,45
3. Uganda, spezialbearbeitet	2,0	3,9	1,75	4,65
4. Guatemala, spezialbearbeitet	4,3	4,45	3,0	4,45
5. Mexiko, spezialbearbeitet	2,6	3,4	2,0	4,0
6. Guatemala, coffeinfrei	2,7	3,35	1,75	4,1
7. coffeinfrei, doppelt bekömmlich	1,7	2,5	1,0	3,7
8. magenfreundlich veredelt	3,7	3,75	2,0	4,35
9. spezialbehandelt, mild + fein	3,9	3,65	1,75	4,4
10. magenmild	1,5	2,9	1,5	3,8
11. Guatemala + Salvador, spezialveredelt	2,1	3,25	1,0	4,45
				\emptyset 4,2

Tabelle IV. — Unbearbeitete Arabica-Kaffees

Bezeichnung	%H ₂ O	%PS	RG	%PS (RG=3)
1. Guatemala (Ø aus 6 Röstungen)	-	5,35	3,0	5,35
2. Costa Rica	3,5	5,6	3,25	5,45
3. Uganda	2,0	5,05	1,75	5,80
4. Guatemala	4,3	5,1	3,25	5,25
5. Mexiko	2,6	4,9	2,0	5,5
6. Columbia-Mischung	2,4	4,85	2,0	5,45
7. Gold-Mocca	1,9	4,3	1,5	5,2
8. AR. naturmild	2,6	4,3	1,0	5,5
9. Maragogye-Mischung naturmild	2,9	4,7	1,5	5,6
10. AR.extra mild	2,4	4,3	1,0	5,5
11. S. extra mild	-	4,0	0,5	5,5
12. Maragogye, mild	2,1	4,4	1,75	5,15
				Ø 5,45
13. Kofrosta, reizarm	2,5	4,7	1,75	5,45
14. leicht bekömmlich	3,6	4,1	1,5	5,0

Tabelle V. — Polysaccharidfällungen von älteren Kaffees

Bezeichnung	Alter	%PS (RG=3)
Costa Rica, kerngeröstet	ca. 12 J.	5,4
Mexiko, Lurgi	ca. 12 J.	5,2
Kofrosta, roh	ca. 10 J.	5,2
Kofrosta, roh	ca. 5 J.	4,5
Saloadez, geröstet	ca. 12 J.	4,5
Mysore, roh	ca. 60 J.	2,5

bekanntem Bearbeitungsbetrieben zugeordnet werden konnten und mit entsprechenden Hinweisen versehen waren, auch als solche anzusprechen. Weiterhin ist erkennbar, daß alle als entcoffiniert bezeichneten Proben als bearbeitet anzusehen sind, da auch diese zur Entfernung des Lösungsmittels gedämpft wurden.

Zu den Parametern, von denen anzunehmen ist, daß sie von Einfluß auf die Polysaccharidfällung sind und durch genaues Einhalten der Versuchsbedingungen nicht konstant gehalten werden können, gehört neben dem Röstgrad und der Kaffeearart auch das Alter des Kaffees.

Wir haben daher einige ältere Roh- und Röstkaffees in gleicher Weise untersucht.

Wie aus Tabelle V ersichtlich ist, hat sich die 10-12 jährige Lagerzeit bei den ersten drei aufgeführten Proben unbearbeiteter Kaffees nicht auf die Polysaccharidfällung ausgewirkt. Die Proben vier und fünf weisen dagegen geringere Werte auf. Deutlich vermindert ist die Polysaccharidfällung bei dem 60 jährigen roh gelagerten indischen Kaffee. Ob dies mit Sicherheit auf Veränderungen in der Polysaccharidzusammensetzung beruht, die von ähnlichem Einfluß wie die Bearbeitung sind, läßt sich anhand der bisher untersuchten Muster nicht eindeutig klären.

Die Methode der Polysaccharidfällung als Bearbeitungsnachweis ist nicht anwendbar auf Rohkaffees und Extrakt-Kaffees. Da der Einfluß der Kaffeeart auf die Menge der Polysaccharidfällung bisher nicht ausreichend untersucht worden ist, sollte der zu untersuchende Röstkaffee nicht vermahlen sein, um die Kaf-

feeart erkennen zu können. Immerhin läßt sich bei Arabica-Kaffees, — und andere Bohnenkaffees werden zumindest in der Bundesrepublik Deutschland dem Verbraucher kaum angeboten —, nach dem Ergebnis der bisher durchgeführten Untersuchungen ein Bearbeitungsnachweis nach der beschriebenen Methode führen.

Die dabei noch vorhandenen Einschränkungen, die in der Problematik der nicht genügend genauen Röstgradbestimmung und der noch nicht vollständig geklärten Abhängigkeit von den infrage kommenden Parametern begründet sind, lassen dennoch die Anwendung dieser relativ einfach durchzuführenden Methode zu.

Ich danke dem Kaffee-Veredelungswerk, Hamburg, für die Beschaffung und Bearbeitung zahlreicher Kaffeeproben und Herrn Prof. Dr. Wurziger, Hamburg, für die Überlassung von länger gelagerten Roh- und Röstkaffees.

LITERATUR

1. F. ALBANESE. — *Café Cacao Thé* (Paris), 7, (4), 321 (1963).
2. V. ARA, H. THALER. — *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.* (Berlin), 161, 143 (1976).
3. BACH. — DT-PS 1.009.006 (1958).
4. B. BEHRENS, G. MALORNY. — Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Path. Pharmacol., 194, 369 (1940).
5. K. BEIL. — DT-AS 1.692.234 (1972).
6. E. BÜRGIN. — DT-AS 2.429.233 (1975).
7. O. CULMSEE. — *Dt. Lebensmittel-Rundschau* (Stuttgart), 71, 425 (1975).
8. G. CZOK. — Untersuchungen über die Wirkung von Kaffee; Suppl. 5 zur *Zeitschrift f. Ernährungswiss.*, Steinkopff-Verlag, Darmstadt (1966).
9. P. EDEN. — *Ernährungs-Umschau* (Frankfurt), 14 (6), 183 (1967).
10. P. EMICH. — DT-AS 2.212.171 (1972).
11. V. FINTELMANN, W. HAASE. — *Z. Allg. Med.* (Stuttgart), 53, (30), 1888 (1977).
12. H. GÖMANN. — DDR-PS 27.802 (1963).
13. U. HARMS, J. WURZIGER. — *Kaffee- und Teemarkt* (Hamburg), XIX (10), 6 (1969).
14. P. HUBERT, H. KWASNY, P. WERKHOFF, U. TURNER. — *Z. Anal. Chem.* (1977), 285, (314), 242-250.
15. G. KURZ, H.O. VAHLAND. — DT-AS 1.960.694 (1971).
16. G. LEHMANN, M. MORAN. — *Kaffee- und Teemarkt* (Hamburg), XXIII (9), 10-11 (1973).
17. P. LENDRICH, E. WEMMERING, O. LENDRICH. — DRP 576.515 (1933).
18. J. MENTHE. — Kaffee-Veredelungs-Werk Hamburg, Privatmitteilung.
19. H.-W. MEYER. — Unveröffentlichte Ergebnisse.
20. E. MOHR. — *Kaffee- und Teemarkt* (Hamburg), XXI, 3 (1971).
21. E. MOHR. — DT-AS 2.429.589 (1976) und DT-AS 2.337.201 (1975).
22. W. ROSELIUS, O. VITZTHUM, P. HUBERT. — DT-AS 2.031.830 (1971).
23. H. THALER. — *Z. Lebensm. Unters.-Forschung* (Berlin), 106, 128 (1957).
24. O. VITZTHUM. — *In Kaffee und Coffein*, Hrsg. O. EICHLER, Springer-Verlag, Berlin, 1976, S.37.
25. H. WERNER, M. KOHLEY. — *Kaffee- und Teemarkt* (Hamburg), XV (1), 5 (1965).
26. P. WINDEMANN. — Dissertation Universität Bern 1974.
27. J. WURZIGER. — *Kaffee- u. Teemarkt* (Hamburg), XXII (14), 3 (1972).
28. J. WURZIGER. — 6. Internationales Kolloquium über Kaffee-Chemie (Bogota, 1973), ASIC Paris, S.332.

MEYER (H. W.). — *Méthodes pour caractériser les cafés « traités »*. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 227-234, fig., tabl., réf.

Les opérations de décaféination ou de traitement par des solvants peuvent être caractérisées en dosant la caféine et/ou les 5-hydroxytryptamides résiduels dans les cafés traités.

MEYER (H. W.). — *Methods for characterizing « modified » coffees*. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 227-234, fig., tabl., réf.

Decaffeinated coffees and coffees washed with solvents can be identified by their contents of caffeine resp. C-5HT while a suitable method for identifying coffee that had been

Jusqu'à maintenant, il n'était pas possible de caractériser le traitement du café vert par la vapeur, traitement utilisé pour obtenir des cafés « modifiés » pour des consommateurs sensibles.

Nous avons trouvé qu'une précipitation à l'alcool de l'infusion de café torréfié donne des résultats significativement plus faibles pour les cafés « modifiés » à la vapeur.

En standardisant les paramètres (degré de torréfaction, mode de précipitation), cette méthode permet de déceler tout traitement à la vapeur, car elle distingue les divers cafés traités, y compris les décaféinés, des cafés normaux. Cette méthode ne se prête pas à l'analyse des cafés solubles.

MEYER (H. W.). — **Nachweismöglichkeiten für bearbeitete Kaffees.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 227-234, fig., tabl., réf.

Während entcoffeinierte Kaffees durch den Coffeingehalt und mit Lösungsmitteln gewaschene Kaffees durch die Reduzierung des Gehaltes an Carbonsäure-5-hydroxytryptamiden als bearbeitet nachweisbar sind, fehlte es bisher an einer geeigneten Methode zum Nachweis der zwecks besserer

refined with steam for the purpose of better digestibility, was missing until now.

We found that the quantity of the precipitation caused by alcohol in the extract of roasted coffee is significantly reduced with steam-refined coffees.

When carefully observing the other parameters like the grade of roasting and the conditions of precipitating which can influence the result, this method is suitable for identifying all steam-refined roasted coffees including the decaffeinated and solvent-washed coffees but with the exception of soluble coffees.

Bekömmlichkeit mit Wasserdampf erfolgten Bearbeitung von Kaffee. Wir fanden, daß die Menge der mit Alkohol im Röstkaffeeauszug fällbaren Polysaccharide bei wasserdampfveredelten Kaffees signifikant verringert ist. Unter Beachtung der weiteren, die Menge der fällbaren Polysaccharide beeinflussenden Parameter wie Röstgrad und Fällungsbedingungen ist diese Methode geeignet, alle mit Wasserdampf behandelten Röstkaffees, d.h. auch die mit Lösungsmitteln gewaschenen und entcoffeinierten mit Ausnahme der Extraktkaffees als bearbeitet nachzuweisen.

PRESERVATION OF AROMA COMPONENTS DURING THE DRYING OF EXTRACTS



P. J. A. M. KERKHOF (*)

Department of Chemical Engineering,
Eindhoven University of Technology, The Netherlands

INTRODUCTION

One of the most important quality aspects of coffee extract is the aroma pattern. This pattern is made up of a large number of volatile aroma components, the majority of which are very volatile with respect to water. Upon equilibrium evaporation of water from these extracts, these volatiles will already be completely removed from the liquid, while only part of the water has been evaporated (Thijssen and Rulkens, 1968). However it is known that aroma components can be largely retained in various drying processes including freeze drying and spray drying. Therefore in these non-equilibrium processes there are rate-controlling factors limiting aroma loss. Because of the high volatility of the aroma components, the main barriers for aroma transport lie inside the drying material. The transport of aroma therefore depends on the physical state in which aroma is present, on the mobility of the aroma components during drying and on the geometry of the drying system. Regarding the physical state of the aroma compounds we make the following differentiation :

<i>non-volatile phase (s)</i>	<i>presence of aroma</i>
— dissolved solids	— homogeneously dissolved
— dissolved solids	— partially dispersed because of oversaturation
— dissolved solids + non-volatile oil	— distributed over aqueous and oil phase

The mobility of the aroma components in a drying material, as will be treated in the next section in greater detail, depends upon the temperature and upon the local water concentration. These parameters in turn are dependent on the physical properties of the drying material, and on the processing conditions. The geometry of a drying specimen is determined by the method of dehydration, and by a number of processing parameters such as atomization in spray drying, freezing rate in freeze-drying. During the last decade this field has been subject to extensive studies, both theoretical and experimental. Several review papers are available on food dehydration (Karel, 1973), freeze drying (King, 1971), aroma retention (Thijssen, 1972 ; King and Massaldi, 1974 ; Kerkhof and Thijssen, 1975), spray drying (Kerkhof and Schoeber, 1974 ; Kerkhof and

(*) Present address : Netherlands Institute for Dairy Research NIZO, Kernhemseweg 2, Ede, The Netherlands

Thijssen 1975). Further the readers attention may be pointed at papers of several authors in « Freeze Drying and Advanced Food Technology » (Goldblith *et al.*, 1975), and in the « Proceedings of the IVth International Symposium on Food Science and Technology, vol. IV » (IUFoST, 1974). It is the intention of the

present paper to give an overview of the main aspects of aroma retention as described much more extensively in the above-mentioned references, and also present some hitherto unpublished results about the behaviour of systems with dispersed aroma (Kerkhof and Thijssen, 1978).

HOMOGENEOUSLY DISSOLVED AROMA COMPONENTS

Fundamental aspects

In the literature three mechanisms have been proposed to explain the retention of homogeneously dissolved aroma components :

- adsorption of volatiles,
- microregion entrapment of aroma components,
- difference in diffusivity between aroma components and water. The concept of **adsorption**, as given by Rey and Bastien (1962) for freeze drying, states that during drying aroma molecules escape from the moist region, and are adsorbed at active sites on the dry interface. Their experimental data, and those of other authors (Flink and Karel, 1970 ; Menting, 1969 ; Capella *et al.*, 1974) show that surface adsorption does not contribute very much to aroma retention, but that some of the phenomena found are more likely to be caused by absorption in the (partially) dry material.

The **microregion** concept as formulated by Flink (1969) and Flink and Karel (1969) states that during freezing and freeze drying microstructures are formed by carbohydrate or protein molecules, which are connected by hydrogen bonds. Aroma molecules can be entrapped in these microregions. Many experimental results can be explained qualitatively by this theory. A critical review of these results by King and Massaldi (1974), however, showed that these experimental findings can also be explained by molecular diffusion. As they stated, the microregion theory presents a microscopic view of the phenomena which are macroscopically described by diffusion theory.

The **selective diffusion** theory, as stated by Thijssen (1965), considers the molecular diffusion of water and aroma components inside the drying specimen. In solutions of carbohydrates, gums or proteins, the diffusion coefficients of both water and aroma components depend strongly on water concentration. This is illustrated by figure 1 for aqueous maltodextrin solutions and coffee extract, to which small amounts of acetone had been added as a model aroma component (Thijssen and Rulkens, 1968). Analogous results for sugar solutions were found by Chandrasekaran and King (1969, 1972a). The decrease in the diffusion coefficient of the aroma component with decreasing

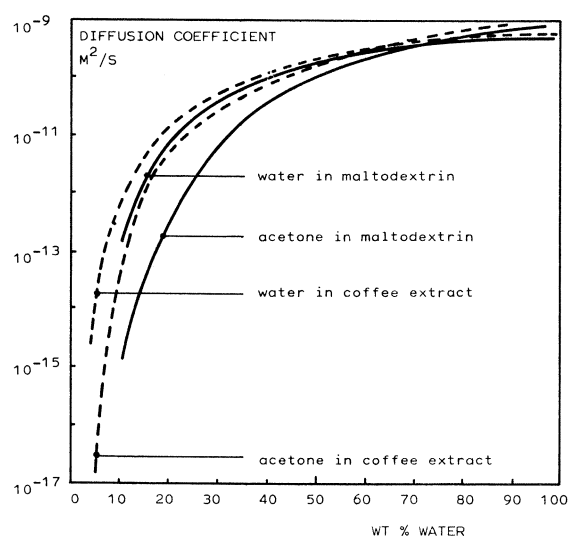


Fig. 1. — Diffusion coefficients of water and of traces of acetone in aqueous maltodextrin solutions and coffee extract (Thijssen and Rulkens, 1968 ; Menting *et al.*, 1970b)

water concentration is much sharper than that of water, at low water concentrations leading to a diffusion coefficient of the aroma component several orders of magnitude less than the one of water. As water is withdrawn at the interface of a drying specimen during dehydration water concentration gradients build up, and the interfacial water concentration decreases with time. After some time, the interfacial concentration of water becomes so low that the diffusion coefficient of aroma is negligible compared to water, and the interface behaves like a semi-permeable membrane, through which only water can diffuse ; a selective « dry skin » is formed. Mathematical models based on the selective diffusion theory have been shown to give quantitative agreement with experimental data obtained for well-defined drying circumstances, such as drying of gelled layers (Menting *et al.* 1970a ; Chandrasekaran and King, 1972b). Also qualitative agreement with experimental results in spray drying has been established (Kerkhof and Schoeber, 1974).

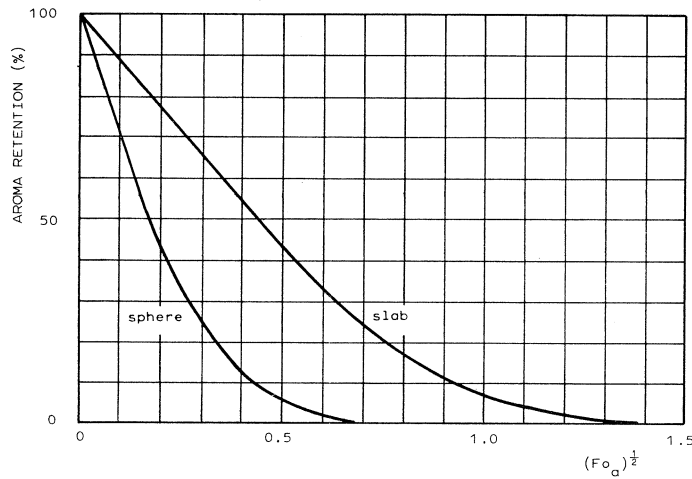


Fig. 2. — Dependence of aroma retention on Fourier number

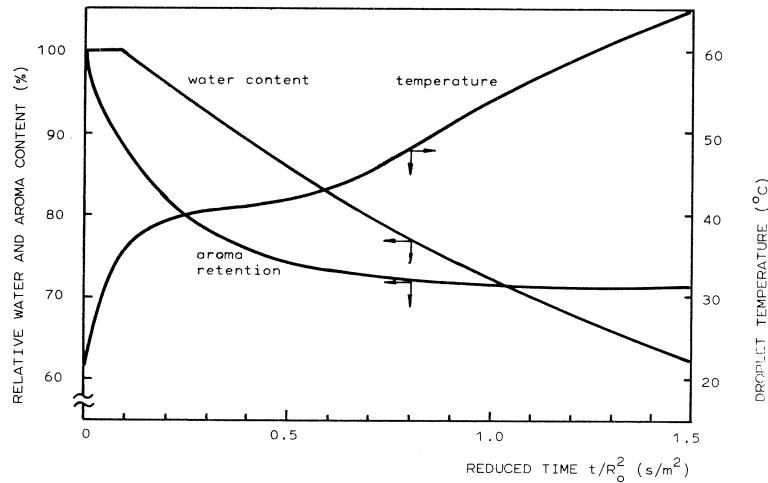


Fig. 3. — Relative water and aroma content and droplet temperature as calculated according to the diffusion model (Kerkhof and Schoeber, 1974)

As was shown by several authors (Thijssen and Rulkens, 1968 ; King and Massaldi, 1974 ; Kerkhof and Thijssen, 1975) the aroma retention can be coupled at least qualitatively to a Fourier number :

$$Fo_a = \frac{D_{a,eff} t_c}{L^2} \quad (1)$$

in which $D_{a,eff}$ is an effective value of the aroma diffusion coefficient in the drying material, t_c is the time needed for the formation of a dry skin and L is a characteristic dimension of the drying specimen : half the thickness for two-sided drying of a slab, or the radius of a drying droplet. In some cases it is possible to use this concept also quantitatively (Kerkhof, 1975 ; Kerkhof and Thijssen, 1977). The relation between the

aroma retention AR and the Fourier number is given in figure 2. From this figure it can be seen that the aroma retention decreases with increasing Fourier number. In order to optimize aroma retention, therefore the values of the process variables should be chosen so that the Fourier number is minimal. On this basis the processes of spray drying and freeze drying will be discussed in the next sections.

Spray drying

In spray drying a liquid feed is atomized into small droplets, which are dried in a hot air stream. In figure 3 a typical drying history for such a droplet is given.

After an initial warming-up period the temperature remains constant at wet-bulb temperature for some time, and then increases again towards dry-bulb temperature. The period at wet-bulb temperature is caused by the fact, that although water concentration gradients build up inside the drying droplet, the water activity remains close to unity, as long as the liquid side interfacial concentration is higher than about 25 wt %. This is caused by the typical shape of the water vapour sorption isotherm, as illustrated in figure 4. As follows from figures 1 and 4, the water concentration below which the water activity decreases pronouncedly corresponds approximately with the point of selective permeability. This means that the end of aroma loss coincides approximately with the end of the constant-

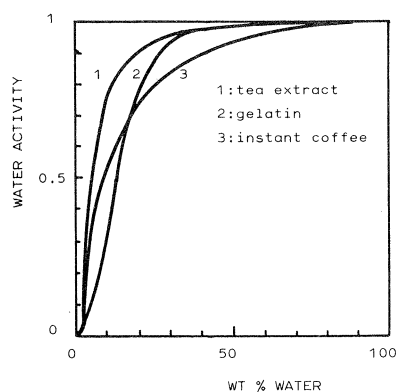


Fig. 4. — Water vapour sorption isotherms of some food liquids, after : Nemitz, G., *Z. Lebensm. Unt. u. Forschung*, **123**, 1, (1963)

activity period. This was also observed experimentally in drying of layers (Menting *et al.*, 1970a ; Chandrasekaran and King, 1972b ; Kerkhof, 1975). In figure 3 this effect is also illustrated. In figure 5 and 6 concentration profiles are given of water and aroma respectively. Also here it can be seen that as soon as a low interfacial water concentration is reached, the aroma loss ends ; the increase in aroma concentration is due to the fact that the amount of aroma remains constant while the droplet volume decreases.

Rulkens and Thijssen (1972a) measured experimentally the influence of various process variables on aroma retention in spray drying aqueous maltodextrin solutions, a model system behaving quite similar to coffee extract (Menting, 1969). As it is illustrated in figure 7, they observed a very strong increase of aroma retention with increasing dissolved solids concentration in the feed. As they explained, increasing the dissolved solids concentration leads to steeper water concentration gradients inside the droplet, and to a smaller distance between the initial water concentration and the concentration at which selective permeability is reached, the so-called critical water concentration. Thus the length of the constant-activity period is decreased strongly. Furthermore the aroma diffusion coefficient is lower from the onset of drying, and consequently the Fourier number is lowered, corresponding to lower aroma loss.

Other variables affecting the length of the constant-activity period are the droplet size, the air humidity and the air temperature. From theoretical considerations it follows that under practical conditions the value of t_d/L^2 is not very much dependent on droplet diameter, and so aroma retention will hardly be influenced by the particle size (Kerkhof, 1975). Decreasing the air humi-

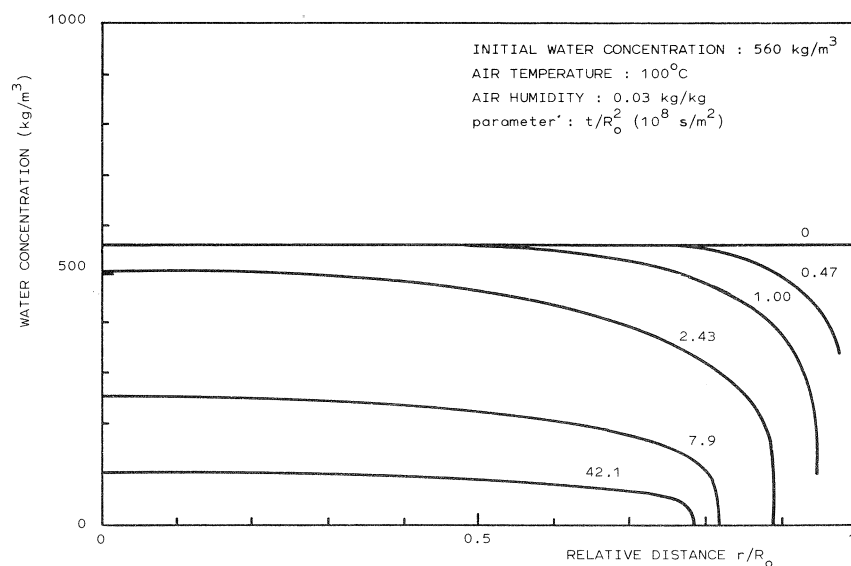


Fig. 5. — Water concentration profiles inside a drying droplet, as calculated with the diffusion model

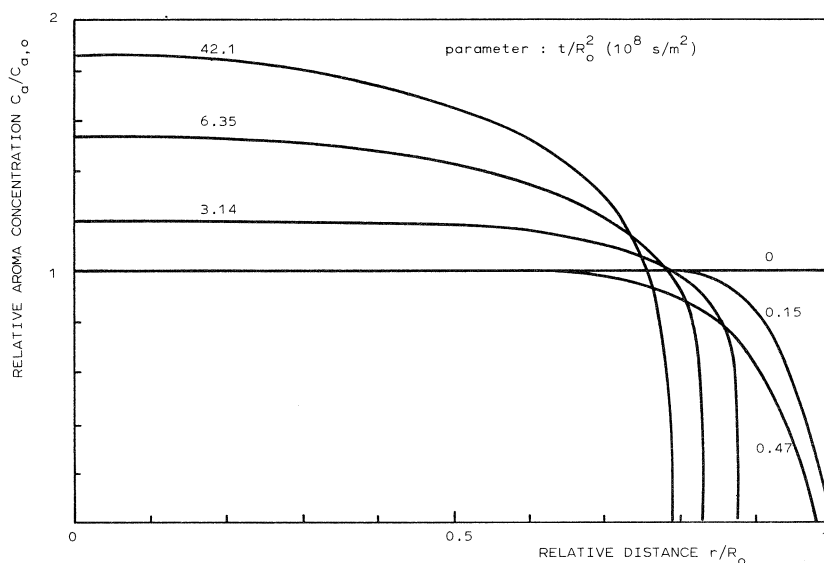


Fig. 6. — Theoretically calculated aroma concentration profiles inside a drying droplet

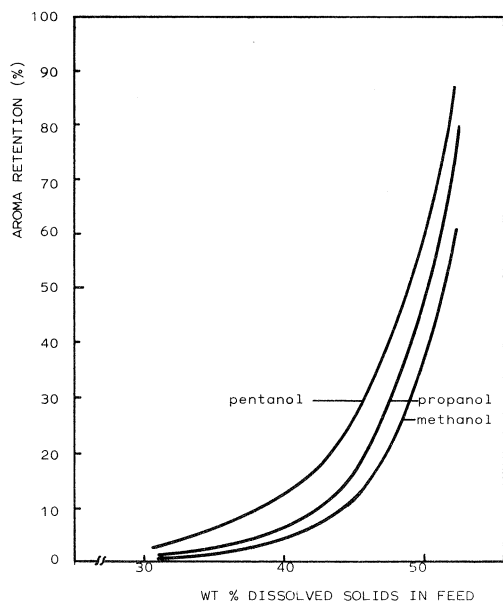


Fig. 7. — Experimentally observed retention of n-alcohols in spray drying aqueous maltodextrin solutions (Rulkens and Thijssen, 1972a)

dity increases the evaporation rate, leading to steeper water concentration profiles, and thus a shorter period t_c , and consequently a lower aroma loss. Increasing the air temperature would theoretically also lead to increased aroma retention, because of the higher evaporation rate during the constant-activity period and thus a decrease in t_c . If we compare this to experimental results as given in figure 8 (p. 240), we see that at lower

air temperature an increase in aroma retention is observed, but at higher temperatures aroma retention decreases again. This was explained by Rulkens and Thijssen (1972a) by the phenomenon of ballooning. At high air temperature the particles will rise considerably in temperature when the surface is nearly dry, but are still wet in the centre. Then vapour bubbles may form, or existing air bubbles will expand, leading to hollow shells. These shells may be ruptured and craters may be formed, thus allowing aroma to escape from the particle interior. It was found that this effect is strongest at high dissolved solids concentrations in the feed.

Experiments on dual stage spray drying in our laboratory indicated that the negative influence of ballooning can be suppressed by collecting the particles before complete dehydration, and subsequently after-dry them under milder conditions. These experiments however also indicated that in designing such processes there is only a small margin between the prevention of ballooning and obtaining a sticky intermediate product.

Correlation method for the estimation of aroma loss

Recently we developed a method for the prediction of aroma loss during air drying, based on the concept of the Fourier number (Kerkhof, 1975 ; Kerkhof and Thijssen, 1977). In this method the reduced length of the constant-activity period, t_c/L^2 , and the effective aroma diffusion coefficient $D_{a,eff}$ are correlated to process variables by the following relations :

$$\frac{t_c}{L^2} = \frac{1}{J_{w,o} L V_w} \left[\frac{(\rho_{w,o} - \rho_{w,c}) V_w}{1 - \rho_{w,c} V_w} \right] \quad (\text{slab}) \quad (2a)$$

$$\frac{t_c}{L^2} = \frac{1}{2 J_{w,o} L V_w} \left[1 - \left(\frac{1 - \rho_{w,o} V_w}{1 - \rho_{w,c} V_w} \right)^{2/3} \right] \quad (\text{droplet}) \quad (2b)$$

$$\frac{t_c}{L^2} = \frac{F_w}{(J_{w,o} L V_w)^2} \quad \text{for « sharp drying » of both slabs and droplets} \quad (3)$$

$$F_w = F_w^o \exp\left(f_{ww} \rho_{w,o} V_w - \frac{E}{RT}\right) \quad (4)$$

$$D_{a,\text{eff}} = D_a^o \exp\left(f_{aw} \rho_{w,o} V_w - \frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

for « slow drying »

Herein is

$J_{w,o}$ = water flux during constant-activity period (kg/m² s) (at initial radius in case of droplets)

V_w = specific volume of water = 10⁻³ (kg/m³)

$\rho_{w,o}$ = initial water concentration (kg/m³)

$\rho_{w,c}$ = critical water concentration (kg/m³). As explained in the original papers, for $\rho_{w,c}$ the concentration may be taken at which the water activity is equal to 90 %

$F_w^o, f_{ww}, E, D_a^o, f_{aw}, E$ = correlation constants

R = gas constant (J/mole K)

T = wet-bulb temperature (K).

The principle of the method is as follows. A number of simple slab drying experiments is carried out at constant air temperature, while the slab temperature is monitored. From the slab temperature reading the end of the constant-activity period is determined and the samples are analyzed for aroma retention. From figure 2 the Fourier number corresponding to the observed aroma retention is found, and from the observed value of t_c and the known value of $L, D_{a,\text{eff}}$ is calculated. If the experiments were performed under so-called « sharp drying » conditions, which means that during the constant-activity period the water concen-

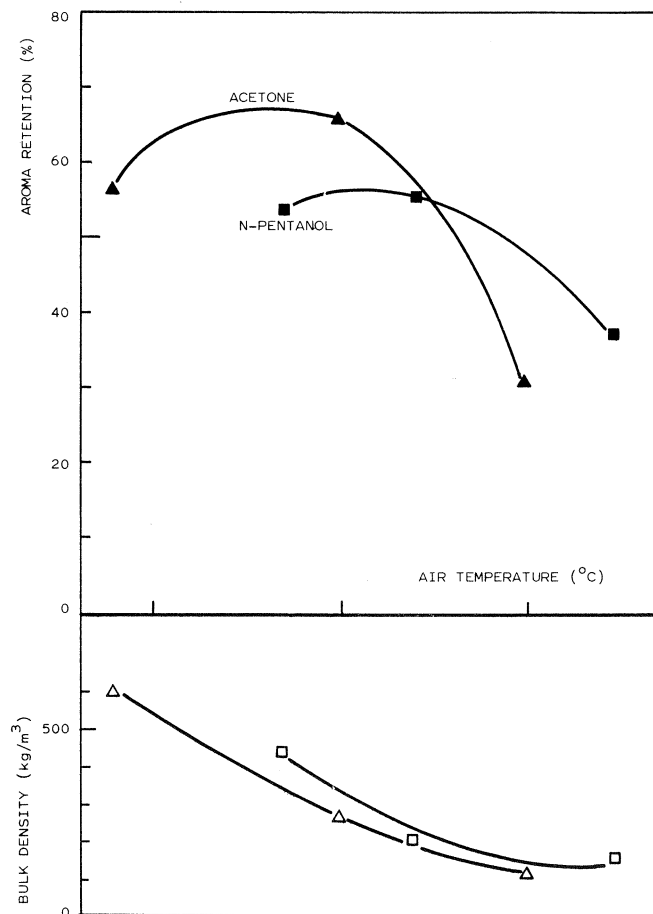


Fig. 8. — Experimentally observed effect of air temperature on aroma retention and bulk density in spray drying aqueous maltodextrin solutions

tration at the bottom of the drying slab has not changed appreciably, from relation (3) the value of F_w can be calculated. A simple criterion from which can be seen whether the condition of sharp drying was met, is given by :

$$\frac{J_{w,o} V_w t_c}{L} \frac{1 - \rho_{w,c} V_w}{(\rho_{w,o} - \rho_{w,c}) V_w} < 0.5 \quad (6)$$

If such experiments are carried out for several initial water concentrations and different air temperatures, the correlation constants in Eqs (4) and (5) can be determined. For the application of the correlation method to a droplet under spray drying conditions at the given air temperature and humidity the wet-bulb temperature is determined, and the value of the parameter $J_{w,o} L V_w$, which may be approximated by :

$$J_{w,o} L V_w = D'_w (H_i - H_b) \rho_{air} V_w \quad (7)$$

in which D'_w = diffusion coefficient of water vapour in air (m^2/s)

$H_i - H_b$ = difference in humidity between droplet and air (kg/kg dry air)

ρ_{air} = density of air expressed as kg dry air/ m^3

Both D'_w and ρ_{air} must be taken at the average temperature and humidity between the droplet conditions and the air conditions. At the prevailing droplet conditions the value of F_w is calculated, and the lowest value from the predictions by Eqs (2b) and (3) is taken for t_c/L^2 . Also the value of $D_{a,eff}$ is evaluated at droplet conditions, and then the Fourier number is calculated. From figure 2 then the aroma retention is read.

For further details the reader is referred to the original paper. Following the above-mentioned procedure, we determined the correlation constants for aqueous maltodextrin solutions, with n-alcohols as model aroma components, and with these data calculated the effect of dissolved solids concentration in the feed on aroma retention. The results, given in figure 9, indicate that the predicted values are higher than the experimentally observed data. One of the explanations for this, the ballooning effect at higher dissolved solids concentration, was discussed in the fore-going. At low dissolved solids concentrations also a considerable contribution to aroma loss is caused by the turbulent mass transfer during droplet formation, turbulence which is more rapidly damped out at higher dissolved solids concentration in the feed.

Regarding the merits of the correlation method, it should be taken into account, that also much more complicated mathematical models, which require much harder to determine data, cannot predict the effect of ballooning and the loss during atomization. Since the agreement between the correlation method and the more exact diffusion models is good, the correlation method may be regarded as a reasonable estimation method for aroma loss, with which also in a simple way the effects of several process variables can be approximated.

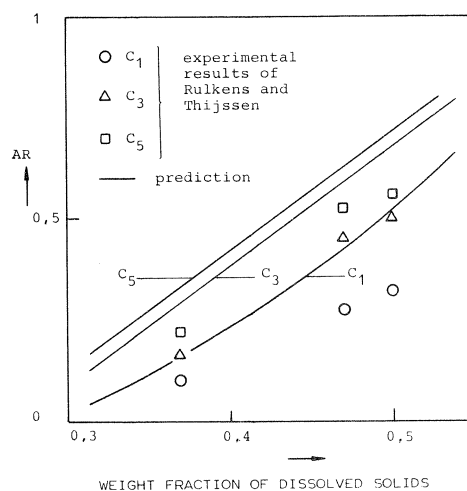


Fig. 9. — Comparison between experimentally obtained aroma retention data in spray drying, and prediction with the correlation method

Freeze drying

During the freezing of an extract, virtually pure ice crystals are grown in a matrix of concentrated solution. From the freezing point curve follows that the solute matrix still contains about 20 wt% of not-freezable water. During drying ice is sublimated in high vacuum and the vapour is taken up by low temperature condensers.

For the ease of discussion in figure 10 (p. 242) a simplified model of a freeze-drying system is given. After retreat of the ice front a porous structure remains with pore walls, of which the thickness is much lower than the dimension of the drying particle. Therefore the transport of water and of aroma in the y-direction can be neglected with respect to that in the r-direction, perpendicular to the pore walls. Transport of water and loss of aroma start immediately after passage of the ice front. The vapour pressure of water inside the pore at a fixed place $y = YH$ will decrease with time. Since the water concentration in the solute matrix is virtually in equilibrium with the water vapour pressure in the pore also the water concentration inside the matrix will decrease with time after passage of the ice front, and consequently also the aroma diffusion coefficient will decrease. At the prevailing low temperatures the diffusion coefficient is very strongly dependent on water concentration ; therefore during the dewatering of the matrix the aroma diffusion coefficient at a given place y will decrease with time until below a certain water concentration it is virtually equal to zero. Thus the time during which aroma can be lost is determined for a large part by the velocity of the ice front. From the Fourier criterion now several rules can be derived.

— Increasing the dissolved solids concentration leads over a large range to thicker solute matrix walls at

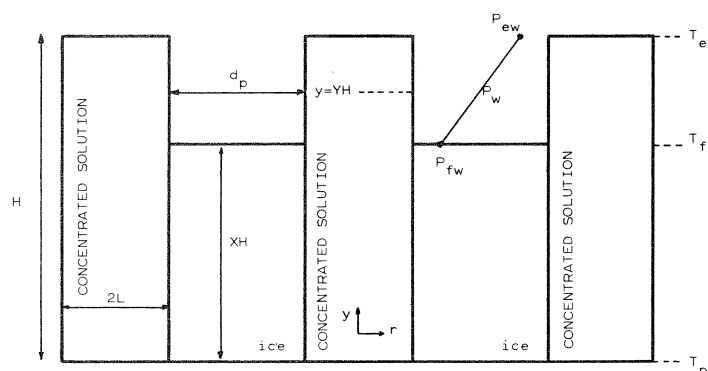


Fig. 10. — Schematic view of a freeze drying specimen

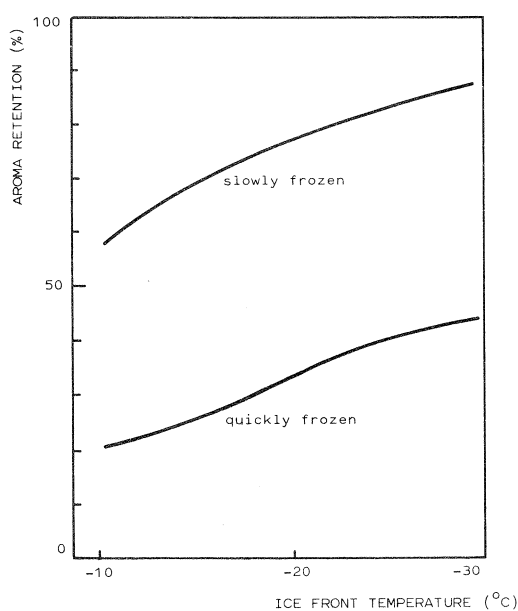


Fig. 11. — Experimentally observed effect of freezing rate and ice front temperature on aroma retention (Rulkens and Thijssen, 1972b)

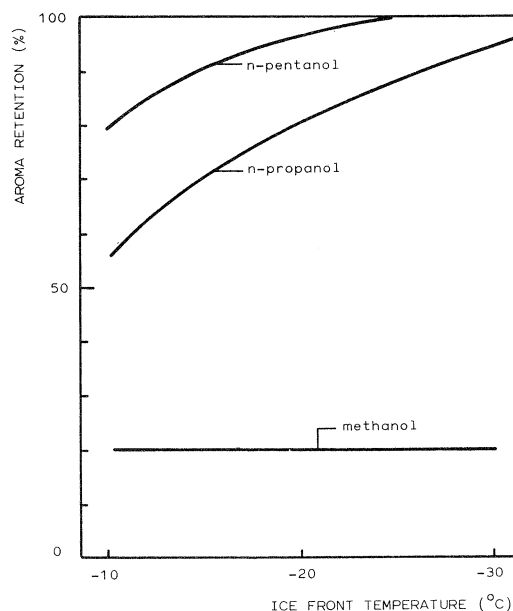


Fig. 12. — Experimentally observed effect of ice front temperature on retention of n-alcohols during freeze drying (ibid.)

a slowly decreasing pore size. Therefore the velocity of the ice front does only decrease slowly with increasing of the dissolved solids concentration, while the thickness L of the walls increases, thus leading to lower aroma loss.

— If the feed is frozen at higher cooling rate, more nucleation will take place; since at a given dissolved solids concentration in the feed the final volume fraction of ice is fixed, this means that the ice crystals are smaller, and as a consequence the matrix walls are also thinner. The smaller pore diameter causes a lower rate of retreat of the ice front and thus a longer time t_c during which aroma is lost. Since also the wall thickness L is decreased, a strong decrease of aroma retention with increased freezing rate follows. This is illustrated in figure 11.

— Decreasing the ice front temperature leads to counteracting effects. On one hand the vapour pressure at the ice front is decreased, thus decreasing the velocity of the ice front, and increasing t_c . On the other hand the aroma diffusion coefficient in the glassy matrix will decrease, which would lead to a lower rate of aroma loss. From figure 11 and figure 12 can be deduced that the latter effect is dominant for the larger aroma molecules, but that for methanol apparently the effects are equally strong.

— Decreasing the chamber pressure leads to an increased velocity of the ice front, and thus to a lower time t_c and higher aroma retention.

— Decreasing the thickness H of the sample at constant external conditions leads to a decrease in drying time, approximately proportional to H^2 , and

thus to increased aroma retention. In drying of layers of granules however it has been found that with increasing layer thickness there is a decrease in aroma retention due to the lower drying rate because of the longer path of the water molecules, an effect which manifests itself especially at small particle diameters. Thus there is an optimum in particle diameter : at lower particle diameters the water vapour trajectory inside the particles is smaller, but as such a bed is more compact the hindering of the water molecules between the particles is more pronounced ; with larger particles

the drying time increases because of the longer distance over which the ice front has to retreat (Thijssen, 1975).

— Experiments on foaming have shown that due to the decrease of wall thickness the retention of aroma components is decreased (Petersen *et al.*, 1973).

The here mentioned effects are in correspondence with many experimental results of various investigators : a review of these experiments is given elsewhere (Kerkhof and Thijssen, 1975).

DISPERSED AROMA COMPONENTS

In recent studies the behaviour of dispersed aroma components was investigated. Flink and Gejl-Hansen (1972) observed microscopically the presence of droplets inside freeze-dried specimen, droplets which were either present in the original solution or which were formed during freezing due to the concentrating effect of this operation. Massaldi and King (1974ab) investigated the retention of sparingly soluble aroma compounds in synthetic emulsions and in natural juices, and gave an approximating theoretical model, which described their experimental results reasonably well. In an extensive paper, King and Massaldi (1974) reviewed the existing experimental work, and treated also from a theoretical viewpoint the retention of pure volatile droplets as well as that of aroma components which are distributed over an aqueous and an oil phase. Kayaert investigated systems in which mixtures of volatile components were used, also in supersaturated state (Kayaert, 1974 ; Kayaert *et al.*, 1975).

Since the experimental work was concentrated on

freeze drying this technique will be discussed first, after which some results found in spray drying are treated.

Freeze drying

In drying synthetic emulsions with single aroma components several investigators found that increasing the initial aroma concentration above a certain level led to a decrease in aroma retention (Flink and Karel, 1970a ; Chirife *et al.*, 1973 ; Massaldi and King, 1974a). The same phenomenon was observed by Kayaert (1974) in his experiments on mixtures of aroma compounds. In experiments in our laboratory with n-hexanol as a model aroma component in aqueous maltodextrin solutions we observed the same behaviour, as illustrated in figure 13. The retention of one component may be changed by the addition of other

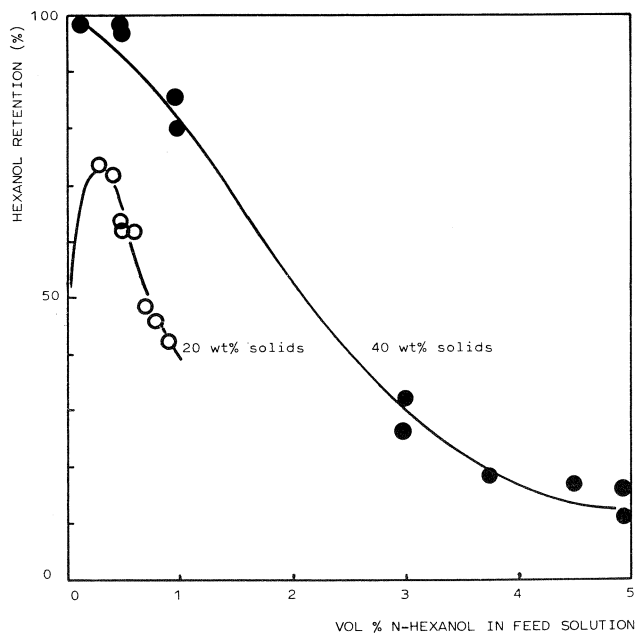


Fig. 13 — Retention of n-hexanol in relation to n-hexanol concentration in the feed during freeze drying of aqueous maltodextrin solutions (Kerkhof and Thijssen, 1978)

components (Kayaert, 1974); in drying of natural juices an increase of aroma retention is found with increasing initial aroma concentration (Massaldi and King 1974b). The mechanisms by which aroma is lost are illustrated schematically in figure 14 :

— At low concentrations below the solubility limit aroma is lost by diffusion.

— If in the original solution, or during freezing the

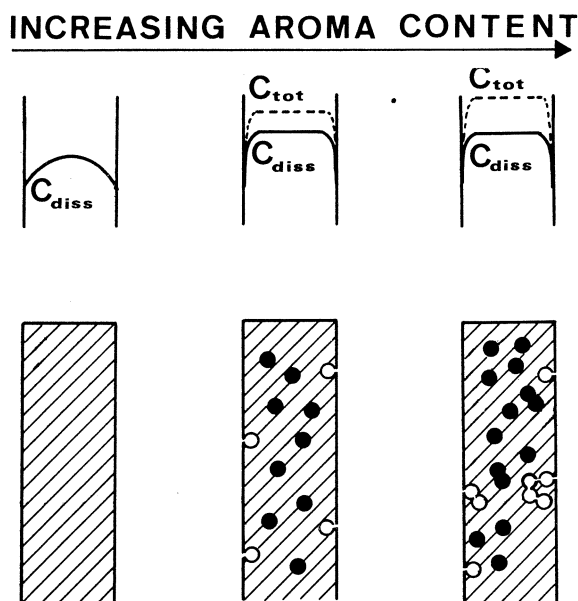


Fig. 14. — Schematic view of loss of partially soluble aroma components in freeze drying

saturation level is exceeded, droplets are present in the matrix. If these droplets are located adjacent to an ice crystal, they evaporate after passage of the ice front. An important factor influencing aroma retention is therefore the location of the droplets inside the matrix wall. Massaldi and King estimate the fraction of droplets adhering to the ice crystals in the case of synthetic emulsions as equal to the volume fraction of ice, since the droplets which were located in the place of the ice crystals before freezing would collect at the interface. In the case of natural juices the droplets have the opportunity to move away from the growing ice crystals by Brownian motion made possible by their much smaller size, and are adhering to the cloud. Both factors decrease the fraction of droplets adjacent to the ice crystals, and thus the aroma loss.

— If the period before the matrix is sufficiently dry, aroma is lost by molecular diffusion from the enclosed droplets through the matrix to the pores.

From our experiments and from microscopic observations we deduced that at high aroma concentrations another mechanism should also be taken into account :

— With increasing droplet concentration the probability of droplet aggregation increases. If now a surface droplet is lost, neighbouring droplets will be lost as well.

From these mechanistic considerations it would appear that the main factor determining the loss of the dispersed aroma fraction would be its volumetric concentration in the concentrated solute matrix. From solubility measurements we calculated this volume fraction of dispersed n-hexanol in the matrix before drying; by estimation of the amount left homogeneously dissolved after drying, we calculated from the overall retention the retention of the dispersed part of

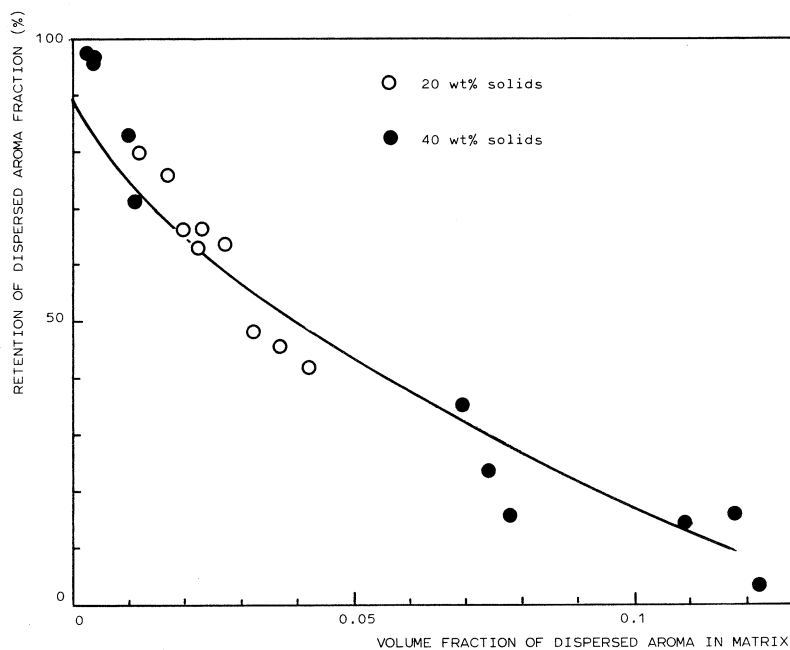


Fig. 15. — Retention of the dispersed fraction of n-hexanol as a function of the volume fraction of n-hexanol in the matrix

the aroma. The results, as given in figure 15, show that the experimental data obtained for 20 wt % solids and for 40 wt % solids can be described by a single curve, confirming the point that the volume fraction of aroma inside the matrix rather than the fraction in the original solution is the determining factor. Further it can be seen that with increasing aroma volume fraction in the matrix the loss of the dispersed aroma fraction increases. Analysis of the data of Massaldi and King in a similar fashion gave the same type of relationship, indicating that also in their case there is some interaction of the aroma droplets. The aggregation phenomenon was also observed microscopically in the case of oil droplets by Flink and Gejl-Hansen (1976). They observed that droplets in contact with the ice crystals upon passing of the ice front spread out over the surface of the matrix. Clearly also in such a case aroma components present in such an oil phase will also be lost. Concluding we may summarize the influence of the process variables as follows :

— at constant ratio of the amounts of dispersed aroma and of dissolved solids the aroma retention will remain approximately constant ;

— at constant aroma concentration increasing the dissolved solids concentration will lead to higher aroma retention ;

— increasing the aroma concentration at constant dissolved solids concentration leads to decreasing aroma retention ;

— the probability of contact between aroma droplets and ice crystals increases with increasing droplet size and decreasing thickness of the walls. Therefore both an increase in aroma droplet size and an increase in freezing rate will both decrease aroma retention.

Spray drying

With regard to the spray drying of materials with dispersed aroma at the present time no literature data are known to the author. Therefore the discussion will be limited to some experiments which have not been published as yet (Kerkhof and Thijssen, 1978). We performed experiments with n-hexanol as model aroma component in aqueous maltodextrin solutions, and studied the effect of several process variables on aroma retention, including the addition of a surface-active agent, Tween-20.

From the observations made in freeze drying we can imagine several loss mechanisms, as depicted in figure 16 :

— Droplets of aroma may be released upon atomization and consequently evaporate.

— Surface droplets may be formed which evaporate during warming-up of the product particle ; also before dry skin formation aroma droplets may move towards the surface due to interfacial tension phenomena, caused by water and aroma concentration gradients along the aroma droplet.

— Enclosed aroma droplets may be depleted by diffusion during the constant-activity period.

— Droplets may come into contact with the drying

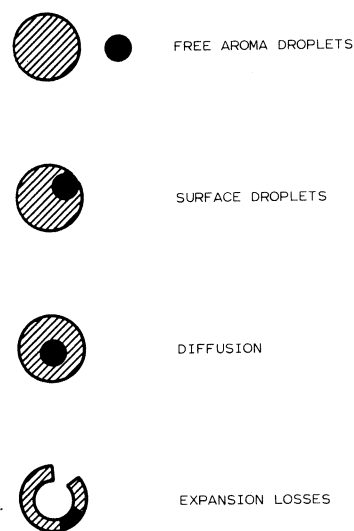


Fig. 16. — Schematic view of loss mechanisms of dispersed aroma in spray drying

air during expansion and deformation of the particles due to overheating.

Discarding the first mechanism as unlikely to contribute significantly to aroma loss, it is clear that the other mechanisms will be strongly influenced by :

- product droplet size,
- aroma droplet size,
- aroma concentration,
- dissolved solids concentration,
- air temperature.

By using two different dispersers we found in our experiments that with decreasing aroma droplet size aroma retention increased. In figure 17 (p. 246) the aroma retention is given as function of the air outlet temperature and of dissolved solids concentration in the feed, for both chamber and cyclone product. The following influences are observed :

— Increasing the solids concentration in the feed gives higher aroma retention. This is caused by the increase of the product droplet size, and by lower diffusion rate and faster dry skin formation. Also the probability of droplets moving to the product droplet surface before dry skin formation is decreased because of the higher viscosity.

— Increased temperature will lead to a faster dry skin formation which would be favourable for aroma retention, but at more elevated temperatures a decrease in retention due to expansion is found.

— The cyclone retention is higher than the retention in the chamber product ; this is contrary to the results obtained with homogeneously dissolved aroma. A possible explanation lies in the fact that the time necessary for dry skin formation is nearly inversely proportional to the product droplet diameter, and therefore the dry skin is formed much more rapidly around the smaller particles found in the cyclone fraction than for the larger chamber particles. In this

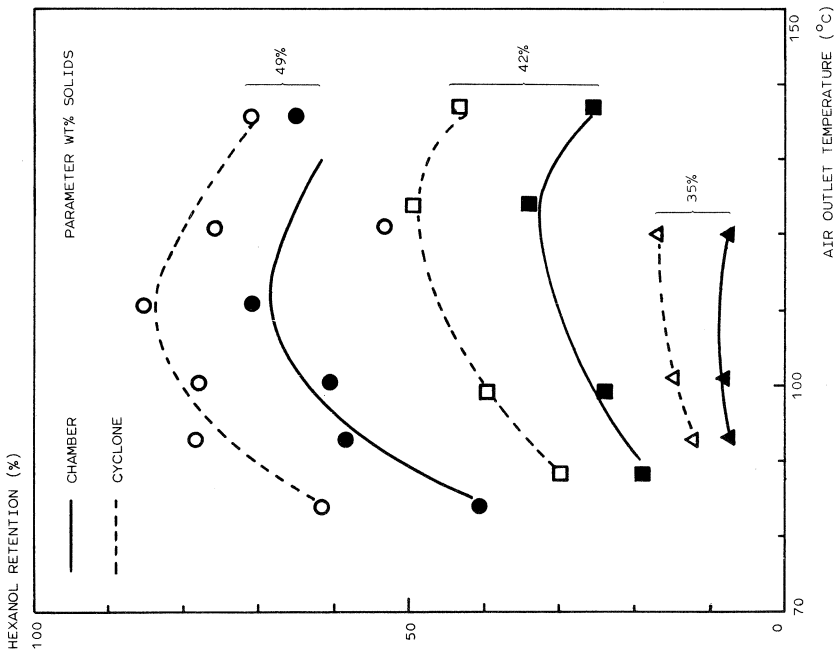


Fig. 17. — Experimentally observed hexanol retention in spray drying of aqueous maltodextrin solutions, in dependence on air temperature, with dissolved solids concentration as parameter (Kerkhof and Thijssen, 1978)

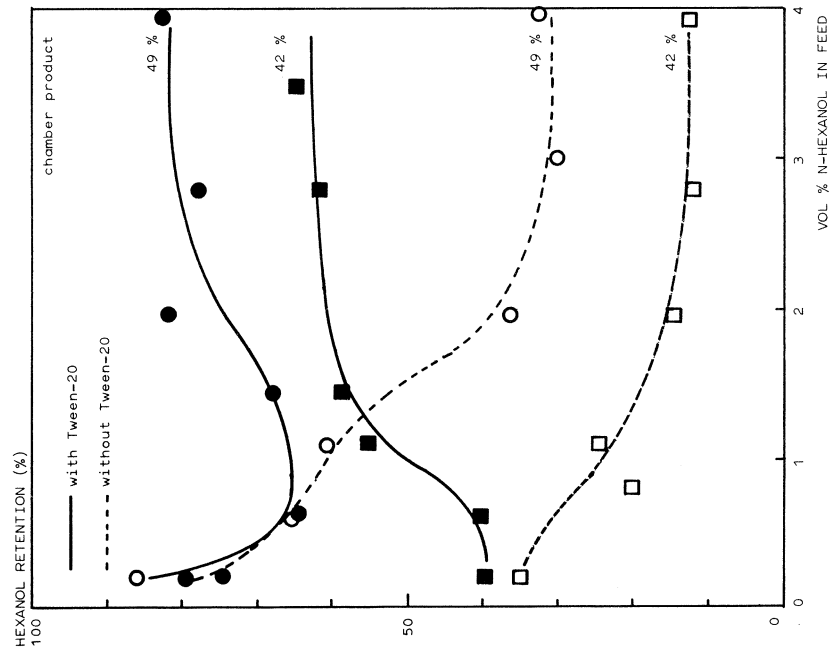


Fig. 18. — Effect of initial hexanol concentration and of the addition of surface-active agent on the retention of n-hexanol in spray drying

first series of experiments without the use of surface active agent the aroma droplet size is not negligible with respect to the product droplet size, and the afore-mentioned droplet motion under the influence of interfacial tension gradients may occur. If the rate of this process does not vary as strong with product droplet size as the time necessary for dry skin formation, a larger fraction of the aroma droplets will come into contact with the surface and will be lost at larger particle size.

In figure 18 the retention is given as a function of aroma concentration in the feed, with and without the addition of Tween-20. Addition of this surface active agent led to a much finer and more stable dispersion. It can be seen that without Tween-20 the retention decreases with increasing aroma concentration; this probably is due to increased aggregation and coalescence of aroma droplets. If Tween-20 is added no

appreciable agglomeration or coalescence takes place; due to the very high degree of dispersion no appreciable gradient of water and aroma concentration over the distance of an aroma droplet will occur, thus diminishing possible driving force for aroma droplet motion towards the surface. As follows from the model proposed by King and Massaldi (1974), in such a case an increase in aroma concentration only leads to a somewhat higher absolute loss of aroma by diffusion, but to a lower relative loss, so higher aroma retention. From this model also follows that the relative aroma loss by diffusion would be independent of particle size; our experimental findings that in the presence of the surface active agent the retention in the cyclone product is somewhat lower than that in the chamber product is due to the fact that in the cyclone product the fraction of expanded particles is higher than in the chamber product.

CONCLUDING REMARKS

For several industrially important drying techniques the retention of aroma components has been discussed, for homogeneously dissolved aroma components as well as for dispersed aroma components. Based on the selective diffusion theory and some simple mechanistic considerations the influence of process variables on aroma retention can be understood; for homogeneously dissolved aroma components a quantitative estimation method for aroma loss is available.

Although many of the results were obtained for model systems, the presented views are general in nature and also applicable to coffee extract. It would be of great interest to collect more experimental information on the behaviour of aromagrams during dehydration of extracts; however carefully should be distinguished between changes affected by physical losses as described here, and changes brought about by chemical reactions.

Regarding the optimization of aroma retention with respect to several process variables, several rules have been given in the previous sections. Optimization of the drying process as a whole however includes other

quality aspects as well, and economic factors. As the cost of dewatering per kg of dry product diminishes when the feed concentration is increased by less costly methods, and also the aroma retention is increased by this way of processing, it would seem attractive to go to as high a dissolved solids concentration as technically possible. However, in spray drying a high dissolved solids concentration also leads easier to thermal degradation of heat-labile components; thus an optimization of the quality should take into account both influences (Thijssen and Kerkhof, 1977). In freeze drying at high dissolved solids concentration a very dense product is obtained, which is unfavourable with regard to the handling as an instant powder. Decreasing the bulk density by foaming however leads to a lower aroma retention. This may illustrate that obtaining the highest possible aroma retention is by no means obtaining the optimum process or process condition; understanding however of the factors influencing aroma loss may make the burden of optimization of dehydration processes for coffee extracts a little less heavy.

REFERENCES

1. P. CAPELLA, G. LERCKER, C. R. LERICI. — 1974, Proceedings of the IVth Int. Congress on Food Sci. and Technol., Madrid, vol. IV, 235.
2. S. K. CHANDRASEKARAN, C. J. KING. — 1972a, *AICHEJ*, **18**, 513.
3. S. K. CHANDRASEKARAN, C. J. KING. — 1972b, *AICHEJ*, **18**, 520.
4. J. CHIRIFE, M. KAREL, J. M. FLINK. — 1973, *J. Food Sci.*, **38**, 671.
5. J. M. FLINK. — 1969, Ph. D. Thesis, Massachusetts Inst. of Technol.
6. J. M. FLINK, F. GEJL-HANSEN. — 1972, *J. Agr. Food Chem.*, **20**, 69.
7. J. M. FLINK, F. GEJL-HANSEN, M. KAREL. — 1973, *J. Food Sci.*, **38**, 1174.
8. J. M. FLINK, F. GEJL-HANSEN. — 1976, Private communication.
9. J. M. FLINK, M. KAREL. — 1969, 66th Ann. Meeting AICHE, November, Washington DC.
10. J. M. FLINK, M. KAREL. — 1970, *J. Agric. Food Chem.*, **18**, 295.
11. S. A. GOLDBLITH, L. REY, W. W. ROTHMAYER (editors). — 1975, *Freeze Drying and Advanced Food Technology*. Academic Press, London.
12. G. KAYAERT. — 1974, Ph. D. Thesis, Cath. Univ. of Leuven, published in *Agricultura*, **22** (2).

13. G. KAYAERT, P. TOBBACK, E. MAES, J. M. FLINK, M. KAREL. — 1975, *J. Food Technol.*, **10**, 11.
14. P. J. A. M. KERKHOF. — 1975, Ph. D. Thesis, Eindhoven Univ. of Technol.
15. P. J. A. M. KERKHOF, W. J. A. H. SCHOEBER. — 1974, in A. SPICER, ed., *Advances in Preconcentration and Dehydration of Foods*, Appl. Sci. Publ. Ltd, London 349.
16. P. J. A. M. KERKHOF, H. A. C. THIJSSSEN. — 1975, *Proceedings of the Int. Symp. Aroma Research*, Zeist, Pudoc, Wageningen, 167.
17. P. J. A. M. KERKHOF, H. A. C. THIJSSSEN. — 1977, *AIChE Symp. Ser.*, **73** (163), 33.
18. P. J. A. M. KERKHOF, H. A. C. THIJSSSEN. — 1978, unpublished results.
19. M. KAREL. — 1973, *CRC Crit. Revs. Food Technol.*, **2**, 217.
20. C. J. KING. — 1971, *Freeze Drying of Foods*, CRC Press, Chemical Rubber Company, Cleveland.
21. C. J. KING, H. A. MASSALDI. — 1974, *Proceedings of the IVth Int. Congr. Food Sci. & Technol.*, Madrid, vol. IV, 183.
22. H. A. MASSALDI, C. J. KING. — 1974a, *J. Food Sci.*, **39**, 438.
23. H. A. MASSALDI, C. J. KING. — 1974b, *J. Food Sci.*, **39**, 445.
24. L. C. MENTING. — 1969, Ph. D. Thesis, Eindhoven Univ. of Technol.
25. L. C. MENTING, B. HOOGSTAD, H. A. C. THIJSSSEN. — 1970a, *J. Food Technol.*, **5**, 127.
26. L. C. MENTING, B. HOOGSTAD, H. A. C. THIJSSSEN. — 1970b, *J. Food Technol.*, **5**, 111.
27. E. E. PETERSEN, J. LORENTZEN, J. FLINK. — 1973, *J. Food Sci.*, **38**, 119.
28. L. R. REY, M. C. BASTIEN. — 1962, *Freeze Drying of Foods*. National Academy of Science - National Research Council, Washington.
29. W. H. RULKENS, H. A. C. THIJSSSEN. — 1972a, *J. Food Technol.*, **7**, 95.
30. W. H. RULKENS, H. A. C. THIJSSSEN. — 1972b, *J. Food Technol.*, **7**, 79.
31. H. A. C. THIJSSSEN. — 1965, *Inaugural Address*, Eindhoven University of Technology.
32. H. A. C. THIJSSSEN. — 1972, 4th European Symposium « Food », Frankfurt, October 25-28. *Dechema Monographien*, **70**, 353.
33. H. A. C. THIJSSSEN. — 1975, in GOLDBLITH, *loc. cit.*
34. H. A. C. THIJSSSEN, P. J. A. M. KERKHOF. — 1977, in *Physical, Chemical and Biological Changes in Food caused by Thermal Processing*. Ed. Høyem, T. & Kvåle, Appl. Sci. Publ., 10.
35. H. A. C. THIJSSSEN, W. H. RULKENS. — 1968, *De Ingenieur*, **80**, Ch. 45.

KERKHOF (P. J. A. M.). — **Préservation des composants de l'arôme au cours du procédé de séchage des extraits.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 235-248, fig., réf.

La rétention des arômes présente une importance primordiale pour la qualité du produit en poudre. Il est possible d'éviter des pertes importantes d'arôme volatil en optimisant les conditions du procédé. Les procédés de séchage (atomisation ou lyophilisation) ont pour effet que ces arômes sont essentiellement perdus par diffusion à travers le produit. A des concentrations d'eau faibles, le coefficient de diffusion de l'arôme est plus faible que celui de l'eau ; il s'ensuit que rapidement la surface extérieure de la particule se comporte comme une barrière semi-perméable à travers laquelle seule l'eau peut être transportée à une rapidité suffisante. Cette théorie de la diffusion sélective, établie par Thijssen, permet de prévoir les effets des paramètres technologiques sur la rétention d'arôme au cours du séchage des extraits de café, en particulier une méthodologie simple permet de caractériser la perte d'arôme lors de l'atomisation. Une approche théorique récente considère une phase dispersée comprenant les constituants aromatiques présents dans l'extrait ; des systèmes modèles seront décrits et leur comportement étudié dans les deux modes de séchage.

L'optimisation des procédés de séchage sera envisagée en incluant l'influence des paramètres technologiques sur la dégradation thermique de substances délicates et sur la densité au remplissage de l'extrait en poudre.

KERKHOF (P. J. A. M.). — **Preservation of aroma components during the drying process of extracts.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 235-248, fig., réf.

In the drying of coffee extract the retention of aroma compounds is of the utmost importance for product quality. Although the majority of these components are very volatile with respect to water, they may be retained during drying to a very high extent under favourable process conditions. This is caused by the fact that for a considerable part in the common dehydration processes for coffee extract, freeze drying and spray drying, aroma loss is governed by diffusion inside the material rather than by volatility of the components. Since at low water concentrations the diffusion coefficient of aroma is considerably lower than that of water, after some time the already dry surface of a drying specimen will behave like a semi permeable membrane through which only water can be transported at an appreciable rate. On the basis of this selective diffusion theory, as conceived by Thijssen, the effect of process variables on aroma retention is discussed for spray drying and freeze drying ; the discussion includes a simple estimation method for aroma loss in spray drying. A very recent subject of research has been the study of aroma compounds present in the extract as a dispersed phase ; based upon experiments with model systems for both drying techniques consequence for the drying of coffee extract are discussed.

From the foregoing conclusions are drawn with respect to the optimization of drying processes, including also the effects of process variables on thermal degradation of heat-labile compounds and on bulk density.

CRITERIA FOR SENSORY EVALUATION OF COFFEE BEVERAGE

Critères pour l'évaluation sensorielle du café-boisson



R. M. PANGBORN

Professor of Food Science,
University of California, Davis

The pleasant sensory characteristics of coffee have contributed greatly to the universal acceptance of this important beverage. For centuries, the critical palates of expert coffee judges have determined the sensory quality, and hence the price, of roasts and blends of coffee throughout the world. Only recently, have analytical techniques been developed to characterize and quantify the sensory properties of experimental coffee beverages in the research laboratory.

In this presentation, the multiple criteria developed for measuring alterations in the visual and the flavor characteristics of coffee beverage will be discussed, with relation to the results obtained from the following experiments.

I. Influence of water composition (1, 2)

Coffee was brewed to two levels of extracted solids, 0.90 % and 1.0 % using distilled water and six natural drinking waters ranging from 0.8 to 1725 ppm total dissolved solids. In addition, coffee was prepared from experimental solutes containing 750 ppm of each of eight mineral compounds which commonly occur in ground water — CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , and NaHCO_3 . Visual characteristics were compared with transreflectance measurements from a differential colorimeter, while flavor characteristics were compared with the extracted solids and pH of the beverages. Brews made from distilled, soft, and hard waters were analyzed by gas-liquid chromatography, and trained judges described the sensory attributes of aromas from the effluent.

Le caractère plaisant du goût de café a contribué à l'utilisation du café-boisson dans le monde entier. Pendant des siècles, des experts ont dégusté les échantillons de café pour définir le prix de vente, établir le degré de torréfaction et réaliser des mélanges agréés par les consommateurs. Récemment des méthodes analytiques ont été appliquées pour caractériser de manière objective des cafés-boissons au niveau de la recherche.

Les critères utilisés pour définir les altérations de couleur et de flaveur seront décrits en relation avec les paramètres suivants :

I. Influence de la qualité de l'eau utilisée pour l'infusion (1, 2)

Le café a été infusé à deux niveaux de concentrations en solides extraits (0,90 et 1,0 %) en utilisant de l'eau distillée et six échantillons d'eaux de table présentant diverses teneurs en sels minéraux (de 0,8 à 1725 ppm). Le café a été aussi infusé par de l'eau contenant, à raison de 750 ppm, l'un des sels minéraux communément trouvés dans les eaux de table (CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 et NaHCO_3). L'apparence de la boisson a été évaluée visuellement et par colorimétrie ; les jugements de flaveur ont été déterminés et mis en relation avec les solides extraits du café et le pH de la boisson. Les infusions préparées à partir des différents échantillons d'eau ont été évaluées par chromatographie en phase gazeuse et par des dégustateurs.

II. Influence of method of extraction, and of holding times and temperatures (3)

Four traditional extraction methods were compared: open-pot, filter cone, automatic electric percolator, and non-electric percolator, using distilled, soft, and hard waters. In the open-pot method, a sub-study was made of the influence of length of time of contact of the ground coffee with the water, i.e., 7, 21, and 49 min. at 97-99 °C, and at 79-83 °C, using both covered and uncovered pots. Using the filter cone method, a sub-study was conducted of holding temperatures, 60, 80, and 95 °C, with measurements made after « 0 », 1, 2, 3, 4, and 5 hours of holding.

III. Intercomparison of sensory methods: temporal characteristics, discrimination, perceived intensity, and degree of liking for sweetness in coffee beverage (4)

Instant coffee containing 0, 2.5, 5.0, 7.5, or 10 % sucrose was evaluated. In addition, both instant and brewed coffees were judged utilizing a newly-developed « time-intensity » technique wherein the strength of sweetness, bitterness, and coffee flavor were measured onto a recorder chart which monitored time. The latter technique resulted in graphics of the temporal patterns of the initiation of the sensation, the duration, and extinction point, while the coffee was in the mouth, and after expectoration.

II. Influence du mode d'extraction, de la durée de contact du café moulu avec l'eau et de la température d'extraction (3)

Quatre méthodes d'infusion (en pot, filtration, percolation automatique, percolation non automatique) ont été mises à l'épreuve en utilisant diverses qualités d'eau (distillée, douce, dure). L'infusion en pot a été aussi suivie en appliquant diverses durées d'extraction (7, 21, 49 mn) à diverses températures (97-99 °C, 79-83 °C) en utilisant ou non un couvercle. L'infusion-filtre a été aussi suivie sous diverses conditions de température (60, 80, 95 °C) et de durées de contact (« 0 », 1, 2, 3, 5 h).

III. Comparaison de méthodes sensorielles: caractéristiques de durée, discrimination, intensité de perception, degré d'appréciation de la douceur sucrée dans le café-boisson (4)

Des cafés instantanés reconstitués ont été dégustés avec diverses quantités de saccharose (0 ; 2,5 ; 5,0 ; 7,5 ; 10 %). Des infusions de café et des cafés instantanés ont été jugés en utilisant une nouvelle technique d'appréciation (intensité en fonction de la durée de la perception) dans laquelle le caractère sucré, l'amertume, la flaveur du café ont été reportés sur un papier d'enregistrement en fonction de la durée de perception. On a obtenu ainsi des représentations graphiques dans lesquelles sont reportées le début de la perception, la durée de perception, la disparition de la perception lorsque le sujet conserve le café dans la bouche ou après qu'il l'ait recraché.

(1) PANGBORN (R. M.), TRABUE (I. M.), LITTLE (A. C.). — Analysis of coffee, tea and artificially flavored drinks prepared from mineralized waters. *Journal Food Science*, **36**, (2), 355-362, 1971.

(2) TASSAN (C. G.), RUSSELL (G. F.). — Sensory and gas chromatographic profiles of coffee beverage headspace volatiles entrained on porous polymers. *Journal Food Science*, **39**, (1), 64-68, 1974.

(3) RUSSEL (G. F.), HSU (C. M.), PANGBORN (R. M.). — Instrumental evaluation of color and of volatiles in coffee beverage. Unpublished manuscript, University of California, Davis, 1974.

(4) LUNDGREN (B.), JONSSON (B.), PANGBORN (R. M.), SONTAG (A. M.), BARYLKO-PIKIELNA (N.), PIETRZAK (E.), GARRUTI (R. d. S.), MORAES (M. A. C.), YOSHIDA (M.). — Taste discrimination vs hedonic response to sucrose in coffee beverage. An interlaboratory study. *Chemical Senses and Flavour*, **3**, (3), 249-265, 1978.

INFLUENCE, SUR L'AMERTUME D'UN CAFÉ-BOISSON, DE QUELQUES PARAMÈTRES D'EXTRACTION

Dans la consommation d'un café-boisson, les caractéristiques organoleptiques jouent un rôle primordial. Ces caractéristiques sont souvent difficiles, sinon impossibles à quantifier par des méthodes physico-chimiques.

Dans le présent travail, on a cherché d'une part à évaluer l'influence sur l'amertume (dosée sensoriellement) de quelques paramètres opératoires d'extraction et, d'autre part, à comparer l'évolution de l'amertume à celles d'autres propriétés organoleptiques (arôme, parfum) ou physico-chimiques (extrait sec, taux d'extraction et caféine).

L'amertume est évaluée sensoriellement en comparaison avec des solutions de caféine. Cet indice est discutable : on connaît des cafés très riches en caféine qui ne sont pas spécialement amers et des cafés pauvres en caféine qui le sont (Wilbaux, 1964). Cependant, cet indice est fréquemment utilisé, même pour les denrées autres que le café : ainsi Kefford (1962) utilise la caféine pour déterminer l'équivalent en amertume de l'orange. Les substances responsables de l'amertume n'ont pas toutes été identifiées : un mascaroside a été isolé dans un café sans caféine présentant un goût très amer (de Rostolan, 1973).

Le complexe « parfum-arôme » est examiné seulement par voie sensorielle, car, dans ce cas également, on ne connaît pas la ou les substances responsables de la flaveur du café. Environ cinq cent trente composés volatils ont pu être isolés et identifiés actuellement dans le café torréfié (Vitzthum *et al.*, 1976).

A. VOILLEY, F. SAUVAGEOT, D. DURAND

ENSBANA, Dijon



A. Voilley

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La préparation du café-boisson

La méthode utilisée pour la préparation du café-boisson est l'infusion (la mouture est mise en contact avec l'eau pendant un temps déterminé et la filtration est rapide).

— Les grains de café vert (100 % Arabica, origine = 80 % en provenance du Cameroun, 20 % de Haïti et de Colombie) sont **torréfiés** de façon standard. Les grains sont ensuite conservés à - 45 °C dans un emballage étanche jusqu'à leur utilisation.

— Les grains torréfiés sont **moulus** peu avant l'essai dans un broyeur à meules (Malkonig) ; la répartition

granulométrique de la mouture est donnée dans le tableau I.

Comme le recommande le Comité National Français de la Commission Electrotechnique Internationale (février 1974), seule la mouture comprise entre 0,2 et 0,8 mm est utilisée pour la fabrication du café-boisson.

— La mouture est alors versée dans un cylindre à double enveloppe sur une quantité d'eau fixe (*) : 100 ml, portée préalablement à la température désirée,

(*) Les expérimentations ont été réalisées avec de l'eau de Volvic

Tableau I. — Répartition granulométrique

Taille des tamis (mm)	Mouture retenue par les tamis (%)	Répartition de la granulométrie dans la mouture utilisée (%)
> 0,800	16,0	-
0,630	18,5	22,0
0,500	31,5	37,5
0,315	29,0	34,5
0,200	5,0	6,0
< 0,200	traces	-

celle-ci étant repérée au moyen d'un thermocouple cuivre-constantan relié à un enregistreur.

— Lorsque la durée de contact souhaitée est atteinte, le mélange mouture-eau est libéré sur un dispositif de filtration où la séparation est réalisée de façon quasi instantanée.

— La **filtration** est effectuée sous vide (20 Torr) sur filtre Whatman 111, la mouture la plus grossière étant préalablement retenue sur deux grilles (maille 2 mm et 0,5 mm de diamètre) ; selon la quantité de mouture mise en cause, le temps de filtration varie de sept à dix secondes.

— Le volume de café-boisson est noté. Si des sédiments sont observés, une **nouvelle filtration** est effectuée sur papier filtre Whatman 115.

Les techniques d'analyse physico-chimique

— Extrait sec = ES (en grammes de matière sèche pour 1 litre de café-boisson). 10 ml de café-boisson exactement mesurés ($\pm 0,1$ ml) sont versés dans une capsule préalablement tarée et mis à l'étuve à 105 °C pendant 270 mn. La capsule est ensuite pesée.

Pour des conditions identiques de préparation, les variations observées au niveau des cafés sont inférieures à 5 %.

— Le taux d'extraction ou TE (%) est déterminé selon la formule :

$$TE = \frac{ES \times \text{volume recueilli (l)}}{\text{poids de mouture (g)}} \times 100$$

— La caféine est dosée par chromatographie en phase gazeuse d'après la technique de Vitzthum *et al.* (1974) (*). 1 ml de café-boisson est versé dans une fiole de 50 ml et additionné de 20 ml d'une solution aqueuse de 5 aminoquinoléine (0,988 mg pour 10 ml de solution), cette substance sert d'étalon interne. Après complément à 50 ml avec de l'eau, 2 μ l sont injectés en tête de colonne (chromosorb G-HP-AW-HMDS traité, 100-120 mesh, imprégné de 2 % de Carbowax 20 M, longueur 0,80 m, diamètre 1/8").

(*) Les dosages ont été effectués par l'IFCC (Institut Français du Café et du Cacao), BP 5035, 32032 Montpellier Cedex

Nous remercions vivement MM. Vincent et Guyot de leur collaboration

L'évaluation sensorielle de l'amertume

— **Les juges** : l'amertume est évaluée par sept juges (six hommes, une femme, âge : 20-25 ans)

• **sensibles** à de la caféine dans de l'eau à une **concentration** de 200 mg/l ; la technique consiste en une épreuve d'arrangement de cinq verres en deux groupes, un groupe « eau » et un groupe « solution amère ». Les cinq verres sont :

— soit trois verres d'eau et deux verres de solution de caféine ;

— soit deux verres d'eau et trois verres de solution de caféine ;

le juge ne sait pas à l'avance laquelle de ces deux éventualités est réalisée, de sorte que la probabilité d'une réponse correcte sous l'effet du seul hasard est de 0,05. Toute erreur est interprétée comme un défaut de sensibilité et entraîne une élimination du juge.

• **sensibles** à une **différence de concentration** de 30 % entre deux solutions de caféine ; la technique consiste en une épreuve de classement de sept solutions, la solution la plus faible étant à 250 mg/l et la plus forte à 1.206 mg/l (soit une raison de 1,30) ; une seule inversion entre deux verres adjacents est tolérée (par exemple 1-2-4-3-5-6-7 mais non 1-4-2-3-5-6-7).

— **L'épreuve** : l'amertume est évaluée à l'aide d'une gamme (voir questionnaire, figure 1) de dix solutions de caféine dans l'eau, la raison de la progression étant de 1,30 (soit un rapport très légèrement supérieur à 10 entre les solutions concentrées le plus fortement et le plus faiblement). Le sujet est invité à placer les essais à l'intérieur de la gamme ; les résultats s'expriment donc en équivalents (g/l) de caféine dans l'eau.

Les échantillons de café-boisson sont en général dilués cinq fois pour éviter les phénomènes de saturation sensorielle.

Pour un café-boisson dilué cinq fois, la concentration de la gamme de référence va de 0,55 g/l de caféine à 5,82 g/l ; quand le café-boisson n'est pas dilué, elle s'étend de 1,57 g/l à 16,62 g/l.

Cette technique a été préalablement comparée à celle de « Magnitude Estimation » ; elle lui a été préférée pour deux raisons :

— elle semble aux juges moins pénible,

— elle donne des résultats moins dispersés (tableau II, p. 254).

Les résultats d'une approche de la qualité des mesures sensorielles obtenues sur sept sujets sont présentés dans le tableau III (p. 254).

ÉVALUATION DE L'INTENSITÉ AMÈRE DE SOLUTIONS INCONNUES

Il vous est demandé de placer un certain nombre d'échantillons inconnus dans une gamme de concentration connue.

I. — LA GAMME DE RÉFÉRENCE

Les verres 1 à 10 contiennent dix solutions amères toutes différentes.

Le caractère amer de ces solutions croît du verre 1 au verre 10.

Goûtez ces solutions afin de repérer leur intensité amère.

Vous pouvez vous limiter à apprécier l'intensité amère des solutions 1, 3, 5, 7, 9, les solutions 2, 4, 6, 8 étant intermédiaires entre ces solutions.

II. — LES SOLUTIONS INCONNUES

Lorsque vous avez repéré l'intensité amère des solutions de la gamme, vous êtes prêts pour apprécier l'intensité des solutions inconnues.

Vous procédez comme suit :

- Vous goûtez l'échantillon à évaluer en premier
- Vous repérez dans la gamme la position approximative de l'échantillon
- Par essais successifs vous cherchez la solution de la gamme d'intensité identique
- Si vous estimez qu'il y a égalité entre cette solution et l'échantillon inconnu, vous l'indiquez sur la feuille en notant le numéro de la solution de la gamme
- S'il n'y a pas égalité, vous indiquez entre quels échantillons de la gamme se situe l'échantillon inconnu avec trois possibilités :
 - l'inconnu semble à mi-distance entre les deux échantillons (par exemple 3 - 4)
 - l'inconnu semble plus près de l'échantillon de gauche (par exemple 3 +)
 - l'inconnu semble plus près de l'échantillon de droite (par exemple 4 -)

— **Température des échantillons** : deux températures ont été essayées : 20 et 55 °C (± 1 °C), cette dernière température est obtenue à l'aide de bains-marie (individuels) recouverts d'une plaque de polystyrène destinée à limiter l'évaporation de l'eau et à recevoir les échantillons grâce à des orifices pratiqués dans l'épaisseur. Les échantillons de la gamme, comme les essais, sont portés à 20 et 55 °C.

— **Autres modalités** : les échantillons, non sucrés, sont présentés dans des verres de 15 cm³.

Les échantillons sont codés avec trois chiffres. L'ordre de prise est fixé par l'expérimentateur de manière à réaliser un dispositif expérimental équilibré.

La durée des séances est limitée à 20 mn, ce qui permet d'évaluer quatre ou cinq échantillons ; du pain, de la pomme et de l'eau permettent au juge un rinçage de la bouche entre les différents échantillons.

Les sujets sont isolés les uns des autres ; la lumière est une lumière artificielle jaune et la température de la pièce est voisine de 20 °C.

L'évaluation sensorielle de la composante olfactive (parfum, perçu avec l'air inspiré ; l'arôme, perçu par voie rétro-nasale)

La composante olfactive est évaluée par trois juges (deux hommes, une femme, âge 20-22 ans) choisis pour leur aptitude à reconnaître des arômes en solutions pures ou en mélanges et à classer sept solutions d'acétate d'isoamyle (de raison 1,5 dans la plage 30 ppm - 341 ppm).

L'évaluation des cafés-boissons est faite au moyen d'une succession d'épreuves par paire : le juge est invité à déterminer dans chaque paire l'échantillon qui lui semble, en **intensité**, le plus parfumé ou le plus aromatique ; pour éviter l'effet d'association, l'examen de l'arôme porte sur une paire différente de celle utilisée pour le parfum. Chaque café-boisson est comparé à tous les autres, soit donc — pour douze échantillons — onze comparaisons élémentaires par juge et trente-trois comparaisons pour trois juges ; chaque comparaison étant répétée six fois par chacun des juges, le nombre total de comparaisons est finalement de 396 (198 : parfum, 198 : arôme).

La température des échantillons est fixée à + 55 °C ; l'appareillage utilisé pour l'amertume est utilisé pour le complexe parfum-arôme.

Les évaluations se sont déroulées sur trois jours à raison de quarante-quatre épreuves par paire, par jour et par juge ; ces quarante-quatre épreuves sont réparties en trois périodes de 120 mn, soit une épreuve toutes les dix minutes. A signaler que les juges (étudiants de biologie) contrôlent eux-mêmes la température des échantillons.

Fig. 1. — Questionnaire

Tableau II. — Comparaison (*) entre la technique de rangement dans une gamme (G) et la technique de magnitude estimation (ME)

	Valeur vraie g/l		Moyenne expérimentale (g/l)	Erreur (%)	Coefficient de variation (%)
Solution de caféine dans l'eau	3,16	G	3,99	26	39
		ME	2,56	19	54
	7,95	G	8,49	7	27
		ME	8,71	10	27
11,95	G	11,02	8	20	
	ME	12,52	5	38	
Café soluble					
25 g/l		G	9,49		38
		ME	9,88		57
25 g/l + 8 g/l de caféine		G	13,46		21
		ME	11,13		67
Café infusé					
30 s		G	9,12		33
		ME	7,03		48
3 mn		G	10,28		35
		ME	11,02		66

*Sur dix-huit sujets avec deux répétitions par sujet. Neuf solutions sont utilisées comme référence dans la technique de la gamme et comme étalon dans la technique "Magnitude Estimation" (les concentrations de ces solutions sont les suivantes : 2,29 - 3 - 3,93 - 5,16 - 6,76 - 8,87 - 11,63 - 15,25 - 20 g/l).

Source : Bernier et al., 1976.

Tableau III. — Estimation de l'amertume de solutions de caféine pures ou non

		Moyenne expérimentale (g/l)*	Erreur (%)	Coefficient de variation (%)
Solution de caféine à	11,31 g/l ⁽¹⁾	11,42	1	17
	4,48 g/l ⁽¹⁾	3,96	12	11
	1,21 g/l	1,17	3	12
Solution de caféine à 1,21 g/l avec addition d'un arôme artificiel de café				
	1 % en poids	0,86		43
	2 % en poids	0,80		52
Café filtre ⁽¹⁾		10,75		53
Café filtre + caféine 6 g/l		15,68		36

*Sur sept sujets et une répétition par sujet.

(1) La gamme de référence est celle indiquée pour un café non dilué.

RÉSULTATS

La manière dont sont combinés les paramètres étudiés : température d'infusion, proportion mouture-eau, durée d'infusion est rapportée dans le tableau IV.

Les conditions optimales pour préparer de grandes quantités de café, d'après Niven (1957) sont : une

durée d'infusion de 1 à 15 mn et une température comprise entre 79 et 96 °C. Les valeurs satisfaisantes du taux d'extraction seraient comprises entre 18 et 22 % d'après Coste (1960).

Tableau IV

Température d'infusion (°C)	Proportion mouture-eau (%)	Durée d'infusion (mn)	Extrait sec (g/l)	TE (%)
70 (dégusté à 20 et 55°C)	10	1	20,3	14,45
		5	22,3	16,05
		10	22,6	16,21
	12	1	23,5	15,2
		5	25,7	14,95
		10	27,0	16
85	10	1	21	15,75
		5	22,8	16,80
		10	23,2	16,70
	12	1	24,9	15,05
		5	27,9	15,80
		10	28,2	15,85

Evaluation sensorielle de l'amertume

Influence de la dilution

La dilution du café-boisson de 1 à 5 entraîne un abaissement de « l'intensité de l'amertume » (S (*)) d'un facteur de l'ordre de 9 à 10.

Le même résultat est obtenu avec des échantillons de café soluble de différentes concentrations (fig. 2).

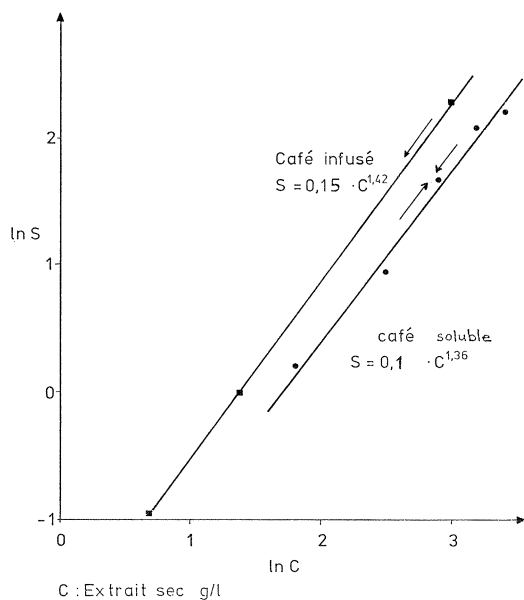


Fig. 2. — Amertume estimée de cafés-boissons en fonction de l'extrait sec (technique de la gamme)

(*) La sensation S est exprimée en sensation équivalente à une solution de caféine dans l'eau à x g/l.

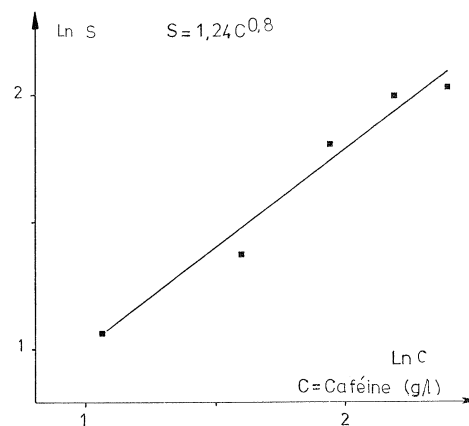


Fig. 3. — Amertume estimée de cafés-boissons en fonction de la quantité de caféine ajoutée (technique de la gamme)

(1) La valeur caféine du café-boisson de départ a été estimée par évaluation sensorielle

En revanche, pour des cafés-boissons additionnés de caféine, la dilution de 1 à 5 entraîne un abaissement de « l'intensité de l'amertume » d'un facteur 4 seulement (fig. 3).

La caféine ajoutée au café-boisson ou contenue dans l'extrait sec du café se comporte donc de façon différente de la caféine dans l'eau.

Influence des conditions d'extraction

— la saveur amère augmente (fig. 4) avec la durée d'infusion, quand celle-ci passe de 1 à 5 mn et ceci quelles que soient les autres conditions. En revanche, elle reste constante entre 5 et 10 mn.

— la saveur amère augmente également quand la température d'infusion et la proportion mouture-eau augmentent. Toutefois, l'interaction significative (tableau V) entre ces deux paramètres traduit un

Tableau V. — Analyse de la variance (*) des résultats donnés figure 4

	Nombre de degrés de liberté(1)	F calculé	F théorique	
Variations totales	239		seuil 5 %	seuil 1 %
Variations entre températures	1	6,79	» 3,89	» 6,76
Variations proportion mouture-eau	1	4,46		
Variations durées	2	7,07	» 3,04	» 4,71
Intéractions température-durée	2	< 1		
Intéractions température-proportion mouture-eau	1	6,36		
Intéractions proportion mouture-eau-durée	2	< 1		
Intéractions température-durée-proportion mouture-eau	4	< 1		
Variations résiduelles	225			

*La variable "amertume" est supposée normale et les variances homogènes, ce qui est vérifié en première approximation

(1) Sur chaque type de café-boisson (préparé trois fois) vingt réponses ont été obtenues (20 x 12 = 240 réponses et donc 239 degrés de liberté)

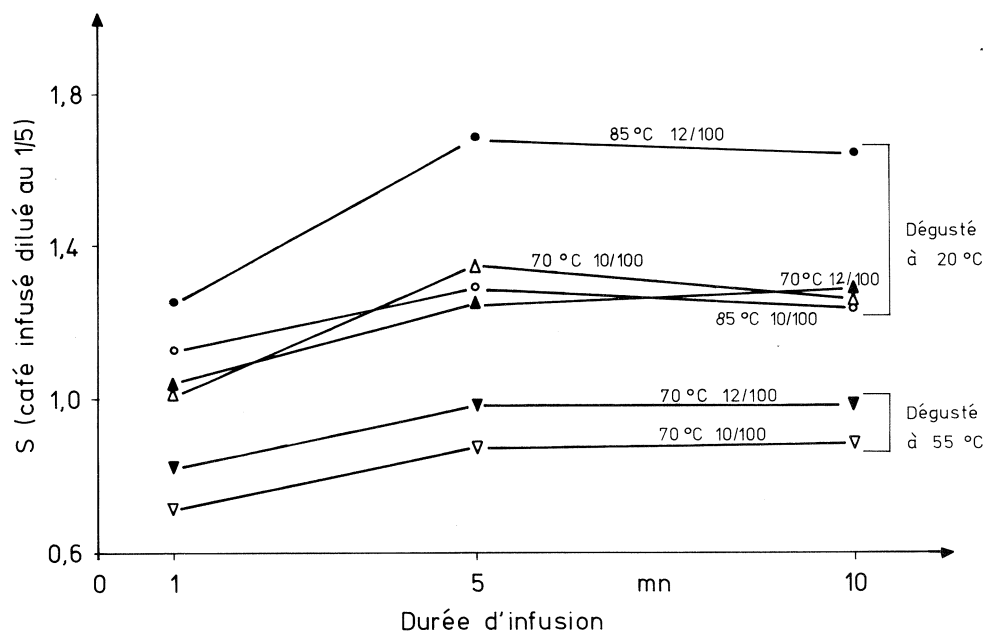


Fig. 4. — Influence sur l'amertume du temps d'infusion, des températures et de la proportion mouture-eau

comportement différent selon les niveaux de température et de proportion mouture-eau : le café préparé à 85 °C et 12/100 apparaît beaucoup plus amer que les trois autres cafés (85 °C-10/100, 70 °C-12/100, 70 °C-10/100).

— L'amertume diminue quand la température d'évaluation passe de 20 à 55 °C, cette diminution de S est de l'ordre de 25 % (tableau VI). Puisque la gamme de référence est également portée à 55 °C, cette diminution ne peut pas s'expliquer par une variation de la sensibilité des sites récepteurs avec la température ; peut-être peut-on l'attribuer à un phénomène de mas-

quage, dû au développement de l'arôme, quand la température augmente. Un fait peut être versé à l'appui de cette hypothèse : l'addition d'arôme à une solution de caféine (tableau III) entraîne une diminution de l'amertume perçue. Un autre moyen de diminuer l'amertume d'un café-boisson est d'ajouter du saccharose (Pangborn, 1960).

Nous avons également observé ce phénomène par la technique de « Magnitude Estimation » avec des solutions aqueuses de caféine (par exemple 8 g/l) auxquelles on ajoute 40 g/l de saccharose : l'abaissement de la saveur amère est d'un facteur 11.

Tableau VI

	Amertume estimée à 20° C	Amertume estimée à 55° C	Diminution observée (%)
70° C - 10/100			
- 1 mn	1,00	0,71	28
- 5 mn	1,01	0,86	15
- 10 mn	1,34	0,89	34
70° C - 12/100			
- 1 mn	1,03	0,83	20
- 5 mn	1,25	1,00	19
- 10 mn	1,28	0,95	25

L'amertume perçue et la teneur en caféine

Il n'y a pas de corrélation significative entre l'amertume perçue sensoriellement et la quantité de caféine (g/l) dosée par chromatographie en phase gazeuse (fig. 5). Le coefficient de corrélation est de 0,47 (valeur significative au seuil de 5 % = 0,50 dans le cas d'une hypothèse unilatérale).

La caféine n'est pas la composante principale responsable de l'amertume du café. Elle n'intervient que pour 10 % environ de l'amertume : ainsi, l'amertume estimée d'un café-boisson (1 mn d'infusion-70 °C-10/100) est de 10,1 g/l équivalent caféine et la teneur en caféine « réelle » est de 0,92 g/l.

L'amertume et la composante olfactive perçue

Le complexe parfum-arôme suit une évolution opposée à celle de l'amertume : ainsi le signe du coefficient de corrélation de Spearman calculé sur les rangs « intensité amertume » et « intensité parfum-arôme » (tableau VII) est négatif. La valeur de ce coefficient (- 0,55) n'est toutefois pas significative (au seuil de 5 %) bien qu'elle soit très proche de la valeur seuil (0,59).

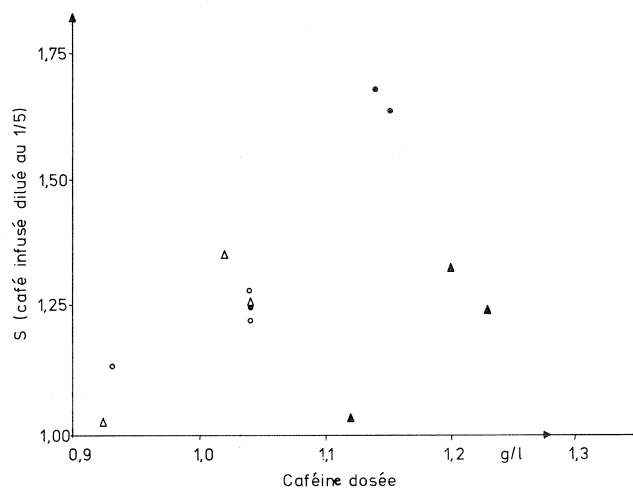


Fig. 5. — Amertume estimée des cafés-boissons en fonction de la teneur en caféine (mêmes symboles que figure 4)

Tableau VII. — Classement des différents cafés-boissons (*)

Température d'infusion (°C)	Proportion mouture-eau	Durée d'infusion (mn)	Amertume	Parfum	Arôme	Parfum+Arôme**
70	10	1	12	1	2	1
		5	3	8	11	8
		10	5	11	12	12
	12	1	11	3	1	2
		5	8	6	5	6
		10	6	6	8,5	7
85	10	1	10	4	6	4
		5	4	9	10	9
		10	9	12	8,5	11
	12	1	7	2	4	3
		5	1	6	3	5
		10	2	10	7	10

*Le rang 1 correspond au café le plus amer ou le plus parfumé ou le plus aromatique.

**Le rang "parfum+arôme" est obtenu d'après la somme des décomptes bruts parfum et arôme.

Tableau VIII. — Décompte des réponses « + » (*)

Durée d'infusion (mn)	Proportion mouture-eau		Total	Température d'infusion (°C)	
	10/100	12/100		70	85
	Parfum				
1	49	48	97	51	46
5	28	34	62	33	29
10	13	26	39	25	14
Total	90	108	198	109	89
	Arôme				
1	39	42	81	45	36
5	25	38	63	29	34
10	23	31	54	23	31
Total	87	111	198	97	101

* Pour le parfum, cent quatre-vingt-dix-huit comparaisons élémentaires ont été effectuées. Chaque comparaison élémentaire conduit à attribuer un signe "+" à l'un des échantillons. Le tableau ci-dessus donne la somme de ces signes "+" par type de café. Plus un type de café est parfumé, plus son nombre de signe "+" est élevé.

Quand la durée d'extraction augmente, l'intensité du parfum et de l'arôme diminue (tableau VIII) ; la diminution est importante entre 5 et 10 mn alors que l'augmentation était négligeable pour l'amertume.

La proportion mouture-eau semble sans effet (à la différence de l'amertume) après 1 minute d'extraction, que la caractéristique considérée soit le parfum ou l'arôme ; après cinq minutes et surtout dix minutes, l'intensité de l'arôme et du parfum est plus élevée quand la proportion mouture-eau est plus élevée (phénomène également noté avec l'amertume).

La température d'infusion intervient dans l'intensité du parfum ; ainsi le café-boisson préparé à 85 °C est significativement moins parfumé que celui infusé à 70 °C (au niveau des sommes 109/89).

L'apparition et le développement des constituants participant au parfum, à l'arôme et à l'amertume semblent donc spécifiques ; les différences observées au niveau de l'amertume ne peuvent pas être expliquées par un seul phénomène de masquage dû au développement de l'arôme.

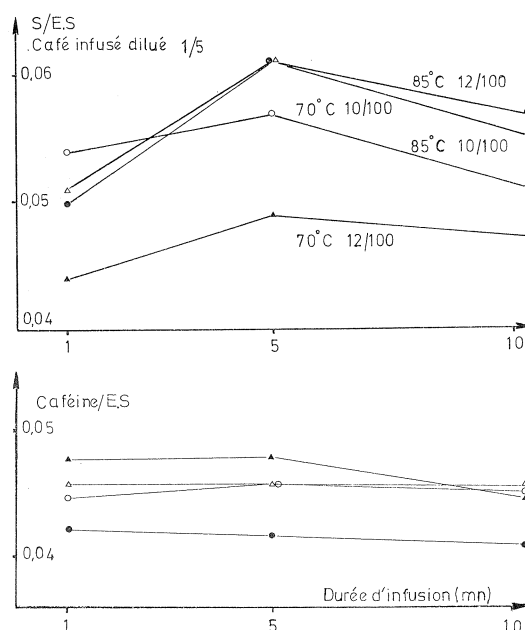
CONCLUSION

Lockhart (1957) signale l'extrait sec comme un critère quantitatif de la qualité d'une tasse de café.

Toutefois l'amertume évaluée sensoriellement et la caféine dosée chimiquement ne varient pas de la même façon par rapport à l'extrait sec (fig. 6). La teneur en caféine varie linéairement avec l'extrait sec au cours de l'infusion alors que l'amertume augmente plus vite que l'extrait sec au cours des cinq premières minutes puis légèrement moins vite. La détermination de l'extrait sec ne peut pas remplacer l'approche sensorielle ; de même le dosage chimique de la caféine n'est pas représentatif de l'amertume du café.

Pour des études ultérieures, nécessaires compte tenu de la pauvreté de la littérature concernant l'influence des conditions d'extraction sur les qualités organoleptiques du café-boisson, il conviendra donc de continuer à faire appel à l'évaluation sensorielle.

Fig. 6. — Evolution du rapport amertume sur extrait sec et teneur en caféine sur extrait sec en fonction des conditions d'extraction



BIBLIOGRAPHIE

1. E. BERNIER, P. CARRIE. — Mémoire ENSBANA, Dijon, (1976).
2. R. COSTE. — *Le limonadier de Paris*, 4, (1960).
3. F. KEFFORD (1962). — Cité dans « Principles of sensory evaluation of food » M.A. AMERINE, R.M. PANGBORN, E.B. ROESSLER, Academic press, p. 500, (1965).
4. E. LOCKHART. — The C.B.I. public, n° 27, (1957).
5. J.R. NIVEN, B.C. SHAW. — The C.B.I. public, n° 19, (1957).
6. R.M. PANGBORN. — *Fd research*, 25, 2, 245-255, (1960).
7. J. DE ROSTOLAN, M. HAMMONIERE, J. POISSON. — ASIC, 6^e Colloque, Bogota, (1973).
8. O.G. VITZTHUM, M. BARTHEL, H. KWASNY. — *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.*, 154, 135-140, (1974).
9. O.G. VITZTHUM, P. WERKHOFF. — *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.*, 160, 277-291, (1976).
10. R. WILBAUX. — Méthodes subjectives et objectives d'appréciation des caractères organoleptiques des denrées alimentaires, A 537, CNRS (Paris), (1964).

VOILLEY (A.), SAUVAGEOT (F.), DURAND (D.). — **Influence, sur l'amertume d'un café-boisson, de quelques paramètres d'extraction.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 251-259, fig., tabl., réf.

L'amertume d'un café-boisson est étudiée, pour une variété de café (Arabica), une torréfaction et une mouture standard en fonction de la proportion mouture-eau avant infusion (10/100 et 12/100), de la température (70 et 85 °C) et de la durée d'infusion (1,5 et 10 mn).

L'intensité de l'amertume est déterminée par évaluation sensorielle en comparaison avec des solutions de caféine. Pour des raisons de commodités expérimentales, les échantillons sont évalués à 20 °C (± 1 °C).

Les résultats sont exprimés en grammes de caféine pure par litre d'eau. Leur corrélation avec les teneurs en caféine réelle montre cependant que cette substance explique seulement 10 % environ de l'amertume perçue sensoriellement. L'emploi de l'indice caféine est discuté.

Ces résultats montrent que l'amertume augmente avec la proportion mouture-eau, la durée et la température d'extraction. Ils sont comparés à l'évolution de l'extrait sec et de la caféine.

Sur du café-boisson chaud (dégusté à 55 °C ± 1 °C), le classement des échantillons, quant à leur amertume, se fait dans le même sens que celui observé à froid. On note aussi que l'évolution des composantes olfactives est opposée en ce sens que le parfum et l'arôme tendent à diminuer d'intensité quand l'amertume augmente.

VOILLEY (A.), SAUVAGEOT (F.), DURAND (D.). — **Influence of some extraction parameters on the bitter taste of a coffee beverage.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 251-259, fig., tabl., réf.

The bitter taste of a coffee beverage was studied covering one variety of coffee (Arabica), one roasting and one standard ground according to the proportion of ground coffee to water to be used before infusion (10/100 and 12/100), temperature (70 and 85 °C) and the infusion duration (1.5 and 10 min.).

The degree of bitterness was determined by tasting, using solutions of caffeine as a standard of comparison. For reasons of experimental convenience, the samples were tasted at 20 °C (± 1 °C).

The results were expressed in grams of pure caffeine per liter of water. Their correlation with the actual contents of caffeine, however, shows that this substance accounts for only about 10 % of the bitterness detected by taste. The utilisation of a caffeine index is discussed.

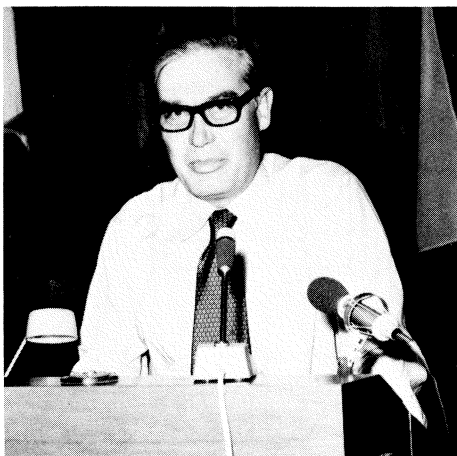
These results show that bitterness increases with an increase in the proportion of ground coffee to water and extraction duration and temperature. They are compared with the evolution of the amount of dry extract and caffeine.

A classification of samples of hot coffee beverage (tasted at 55 °C ± 1 °C), according to bitterness, was made in the same way as with the cold coffee. It was also noted that the evolution of the olfactory components was in the opposite direction, in that perfume and aroma tended to diminish in intensity as the bitter taste increased.

ETUDE DES TECHNIQUES D'INFUSION

G. PICTET, L. VUATAZ

Société d'Assistance Technique pour les Produits Nestlé



G. Pictet

INTRODUCTION

L'étude dont nous présentons les principaux résultats a été entreprise dans nos laboratoires avec deux intentions bien distinctes :

a) Etablir, pour certains équipements commerciaux, l'influence des paramètres techniques les plus importants, appliqués lors de la préparation d'une infusion du type « ménager », sur la solubilisation quantitative des constituants du café torréfié infusé.

b) Déterminer, avec l'aide d'un jury de dix dégustateurs spécialisés, l'apparition ou le renforcement des principaux caractères organoleptiques de cette infusion en fonction de la variation des paramètres déjà mentionnés. Définir ensuite, en appliquant une analyse mathématique multidimensionnelle, lesquels de ces caractères exercent une impression prépondérante sur le jugement du dégustateur individuel.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Techniques d'infusion comparées

Parmi les innombrables équipements commerciaux actuellement disponibles sur le marché, nous en avons choisi cinq, qui nous ont paru les plus représentatifs des techniques exercées :

Circulation continue d'eau

Dans le cas de l'appareil représenté en figure 1, le café est disposé dans un ballon de dégagement, placé au-dessus du récipient sphérique, où l'eau destinée à l'extraction est portée à ébullition. Dans une première

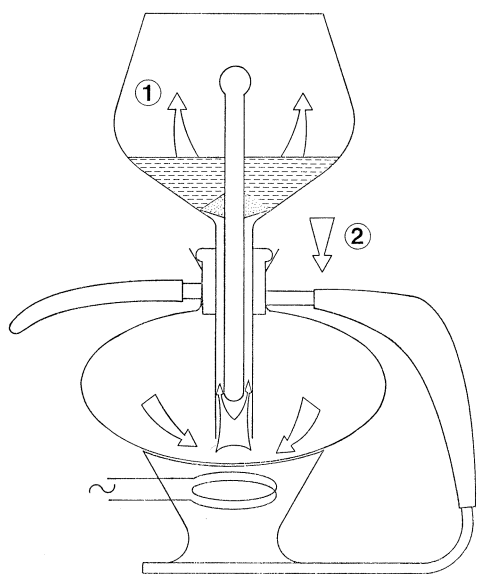


Fig. 1. — Circulation continue d'eau

phase, un contact intime est maintenu entre le café et l'eau bouillante pendant une durée plus ou moins longue, qui dépend des préférences de l'utilisateur. L'infusion réalisée est ensuite séparée du marc épuisé au moyen d'une bougie filtrante située à la base du ballon de dégagement, afin de pouvoir être consommée.

Filtration par gravité continue

L'équipement schématisé en figure 2 assure une lixiviation continue du café torréfié moulu, contenu dans un filtre adéquat, par l'eau d'extraction préalablement amenée à la température convenable. La durée du traitement, qui dépend du volume d'eau utilisé pour une quantité déterminée de café, peut atteindre une quinzaine de minutes.

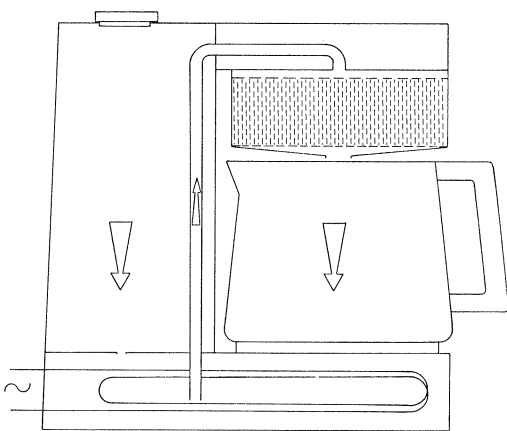


Fig. 2. — Filtration par gravité continue

Filtration par gravité sous pression

En modifiant le principe de chauffage et le système de fixation du filtre de l'équipement précédent, il est possible d'accélérer le processus de lessivage et de raccourcir d'autant la durée de l'opération, qui atteint dans les meilleurs cas une centaine de secondes ; l'appareil modifié est représenté par la figure 3.

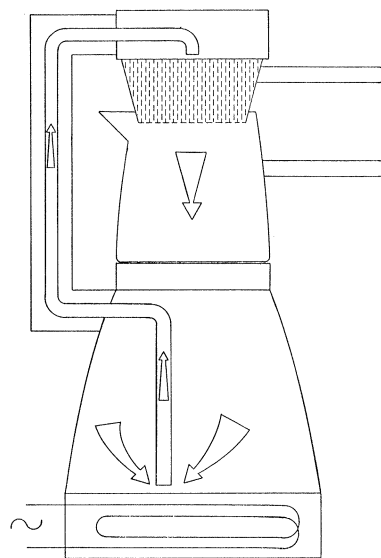


Fig. 3. — Filtration par gravité sous pression

Filtration avec recirculation

Dans le dispositif esquissé en figure 4, l'eau d'extraction vient lessiver de manière continue le café moulu placé dans un filtre, la circulation du liquide

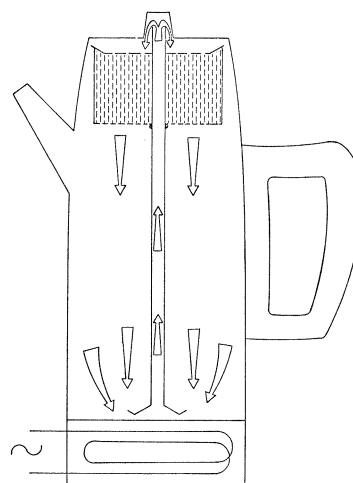


Fig. 4. — Filtration avec recirculation

étant assurée par un système de thermosiphon. Comme pour l'opération de circulation continue, la durée du traitement est fixée par l'utilisateur en tenant compte de ses préférences personnelles, la concentration en composants solubilisés de l'infusion augmentant à chaque passage.

Vaporisation sous pression

Grâce à un système de chauffage judicieux, le fluide d'extraction, amené à une température légèrement supérieure à celle de son ébullition, vient traverser le lit de café, disposé au centre de l'appareil (cf. fig. 5), avant de se détendre dans la partie supérieure de ce dernier. Dans ce cas particulier, la durée proprement dite du traitement dépasse rarement une centaine de secondes, pour un volume maximal de liquide.

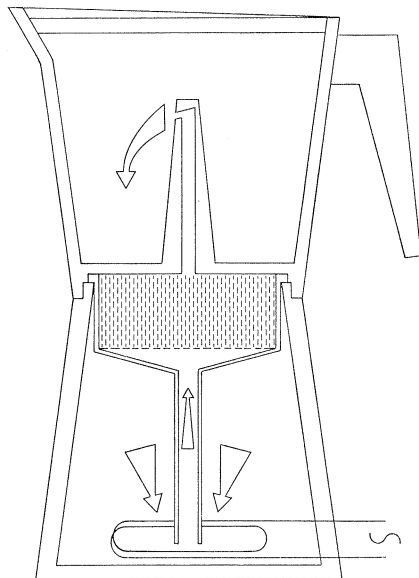


Fig. 5. — Vaporisation sous pression

Contrôles effectués

Pour chacun des équipements examinés, près de quarante infusions ont été préparées à partir d'un mélange de bonne qualité et de degré de torréfaction moyen, en modifiant, pour une quantité déterminée de café torréfié moulu, le volume d'eau utilisé pour l'extraction et le degré de mouture.

Sur les infusions à l'état liquide, dont le poids exact a été mesuré, la teneur en matière sèche globale a été estimée, ce qui permettait à chaque fois de calculer l'épuisement correspondant. Le contenu en composants volatils totaux de ces infusions a également été évalué, en mesurant l'absorption ultraviolette du condensat provenant de leur entraînement à la vapeur.

La portion de l'infusion subsistant après ces contrôles directs a été stabilisée par lyophilisation. C'est sur cette portion qu'ont été dosés les principaux constituants spécifiques du café, soit la caféine, les acides chlorogéniques, les protéines probables, les cendres, les glucides, etc. Les techniques analytiques employées pour ces dosages ont été décrites dans une communication précédente (1).

Evaluations sensorielles

Les différents contrôles exercés sur cette première série d'échantillons ont permis d'établir de manière précise le processus d'extraction s'opérant dans chacun des équipements examinés. En tenant compte des résultats obtenus, il a été possible de limiter, lors des évaluations sensorielles, le nombre des infusions représentatives soumises au jury de dégustateurs, chacune d'entre elles étant estimée, après une dilution adéquate, en comparaison par paire avec une infusion de référence unique.

Les juges impliqués devaient apprécier le breuvage considéré en appliquant quatorze critères de qualité, se rapportant à ses caractéristiques aromatiques et sapides, et en utilisant une échelle de notation de sept points. Ces appréciations qualitatives ont été soumises à une analyse mathématique multidimensionnelle, qui a permis de préciser d'une part l'importance relative de chacun des critères employés et de comparer d'autre part les diverses infusions évaluées.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Rétention d'eau

En retranchant dans chaque cas la quantité d'eau subsistant dans l'infusion après le traitement de celle utilisée pour la préparation de cette dernière, il est possible de déterminer la rétention exercée par le café épuisé. Les valeurs de cette rétention pour un degré de

mouture moyen ont été rapportées sur la figure 6, en comparaison avec une rétention nulle, représentée par la droite ponctuée. L'allure de la zone de déviation indique que la quantité de liquide retenue par le marc augmente proportionnellement au volume de liquide employé pour l'opération. Une augmentation semblable est constatée lors de l'emploi d'un degré de mouture plus fin.

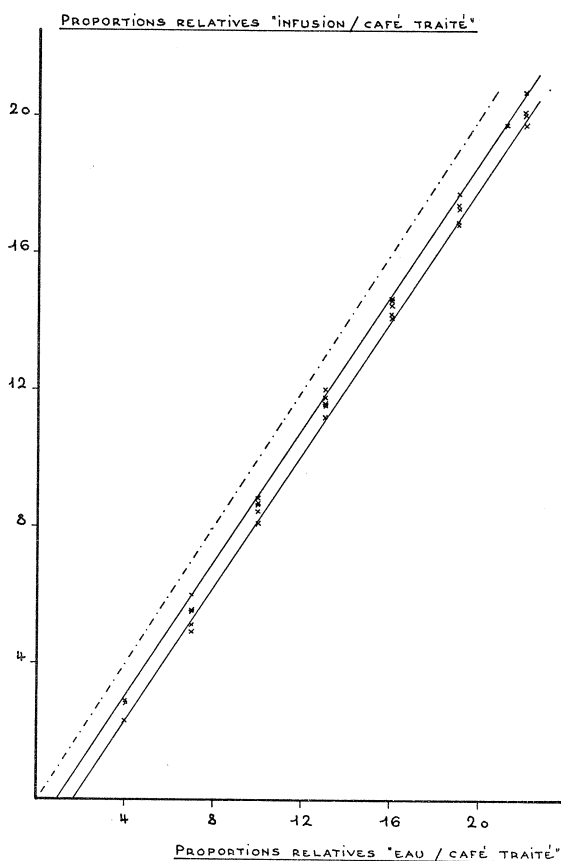


Fig. 6. — Rétention d'eau par le café épuisé

Taux de concentration

Pour un poids déterminé de café torréfié moulu, l'accroissement du volume du fluide d'extraction se traduit par un abaissement progressif du taux de concentration de l'infusion, comme l'indiquent les courbes de la figure 7.

Les techniques procurant l'extrait le plus concentré sont d'une part la filtration par gravité continue, en raison de la durée particulièrement élevée du traitement, et d'autre part la vaporisation sous pression, en raison d'un contact plus complet entre le matériel extrait et le fluide d'extraction. La filtration sous pression, pour sa part, ne fournit que des solutions relativement diluées, à cause principalement de son temps d'exécution très court.

Épuisement du café torréfié

Les constatations effectuées au sujet du taux de concentration restent valables pour la solubilisation des constituants solides présents dans le café torréfié

traité, telle qu'elle est représentée sur la figure 8. Pour juger de l'influence exercée par la durée de l'opération, il convient de comparer les courbes portant les codes « b » et « c », qui se rapportent toutes deux à une filtration par gravité. Une prolongation de la durée d'infusion se traduit donc toujours par une augmentation de l'épuisement, quel que soit le volume d'eau mis en œuvre. Il faut également relever les valeurs très basses du taux d'extraction correspondant à l'emploi de quantités restreintes de liquide.

Pour les essais que nous décrivons, le diamètre moyen des particules de café a varié entre 0,65 et 1,20 mm, pour des coefficients de régularité tout à fait acceptables. Les courbes de la figure 9 montrent l'influence de cette variation sur le taux d'extraction appliqué au café. L'importance de cette influence dépend avant tout du type d'équipement utilisé, mais elle n'est négligeable pour aucun des appareils étudiés.

Contenu aromatique des infusions

Comme cela a été mentionné dans la partie expérimentale, la teneur en composants aromatiques des diverses infusions a été mesurée par spectrophotométrie ultraviolette. Les variations de cette teneur ont été exprimées sur la figure 10 en comparaison avec celle du café torréfié initial.

On constate tout d'abord que l'emploi de quantités très importantes de liquide n'assure pas une solubilisa-

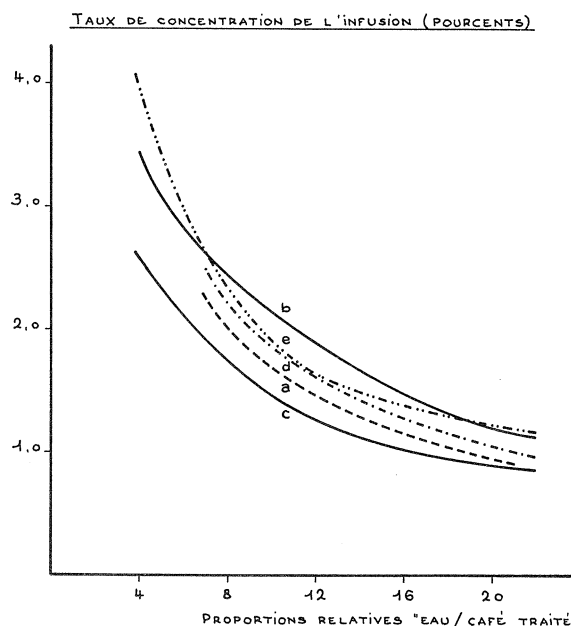


Fig. 7. — Comparaison des techniques d'infusion-1 : a) circulation continue d'eau ; b) filtration par gravité ; c) filtration par gravité sous pression ; d) filtration avec recirculation ; e) vaporisation sous pression

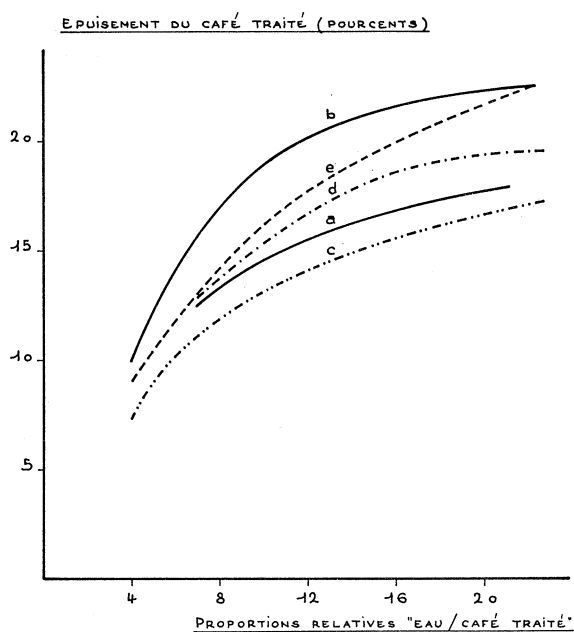


Fig. 8. — Comparaison des techniques d'infusion-2 : a) circulation continue d'eau ; b) filtration par gravité continue ; c) filtration par gravité sous pression ; d) filtration avec recirculation ; e) vaporisation sous pression

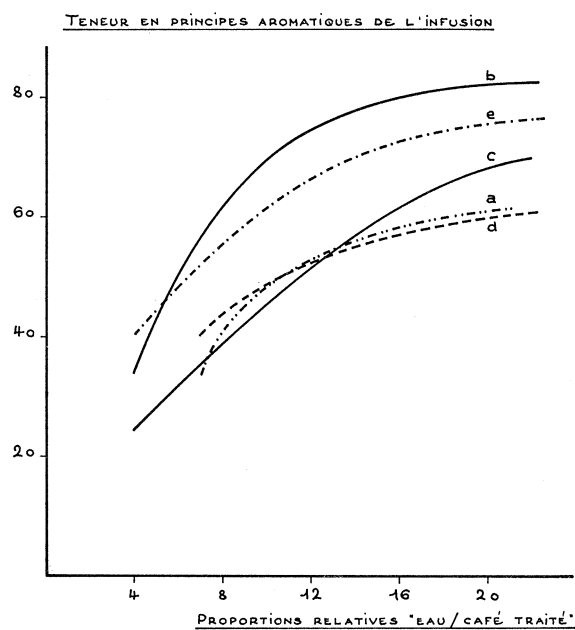


Fig. 10. — Comparaison des techniques d'infusion-3 : a) circulation continue d'eau ; b) filtration par gravité continue ; c) filtration par gravité sous pression ; d) filtration avec recirculation ; e) vaporisation sous pression

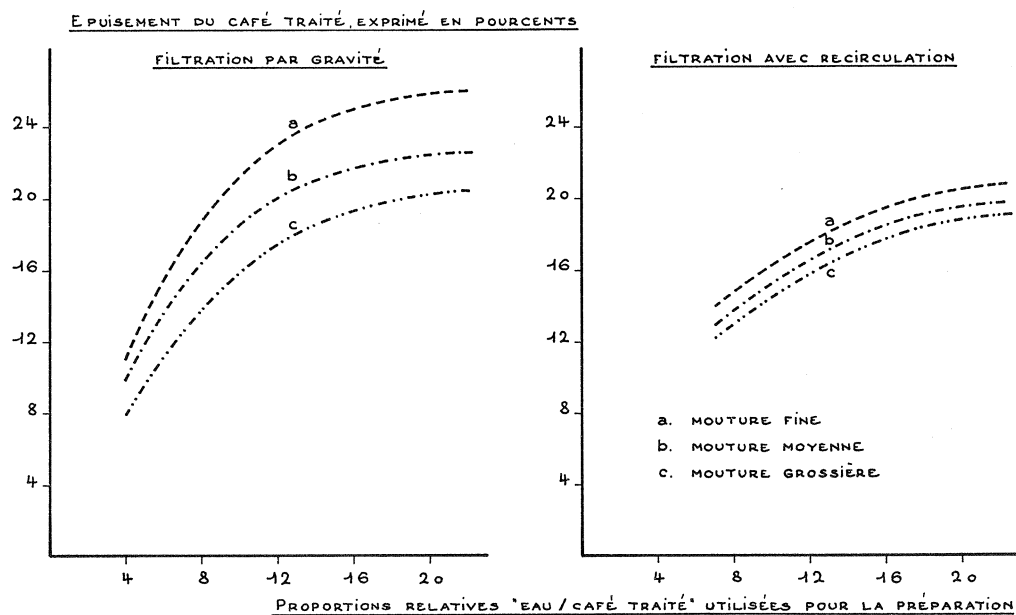


Fig. 9. — Influence du degré de mouture sur la solubilisation des composants solides

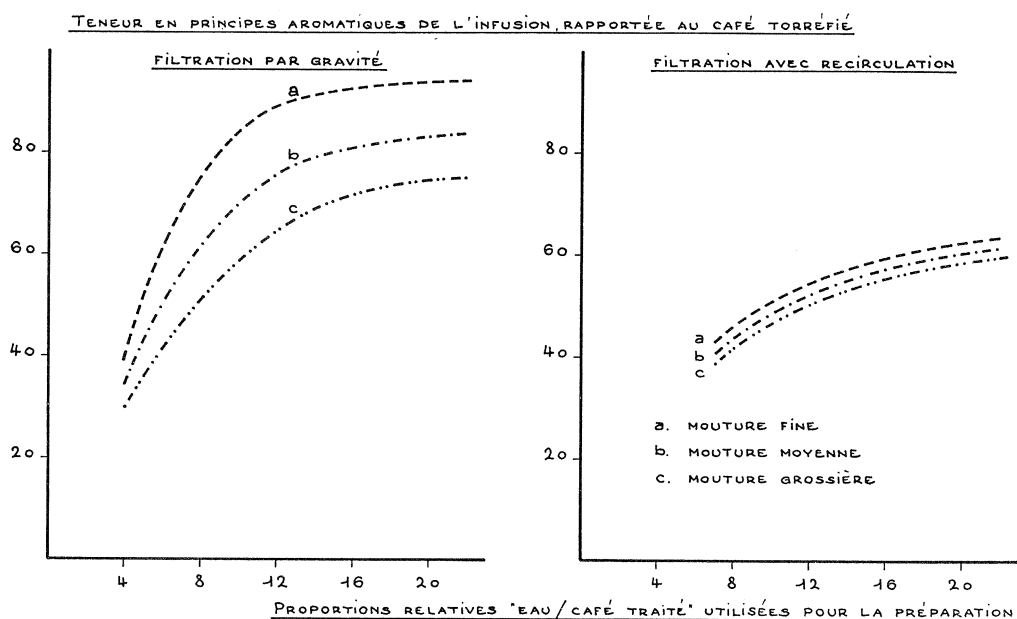


Fig. 11. — Influence du degré de mouture sur la solubilisation des composants volatils

tion complète des substances volatiles contenues dans le café. Une partie de ces dernières est donc retenue après traitement par le marc épuisé. Il apparaît également que les techniques d'infusion nécessitant un temps de contact prolongé entre le café et le fluide d'extraction, comme la circulation continue ou la filtration avec recirculation, procurent des extraits particulièrement pauvres en principes aromatiques. Dans l'un et l'autre cas, cette teneur relativement basse peut être attribuée aux pertes découlant de la vaporisation.

Pour la plupart des techniques examinées, il existe une grande analogie de comportement entre la solubilisation des composants aromatiques et celle des constituants solides globaux. Il paraît donc logique que la variation du degré de mouture, telle qu'elle est représentée sur la figure 11, exerce une influence semblable à celle que nous avons relevée dans les paragraphes précédents.

Solubilisation des constituants individuels

Le passage en solution des principaux constituants solides diffère peu d'une technique d'infusion à l'autre, aussi avons-nous représenté sur la figure 12 les valeurs se rapportant à l'ensemble des équipements comparés, dans le cas d'un café finement moulu. Comme la pente des diverses droites est peu marquée et comme la déviation standard des valeurs prises en considération atteint parfois 5 %, il convient d'envisager surtout la tendance générale du comportement des substances analysées.

Certaines d'entre elles, comme la caféine, les acides chlorogéniques et les protéines probables, voient leur teneur augmenter parallèlement à l'accroissement du

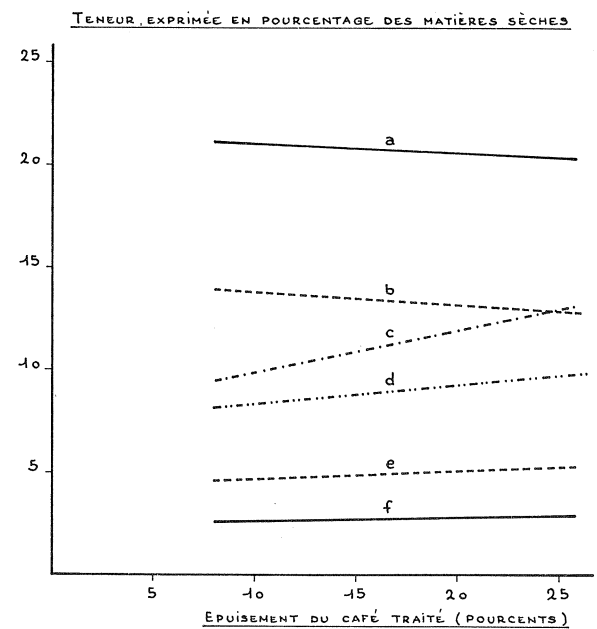


Fig. 12. — Solubilisation des constituants solides (mouture fine).
a) sucres réducteurs après hydrolyse ; b) cendres totales ; c) protéines probables ; d) acides chlorogéniques ; e) caféine ; f) sucres directement réducteurs.

taux d'extraction. D'autres, tels les cendres totales et les glucides globaux, subissent au contraire une légère diminution. L'emploi d'un degré de mouture plus grossier ne modifie pratiquement pas les tendances constatées.

Evaluations sensorielles

Représentations graphiques

L'évaluation sensorielle de chacune des infusions examinées peut être représentée graphiquement sous la forme d'un profil de goût relatif, puisque exprimé par rapport à une infusion de référence unique. Les caractéristiques des décoctions préparées à partir d'un café finement moulu en utilisant la filtration sous pression ont ainsi été esquissées sur la figure 13.

Lorsqu'un épuisement relativement bas, correspondant à un volume de liquide restreint, est appliqué, les

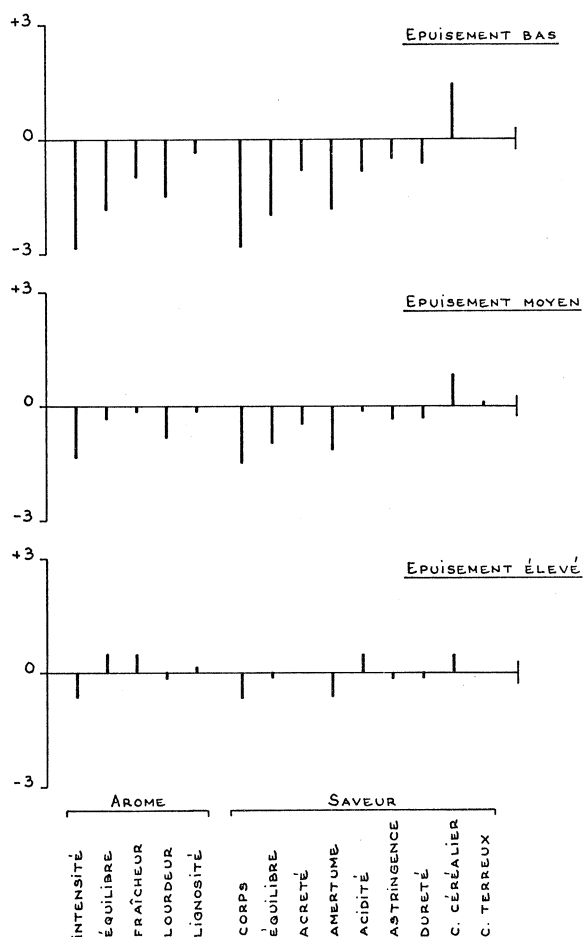


Fig. 13. — Evaluation organoleptique des infusions préparées par filtration sous pression (mouture fine)

caractères gustatifs positifs et négatifs de l'échantillon examiné sont beaucoup moins marqués que ceux du produit de référence, à l'exception d'un caractère « céréales » généralement peu apprécié. Sitôt que l'épuisement augmente, les différences remarquées deviennent de moins en moins perceptibles, puis certains des caractères de l'infusion jugée dépassent en intensité ceux de la référence utilisée. Dans le cas qui nous occupe, il s'agit plus particulièrement de la fraîcheur de l'arôme et de l'acidité naturelle, la nuance « céréales » persistant d'un produit évalué à l'autre.

Analyse canonique

En soumettant à l'analyse canonique les appréciations des différents dégustateurs, il est possible de situer dans un espace multidimensionnel les attributs principaux des produits évalués, soit les quatorze critères organoleptiques utilisés. Pour en simplifier l'interprétation, cette structure multidimensionnelle est projetée sur les deux premiers axes, cette projection, telle qu'elle est représentée sur la figure 14 (p. 268), étant représentative à 80 % de la réalité mathématique.

Dans cette projection, la longueur des vecteurs correspondant à chaque attribut est proportionnelle au pouvoir de discrimination de ce dernier ; il apparaît donc que certains d'entre eux, comme le caractère « ligneux » de l'arôme ou le caractère « terreux » de la saveur, sont peu perceptibles dans les infusions évaluées.

De par leur position dans le plan de projection, il est également apparent que certains attributs sont intimement associés dans l'appréciation des dégustateurs. Il s'agit notamment de l'intensité aromatique avec le corps et de la fraîcheur de l'arôme avec l'acidité naturelle.

Les attributs concernant l'intensité et l'équilibre de l'infusion, soit ceux portant les numéros 1, 2, 6 et 7, sont ceux qui contribuent le plus au premier axe principal. C'est pourquoi on peut considérer que ce dernier exprime, dans son sens positif, la plénitude des caractères naturels du café soumis au traitement d'infusion. Pour sa part, le second axe est bipolaire ; sa direction positive coïncide avec la fraîcheur et la finesse présentes dans la tasse, par opposition avec les caractères amer, âcre et dur, qui découlent en général d'une torréfaction plus poussée.

Les infusions soumises à l'évaluation sensorielle peuvent également être positionnées en projection bidimensionnelle et leur situation par rapport aux deux axes principaux fournit des indications précieuses quant à leurs caractéristiques prépondérantes. Dans les deux représentations graphiques de la figure 15 (p. 268), la première lettre utilisée qualifie la technique exercée et la seconde l'épuisement appliqué, « B » signifiant bas, « M » moyen et « E » élevé.

Pour une technique déterminée, l'accroissement du taux d'extraction provoque toujours un renforcement de la plénitude et de l'équilibre de l'infusion résultante et presque toujours une amélioration de la finesse et de la fraîcheur. L'utilisation d'un degré de mouture plus fin se traduit par contre par une diminution sensible de l'intensité de ces deux derniers caractères.

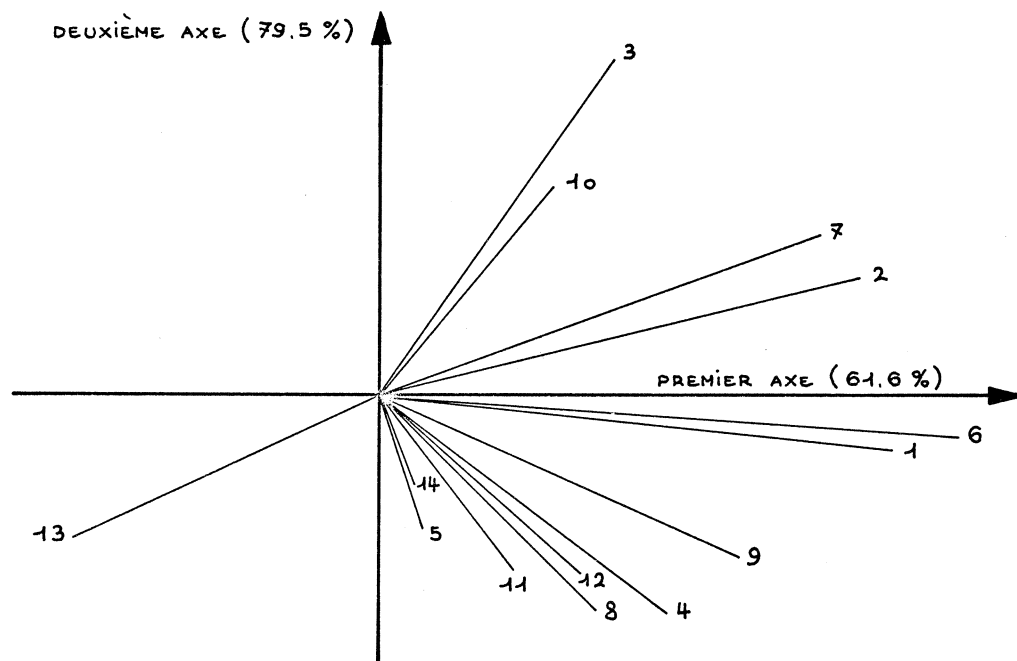
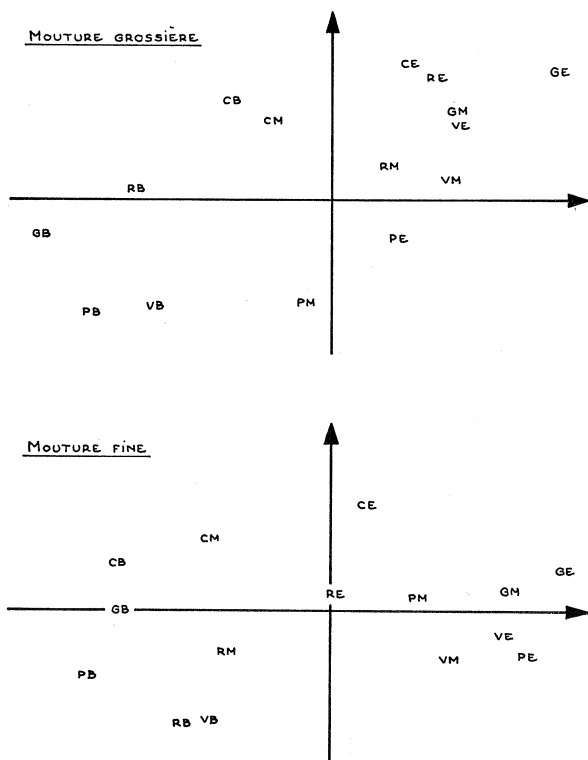


Fig. 14. — Projection bi-dimensionnelle de la structure des attributs principaux

Caractères aromatiques : 1) intensité ; 2) équilibre ; 3) fraîcheur ; 4) lourdeur ; 5) lignosité

Caractères savoureux : 6) corps ; 7) équilibre ; 8) âcreté (négatif) ; 9) amertume (positif) ; 10) acidité (positif) ; 11) astringence (négatif) ; 12) dureté ; 13) caractère céréaliier ; 14) caractère terreux



Parmi les techniques comparées, c'est la circulation continue qui fournit les infusions présentant le plus de finesse et de fraîcheur, mais manquant singulièrement de corps. Les produits découlant de la vaporisation sous pression possèdent au contraire une grande plénitude des caractères naturels du café, où l'amertume et la dureté sont particulièrement dominants, mais ils sont pratiquement dépourvus de finesse et de fraîcheur. La filtration par gravité, enfin, procure des extraits parfaitement équilibrés, dans lesquels se marient harmonieusement l'acidité naturelle et l'amertume, l'intensité aromatique et la plénitude de la tasse.

Fig. 15. — Projection bi-dimensionnelle des différentes infusions évaluées organoleptiquement

C : circulation continue ; G : filtration/gravité ;
P : filtration/pression ; R : recirculation ;
V : vaporisation

CONCLUSIONS

En appliquant des contrôles analytiques simples, nous avons pu définir les processus de solubilisation qui interviennent lors de l'utilisation de certains équipements commerciaux assurant la préparation d'une infusion du type « ménager ».

L'influence de ces processus sur l'apparition et le

renforcement des principaux caractères organoleptiques a été mise en évidence par l'intermédiaire d'une série d'évaluations sensorielles, dont l'interprétation a nécessité l'application d'une analyse mathématique multidimensionnelle.

BIBLIOGRAPHIE

1. G. PICTET. — 7^e Colloque sur la chimie des cafés (Hambourg 9-14 juin 1975), ASIC, Paris, p. 189-200.

PICTET (G.), VUATAZ (L.). — **Etude des techniques d'infusion.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 261-269, fig., réf.

Plusieurs équipements commerciaux, assurant la préparation d'une infusion de café domestique, ont été examinés afin d'évaluer leur fonctionnement et leur efficacité. La solubilisation globale des composants solides et volatils d'un mélange de cafés bien définis a notamment été estimée en fonction des paramètres techniques de l'opération. Le comportement particulier de certains constituants spécifiques du café (caféine, acides chlorogéniques, glucides, etc.) a été également examiné.

Une attention spéciale a été portée à l'apparition et au renforcement des caractères aromatiques et sapides de l'infusion, tels qu'ils peuvent être définis par évaluation sensorielle. Cette évaluation a été pratiquée en utilisant une infusion de référence, de nombreux critères de jugement et une échelle de notation de sept points.

Les appréciations qualitatives établies par un jury de spécialistes ont été soumises à une analyse mathématique multidimensionnelle. Cette analyse conduit entre autre à un positionnement des différents échantillons par projection sur un plan unique, qui permet de les comparer de manière adéquate.

PICTET (G.), VUATAZ (L.). — **A study of brewing techniques.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 261-269, fig., réf.

An examination of a range of commercially available domestic coffee brewing machines was undertaken to assess their operation and efficiency. The overall solubilisation of both the solid and volatile constituents of a blend of coffees was determined as a function of the technical parameters of the treatment. The behaviour of certain components specific to coffee (caffeine, chlorogenic acids, carbohydrates, etc.) was also examined.

Special attention was given to the development and evolution of the aromatic and flavour characteristics of the infusion, as defined by sensory evaluation using multicriteria judgement and a seven-point scale of values.

The qualitative appreciations established by a panel of specialists were submitted to a multidimensional mathematical analysis resulting in the projection of the different samples on a two-dimensional space thus allowing a convenient comparison to be made.

INFLUENCE DE DIFFÉRENTS TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES SUR LES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ET ORGANOLEPTIQUES DES CAFÉS ROBUSTA ET ARABUSTA

J.-C. VINCENT, M.-C. GUENOT, J.-J. PERRIOT, D. GUEULE

Laboratoire de chimie-technologie de l'IFCC (Montpellier)

J. HAHN

Centre de recherches de l'IFCC en Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Lors de la préparation des cafés par voie humide, les processus respiratoires et la diffusion des substances solubles peuvent expliquer la perte en matières sèches relevée par divers auteurs notamment par Boyce (1) et Wootton (2).

Wootton avait constaté sur des cafés préparés au Kenya les phénomènes suivants :

- 1) une perte significative en matières sèches durant les étapes de préparation succédant au dépulpage,
- 2) la fermentation par voie sèche pendant 48 h entraîne une perte d'environ 1 %, dont la moitié serait due à une diminution des sucres : sucrose, glucose et fructose,
- 3) le trempage du café parche sous eau durant 24 h aboutit à une perte en matières sèches équivalente à celle d'une fermentation à sec durant 48 h,
- 4) la perte occasionnée par le trempage est essentiellement due aux processus de diffusion, les processus de respiration intervenant peu ou pas.

Dans cette étude, nous avons voulu mettre à l'épreuve l'influence du trempage sur l'évolution de divers composés susceptibles de diffuser, connaître la cinétique de diffusion de ces composés et apprécier l'importance de la barrière que constitue la parche sur la vitesse de diffusion.

Dans la première partie de cette étude, nous avons procédé au trempage sous eau des grains de café vert sans parche, déterminé les variations pondérales de quelques composés en fonction du temps et mis à l'épreuve les caractéristiques gustatives du produit final.

Dans la deuxième partie, des cafés Robusta et Arabusta ont été préparés par voie humide (fermentations à sec et sous eau) et mis en comparaison avec des cafés préparés par voie sèche. Nous avons donc été préoccupés par l'aspect diffusion qu'entraîne le trempage, mais aussi par l'influence du mode de préparation sur la qualité organoleptique de l'Arabusta.

ESSAIS DE TREMPAGE DES CAFÉS VERTS

Les essais entrepris en laboratoire ont consisté à immerger sous eau distillée, des cafés verts d'origines diverses (Robusta Cameroun, Côte d'Ivoire, Madagascar ; Arabica Ethiopie, Maragogype Brésil, Arabica

Mysore, Niaouli Togo) durant des périodes de 8, 16, 24 et 48 h à la température ambiante (25° C).

Après trempage, les échantillons sont séchés dans une étuve ventilée à une température de 60° C.

Evolution de la teneur en caféine

On constate que la diffusion de la caféine est assez rapide. En appliquant la première loi de Fick sur la diffusion, valable pour les corps immobiles, isotropes et à masse volumique constante, la quantité de matière diffusante B est exprimée par la relation suivante [Loncin (3)]. En assimilant la grain de café à une sphère, on trouve pour le Niaouli du Togo, une diffusivité D de $1,47 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

$$dm_B \times - A \cdot D_{\rho B} \overrightarrow{(\text{grad } \rho \text{ B.}^n)} dt$$

où ρ est la concentration en matière diffusante,

A , l'aire de la surface d'isoconcentration,
 \vec{n} , le vecteur normal de la surface considérée,
 t , le temps en sec.,
 $D_{\rho B}$, la diffusivité dont la dimension est L^2T^{-1} (m^2/s)
 (densité de flux gradient).

Afin d'être plus démonstratif, les évolutions de caféine sont exprimées dans le tableau II en pourcentages de pertes au cours du trempage.

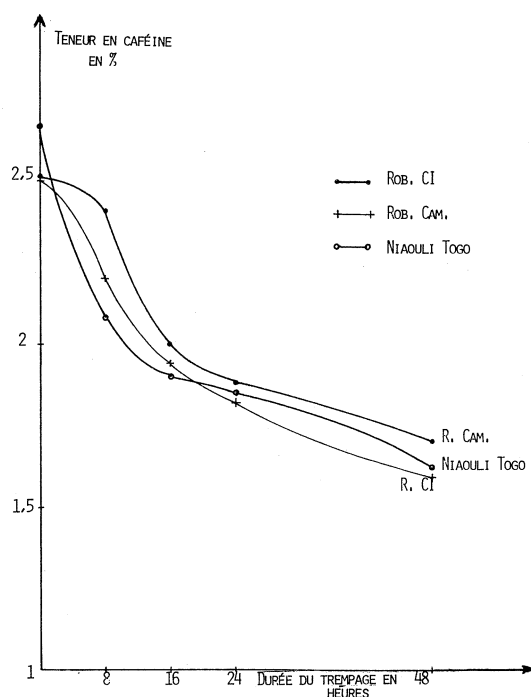
Le graphique 1 montre les courbes d'évolution de la caféine et illustre l'importance des variations de la teneur en caféine au cours du trempage.

Tableau I. — Evolution des teneurs en caféine (en % sur M.S.)

ECHANTILLON	TÉMOIN	DURÉE DU TREMPAGE			
		8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM.	2,51	2,41	2,00	1,88	1,70
ROBUSTA C.I.	2,50	2,20	1,94	1,82	1,59
ROBUSTA MAD.	2,32	1,66	1,64	1,59	1,62
MOKA ETHIOPIE	1,23	1,06	1,10	1,09	0,72
MARAGOGYPE	1,33	1,10	1,11	1,10	0,76
MYSORE	1,27	1,10	1,07	0,94	0,74
NIAOULI TOGO	2,67	2,08	1,90	1,85	1,62

Tableau II. — Pourcentages de pertes en caféine en fonction de la durée de trempage

ECHANTILLON	TÉMOIN	DURÉE DU TREMPAGE			
		8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM.	-	4,0	20,3	25,1	32,2
ROBUSTA C.I.	-	12,0	22,4	27,2	36,4
ROBUSTA MAD.	-	28,0	29,3	34,1	30,2
MOKA ETHIOPIE	-	13,8	10,6	11,4	41,5
MARAGOGYPE	-	17,3	16,5	17,3	42,8
MYSORE	-	13,4	15,7	26,0	41,7
NIAOULI TOGO	-	22,1	28,8	30,7	39,3
MOYENNE		15,8	21,5	24,5	37,7

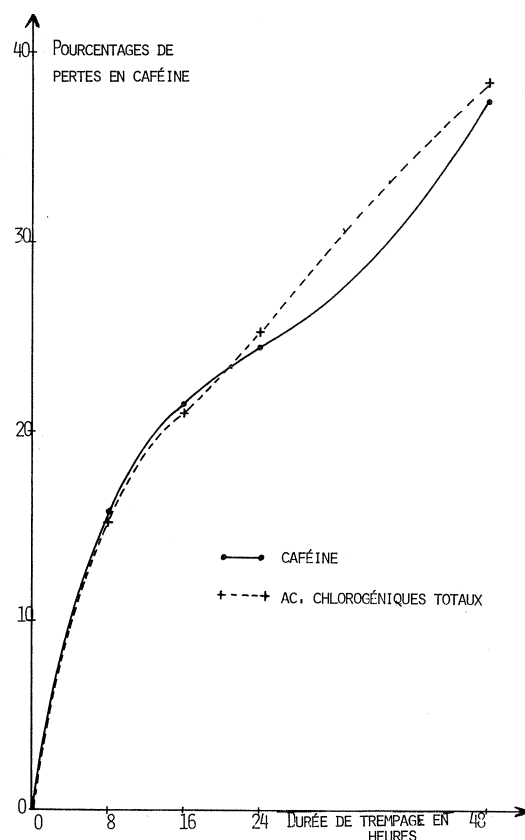


Graph. 1. — Evolution des teneurs en caféine au cours du trempage

Evolution des teneurs en acides chlorogéniques

Il est facile de constater qu'il y a bien diffusion des acides chlorogéniques, car l'eau de trempage est assez rapidement souillée et prend des teintes verdâtres qui virent au brun au bout de 48 h.

Comme pour la caféine, les vitesses de diffusion sont grandes. Les pertes relatives des teneurs en acides chlorogéniques sont rassemblées dans le tableau IV, page 274.



Graph. 2. — Evolution des pertes en caféine et en acides chlorogéniques au cours du trempage

En comparant les moyennes, on s'aperçoit que les pertes relatives des acides chlorogéniques sont similaires à celles de la caféine. Le tableau V (p. 274) et le graphique 2 montrent bien la similitude des évolutions.

Tableau III. — Evolution des teneurs en acides chlorogéniques en fonction de la durée du trempage

ECHANTILLON	TÉMOIN	DURÉE DU TREMPAGE			
		8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM.	10,74	10,18	9,90	9,03	7,74
ROBUSTA C.I.	11,52	10,53	9,95	9,49	7,34
ROBUSTA MAD.	10,86	9,44	8,66	8,23	6,86
MOKA ETHIOPIE	9,35	7,41	7,26	6,74	5,17
MARAGOGYPE	8,13	6,20	6,04	5,62	4,15
MYSORE	8,31	6,72	6,44	5,60	4,74
NIAOULI TOGO	12,19	10,14	9,26	8,78	8,32

Tableau IV. — Evolution des pertes en acides chlorogéniques exprimées en %

ECHANTILLON	TÉMOIN	DURÉE DU TREMPAGE			
		8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM.	-	5,2	7,8	15,9	27,9
ROBUSTA C.I.	-	8,6	13,6	17,6	36,3
ROBUSTA MAD.	-	13,1	20,3	24,2	36,8
MOKA ETHIOPIE	-	20,7	22,4	27,9	44,7
MARAGOGYPE	-	23,7	25,7	30,9	49,0
MYSORE	-	19,1	22,5	32,6	43,0
NIAOULI TOGO	-	16,8	24,2	28,0	31,7
MOYENNE		15,3	20,5	25,3	38,5

Tableau V. — Comparaison des pertes en caféine et acides chlorogéniques exprimées en %

COMPOSÉS	DURÉE DU TREMPAGE			
	8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
CAFÉINE	15,8	21,5	24,5	37,7
ACIDES CHLOROGÉNIQUES	15,3	20,5	25,3	38,5

Evolution de la granulométrie

Tableau VI. — Evolution granulométrique du Robusta Cameroun en fonction de la durée du trempage

DURÉE DU TREMPAGE	RETENUE AU TAMIS 18 EN %	RETENUE AU TAMIS 16 EN %	RETENUE AU TAMIS 14 EN %	RETENUE AU TAMIS 12 EN %
0 H	8,4	84,1	7,5	-
8 H	11,2	77,5	10,8	-
16 H	11,4	75,3	13,3	-
24 H	9,5	72,0	18,5	-
48 H	24,2	60,9	14,9	-

Tableau VII. — Evolution granulométrique du Robusta Côte d'Ivoire en fonction de la durée du trempage

DURÉE DU TREMPAGE	RETENUE AU TAMIS 18 EN %	RETENUE AU TAMIS 16 EN %	RETENUE AU TAMIS 14 EN %	RETENUE AU TAMIS 12 EN %
0 H	25,4	65,7	8,8	0,1
8 H	28,3	52,7	18,3	0,7
16 H	19,3	55,5	24,2	1,0
24 H	15,7	54,2	29,1	1,1
48 H	23,5	49,6	25,4	1,2

Comportement à la torréfaction

La qualité de « bon brûleur », des échantillons de café est appréciée par l'augmentation de volume des grains. Ces résultats sont exprimés en % dans le tableau VIII.

Les résultats sont hétérogènes, mais on relève globalement une tendance à une diminution du gonflement du grain en fonction du temps de trempage (coefficient de corrélation linéaire $r = -0,82$).

Le café non trempé gonfle nettement mieux à la torréfaction que les grains trempés, qui se montrent d'autant moins « bon brûleur » que la durée du trempage augmente.

Acidité de la boisson

L'acidité de la boisson a été suivie par la mesure du pH, après refroidissement de la liqueur à 25° C, (tabl. IX, p. 276).

Les variations de l'acidité sont généralement peu perceptibles mais tendent vers une diminution de pH de la liqueur. Par ailleurs, lorsque les valeurs initiales du pH sont élevées, les chutes de pH deviennent très sensibles, comme c'est le cas pour le Mysore et le Niaouli Togo.

Tableau VIII. — Gonflement à la torréfaction (augmentation de volume exprimée en %)

ECHANTILLONS	DURÉE DE TREMPAGE				
	0 HEURE	8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM.	65,5	53,1	43,8	65,5	47,1
ROBUSTA MAD.	90,9	74,2	83,3	46,7	12,9
MOKA ETHIOPIE	69,0	46,9	20,6	45,5	28,6
MARAGOGYPE	65,5	55,2	55,9	56,3	44,1
MYSORE	58,6	41,9	62,5	54,5	54,8
NIAOULI TOGO	76,9	46,7	50,0	40,0	80,0
MOYENNES	71,1	53,0	52,7	51,4	44,6

Tableau IX. — pH de la liqueur, en fonction de la durée de trempage

ECHANTILLON	DURÉE DU TREMPAGE				
	0 HEURE	8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM	5,3	5,4	5,3	5,4	5,4
ROBUSTA C.I.	5,5	5,65	5,6	5,4	5,45
ROBUSTA MAD	5,15	5,05	5,25	5,40	5,15
MOKA ETHIOPIE	5,45	5,30	5,20	5,20	5,10
MARAGOGYPE	5,25	5,20	5,15	5,10	5,20
MYSORE	6,0	5,5	5,5	5,4	5,25
NIAOULI TOGO	5,8	5,3	5,2	5,3	5,1
MOYENNES	5,5	5,3	5,3	5,3	5,2

Evolution des qualités organoleptiques

Corps et force de la boisson

Les intensités des perceptions sont appréciées par les dégustateurs à l'aide des symboles suivants :

- absence 0
- .très faible 1
- + faible 2
- ++moyen 3
- +++fort 4
- +++très fort 5

Le trempage atténue la perception du corps et de la force de la boisson (tabl. X).

Amertume

D'une manière générale, l'amertume est très sensiblement atténuée par le trempage (tabl. XI).

Autres caractéristiques organoleptiques

Les autres caractéristiques organoleptiques mises à l'épreuve n'ont pu donner d'informations précises ; l'astringence étant absente au début de l'étude, son évolution n'a pu évidemment être suivie. En ce qui

Tableau X. — Corps et force en fonction du temps de trempage

ECHANTILLONS	DURÉE DE TREMPAGE				
	0 HEURE	8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM.	3	3	2	2	2
ROBUSTA CI	3	2	2	2	0
ROBUSTA MAD.	3	3	3	2	0
MOKA ETHIOPIE	3	3	2	2	2
MARAGOGYPE	3	3	3	2	2
MYSORE	3	3	3	3	3
NIAOULI TOGO	3	3	2	2	0
MOYENNES	3,0	2,9	2,4	2,1	1,3

Tableau XI. — Evolution de l'amertume en fonction du temps de trempage

ECHANTILLON	DUREE DU TREMPAGE				
	0 HEURE	8 HEURES	16 HEURES	24 HEURES	48 HEURES
ROBUSTA CAM	4	3	2	2	3
ROBUSTA C.I.	3	2	3	2	0
ROBUSTA MAD	4	3	3	2	0
MOKA ETHIOPIE	4	3	2	2	2
MARAGOGYPE	2	2	2	2	3
MYSORE	3	3	3	3	3
NIAOULI TOGO	4	3	2	3	2
MOYENNES	3,4	2,7	2,4	2,3	1,9

concerne les goûts particuliers, on peut noter que le trempage semble diminuer l'intensité aromatique des saveurs agréables ou désagréables. Cependant, un trempage de longue durée tend à apporter de l'aigreur à

la boisson. La principale conclusion à tirer sur l'évolution des caractéristiques organoleptiques est l'importance du trempage sur la diminution du corps et de la force de la boisson et surtout de son amertume.

ÉTUDE COMPARATIVE DE DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PRÉPARATION APPLIQUÉES AUX CAFÉS ROBUSTA ET ARABUSTA

La diffusion de différents composés étant particulièrement nette dans la série d'essais qui viennent d'être décrits, une étude comparative de différents modes de préparation a été entreprise sur les cafés Robusta et Arabusta. Le protocole de cette étude comparative peut se résumer comme suit :

- a) Fermentation à sec (F.S.) : le café dépulvé est mis à fermenter et des échantillons sont prélevés après 15, 24 et 39 h.
- b) Fermentation sous eau (F.E.) : le café dépulvé est mis à fermenter dans une cuve, mais est immergé dans l'eau. Le prélèvement des échantillons a lieu après 12, 24 et 39 h.

Après fermentation, les échantillons sont parfaitement lavés et mis à sécher au soleil jusqu'à siccité du grain à 12 %.

Afin de compléter l'expérimentation, des cafés sont également préparés par voie sèche (V.S.).

Aspect des échantillons en vert

D'après les tableaux XII et XIII (p. 278), on constate que ce sont essentiellement les fèves indésirables qui jouent un rôle dans l'appréciation de la qualité.

Il ressort pour les deux types de café que la fermentation à sec ou sous eau donne un nombre moins élevé de défauts que le procédé par voie sèche du fait du pourcentage nettement plus faible de fèves indésirables dans les deux premiers procédés. La présentation physique du café vert est également à mettre en évidence, les échantillons ayant subi la fermentation (à sec et sous eau) étant de couleur plus homogène.

Tableau XII. — Expertises sur les cafés Robusta

Nature du traitement Défauts en vert	F.E	F.E	F.E	F.S	F.S	F.S	Dépulpé non fermenté	V.S
	15h	24h	39h	15h	24h	39h		
Fève noire sûre	-	-	3	-	-	-	-	-
1/2 noire blanche spongieuse sèche	1	1	-	-	-	-	-	-
immature	-	-	-	-	-	-	1	-
blanche indésirable	-	1	-	-	-	3	-	-
	33	43	29	33	35	22	70	67
Poids s/300 g	6,2	7,8	6,1	6,9	6,8	4,7	12,5	12,2

Tableau XIII. — Expertises sur les cafés Arabusta

Nature du traitement Défauts en vert	F.E	F.E	F.E	F.S	F.S	F.S	dépulpé non fermenté	V.S
	15h	24h	39h	15h	24h	39h		
Fève noire sûre	-	1	-	-	-	1	-	-
1/2 noire blanche spongieuse sèche	-	-	-	-	-	-	-	-
immature	-	-	-	-	-	-	-	-
blanche indésirable	-	-	-	-	3	-	-	-
	22	41	35	37	36	35	43	71
Poids s/300 g	5,2	8,6	8,4	7,5	8,2	8,4	10,9	13,9

F.S. : fermentation à sec ; F.E. : fermentation sous eau ; V.S. : voie sèche.

Tableau XIV. — Granulométrie cumulée en fonction du traitement

Nature du traitement et du café	Retenue au crible 18	Retenue au crible 16	Retenue au crible 14
Robusta F.E 15 h	8,6	53,1	96,9
F.E 24 h	6,2	46,6	93,7
F.E 39 h	6,6	46,7	93,3
Robusta F.S 15 h	7,8	50,6	94,3
F.S 24 h	6,5	45,6	93,9
F.S 29 h	6,6	46,9	93,7
Rob. dépulpé	7,9	49,8	94,0
Rob. V.S	6,6	46,9	92,5
Arabusta F.E 15 h	60,4	95,9	99,8
F.E 24 h	53,1	93,3	99,5
F.E 39 h	50,9	93,7	99,6
Arabusta F.S 15 h	51,3	94,1	99,7
F.S 24 h	50,0	95,0	99,7
F.S 39 h	48,7	93,1	99,5
Arabusta dépulpé non fermenté	49,1	93,3	99,3
Arabusta V.S	51,4	93,9	99,8

Evolution des teneurs en caféine et en acides chlorogéniques

Contrairement à ce qui a été relevé dans la première partie de l'exposé, on ne retrouve ici aucune différence significative au cours des traitements. La parche constitue donc une barrière très importante à la diffusion des composés examinés. Dans l'ensemble du tableau XV (p. 280), on ne peut que constater les différences entre Arabusta et Robusta, qui se caractérisent par des teneurs plus faibles en caféine et en acides chlorogéniques chez l'Arabusta que chez le Robusta.

Bilan de torréfaction

Des résultats du bilan de torréfaction regroupés dans le tableau XVI (p. 281), on peut conclure que :

- Le traitement ne semble pas affecter le gonflement lors de la torréfaction.
- Dans l'ensemble, ces cafés se sont révélés d'excellents brûleurs.
- La perte en poids au cours de la torréfaction est légèrement plus faible pour l'Arabusta que pour le Robusta. En effet en se basant sur la droite de corrélation liant la teneur en eau du café vert à la perte en poids du Robusta ($r = 0,92$) on devrait trouver pour

une teneur équivalente de l'Arabusta (10,53), une perte de 14,7 % ; or nous n'avons que 13,7 %, soit un gain d'environ 1 %.

Appréciation de la qualité de la liqueur

Les intensités des perceptions et la note de synthèse sont classées selon les échelles respectives qui suivent : noter l'inversion de l'échelle des valeurs pour la note de synthèse ; plus la cote est élevée, plus la qualité est médiocre (tableau XVII, p. 282).

De l'ensemble de ces résultats illustrés par le graphique 3 (p. 283), il apparaît que :

- 1) La voie humide améliore la qualité organoleptique finale de la boisson. La voie sèche a donné les liqueurs les moins appréciées.
- 2) La fermentation sous eau donne des résultats supérieurs, dans le cas du Robusta, à la fermentation à sec.
- 3) Les Arabusta donnent des boissons plus agréables que les Robusta.
- 4) Alors que les Robusta ne présentent pas la caractéristique acidité, même après des durées de fermentation assez longues, les Arabusta sont généralement acides et se rapprochent en cela des Arabica.
- 5) L'amertume est généralement plus forte chez les Robusta, mais elle peut être atténuée par l'opération de trempage.

Tableau XV. — Evolution des teneurs en caféine, en acides chlorogéniques et en hydroxytryptamides en fonction du traitement

Nature du traitement et du café	Caféine en %	Acides chlorogéniques en %	5 OH tryptamides en p.p.m
Robusta F.E 15 h	2,26	12,06	966,5
F.E 24 h	2,14	11,56	1384
F.E 39 h	2,21	12,04	1499
F.S 15 h	2,19	10,88	839
F.S 24 h	2,24	11,93	951
F.S 39 h	2,04	11,68	904
Dépulpé lavé	2,12	11,99	1235
V.S	2,14	11,93	1244
Moyennes	2,17	11,76	1128,8
Arabusta F.E 15 h	1,61	8,93	973
F.E 24 h	1,62	7,07	934
F.E 39 h	1,60	6,45	891
F.S 15 h	1,64	6,33	666
F.S 24 h	1,70	9,52	872
F.S 39 h	1,69	9,60	695
Dépulpé lavé	1,66	9,71	925
V.S	1,64	8,76	825
Moyennes	1,64	8,30	847,6

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

- 1) Le trempage des cafés verts peut modifier la composition pondérale par diffusion des composés solubles. Caféine, acides chlorogéniques et substances amères encore à déterminer peuvent ainsi être partiellement éliminées du grain.
- 2) Par contre, la parche entourant le grain constitue une barrière importante à la diffusion des composés mis à l'épreuve : la caféine ne semble pas être atténuée, les acides chlorogéniques ne varient pas et les C5 H.T. ne sont pas affectés. Cependant, il doit bien y avoir une diffusion de substances amères, car le dégustateur perçoit bien la diminution de l'amertume en fonction du temps de trempage.
- 3) La fermentation, et en particulier la fermentation sous eau, améliore la qualité organoleptique du café, qu'il s'agisse du Robusta ou de l'Arabusta, car elle permet d'atténuer l'amertume et l'intensité de certaines caractéristiques désagréables. Le fait de diminuer l'intensité trop forte de l'amertume facilite la mise en évidence de caractéristiques aromatiques.
- 4) Les cafés Arabusta se sont révélés être de bons brûleurs (bon gonflement) et leur granulométrie

Tableau XVI. — Bilan de torréfaction en fonction du traitement

Nature du traitement et du café	Teneur en eau en vert	Perte en %	Gonflement %
Robusta F.E 15 h	11,91	18,5	84,6
F.E 24 h	9,92	15,4	94,7
F.E 39 h	9,64	15,4	100,0
F.S 15 h	11,88	18,7	100,0
F.S 24 h	9,90	15,3	92,6
F.S 39 h	9,70	16,4	96,3
Dépulpé lavé	11,19	18,2	103,8
V.S	10,11	15,0	100,0
Moyennes	10,53	16,6	96,5
Arabusta F.E 15 h	9,56	14,0	96,4
F.E 24 h	8,85	12,7	86,2
F.E 39 h	9,31	14,6	92,8
F.S 15 h	10,01	14,5	87,1
F.S 24 h	9,22	13,0	89,3
F.S 39 h	9,61	13,8	86,2
Dépulpé lavé	8,95	13,3	97,7
V.S	8,56	13,6	97,8
Moyennes	9,26	13,7	91,7

les apparente aux Arabica. Il en va de même pour d'autres caractéristiques (corps et force, amertume, acidité), qui les rapprochent de ces mêmes cafés.

Caféine (1,6%), acides chlorogéniques et C5 H.T. existent également, chez l'Arabusta, en proportions inférieures à celles relevées habituellement chez le Robusta.

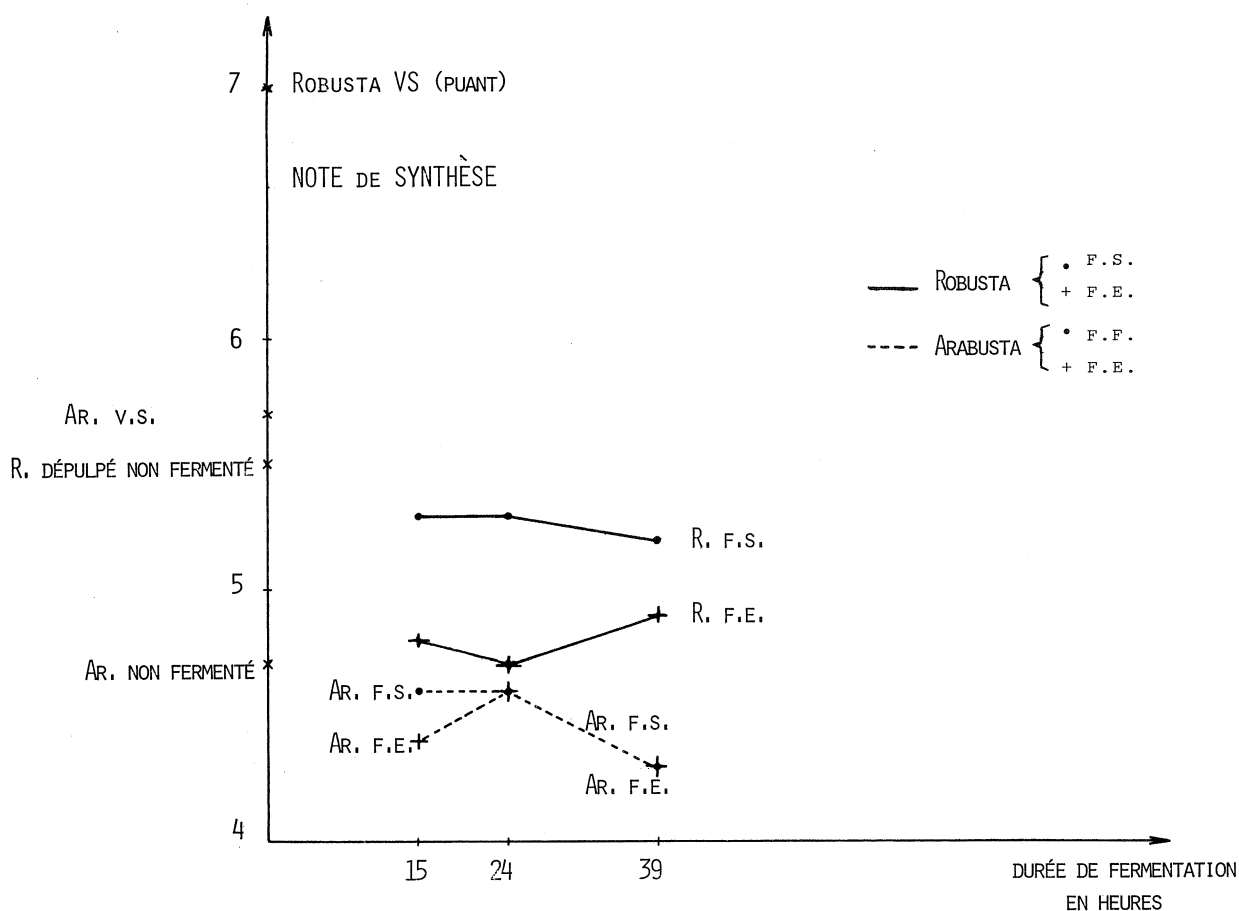
BIBLIOGRAPHIE

1. D. S. BOYCE. — *J. Agric. Univ. Puerto Rico*, (1962) XLVI, 4, 334.
2. A. E. WOOTTON. — The dry matter loss from parchment coffee during field processing. 5^e Colloque International sur la

- chimie des cafés, Lisbonne, 14-19 juin 1971, p. 316-324.
3. M. LONCIN. — *Génie Industriel Alimentaire*. Masson (Paris), 1976.

Tableau XVII. — Résultats des tests organoleptiques

Nature du café et du traitement	Corps et force	Astringence	Acidité	Amertume	Remarques	Classement
Rob. F.E. 15 h	3	0	0	4		4,8
F.E. 24 h	2	0	0	3		4,7
F.E. 39 h	2	0	0	2		4,9
Rob. F.S. 15 h	2	0	0	3		5,3
F.S. 24 h	3	0	0	4		5,3
F.S. 39 h	3	0	0	4		5,2
Rob. déulp non ferm	3	0	0	4		5,5
Rob. V.S	3	0	0	3	Puant	7,0
Ar. F.E. 15 h	2	0	3	2		4,4
F.E. 24 h	2	0	3	2		4,6
F.E. 39 h	2	0	3	3		4,3
F.S. 15 h	2	0	3	2		4,6
F.S. 24 h	2	0	4	2		4,6
F.S. 39 h	2	0	3	2		4,3
Dép. non fermenté	2	0	4	2		4,7
V.S	2	0	3	2		5,7



Graph. 3. — Evolution de la qualité organoleptique au cours du trempage

VINCENT (J.-C.), GUENOT (M.-C.), PERRIOT (J.-J.), HAHN (J.), GUEULE (D.). — **Influence de différents traitements technologiques sur les caractéristiques chimiques et organoleptiques des cafés Robusta et Arabusta.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 271-284, tabl., graph., réf.

VINCENT (J.-C.), GUENOT (M.-C.), PERRIOT (J.-J.), HAHN (J.), GUEULE (D.). — **Influence of various technological treatments on the chemical and organoleptic characteristics of Robusta and Arabusta coffees.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 271-284, tabl., graph., réf.

Au cours de cette étude, les auteurs examinent : l'influence du trempage sur l'évolution de divers composés susceptibles de diffuser, la cinétique de diffusion de ces composés et l'importance de la barrière que constitue la parche sur la vitesse de diffusion.

Dans la première partie, des grains de café vert sans parche et d'origines diverses sont mis à tremper sous eau afin de déterminer les variations pondérales de quelques composés (caféine, acides chlorogéniques) et d'étudier le gonflement à la torréfaction ainsi que l'évolution des qualités organoleptiques de la boisson en fonction de la durée du trempage.

During this study, the authors examine : the influence of soaking on the evolution of the various compounds capable of diffusing, the diffusion kinetics of these compounds, and the consequence of the barrier constituted by the parchment on the rate of diffusion.

In the first part, green coffee beans without parchment and of various origin, were soaked in water in order to determine the weight variations of some compounds (caffeine, chlorogenic acids) and to study the swelling during roasting as well as the evolution of the organoleptic characteristics of the beverage in accordance with the duration of the soaking operation.

Dans la seconde partie, des cafés Robusta et Arabusta préparés par voie humide à sec ou sous eau sont comparés à des cafés préparés par voie sèche afin de déceler l'influence du mode de préparation sur les caractéristiques déjà citées : variations des teneurs en caféine et en acides chlorogéniques, comportement à la torréfaction, qualités organoleptiques du produit final.

In the second part, the Robusta and Arabusta coffees, prepared by the wet process (dry or under water fermentations), were compared with coffee prepared by the dry process in order to determine the influence of the mode of preparation on the above characteristics : variations in the caffeine and chlorogenic acids contents, behaviour during roasting, and organoleptic properties of the final product.

MOLECULAR AND CELLULAR SITES OF ACTION OF CAFFEINE



L. Puglisi

L. PUGLISI, F. MAGGI, R. PAOLETTI

Institute of Pharmacology and Pharmacognosy,
University of Milan, Italy

CENTRAL STIMULATION IN MAN BY COFFEE AND CAFFEINE

Caffeine, a xanthine found in a variety of seeds and leaves, is nowadays present in a number of pharmaceutical preparations prescribed by physicians.

On the other hand, caffeine is routinely nonmedically consumed by millions of people, all over the world, in the form of coffee, tea, chocolate and cola drinks. This wide use is mainly due to a stimulatory action on the central nervous system (CNS).

Caffeine, of the three natural occurring methyl xanthines, has more marked central effects than theophylline and theobromine which are instead more active peripherally. Caffeine causes wakefulness and increases capacity for intellectual work and allays drowsiness and fatigue. These effects may be seen with single doses between 50 and 200 mg, the amount present in two cups of ground coffee or four cups of instant coffee.

Heavy users of this social beverage show tolerance, cross-tolerance for the xanthine drinks, and physical dependence. The widespread use of coffee may be related essentially to central stimulation, even if this reason is not fully appreciated by many users.

A detailed study of these motivations has been carried out by Goldstein and Keizer (1).

The investigators studied the coffee-drinking habits of 240 young women; these were distributed as shown in table I. The motivations for drinking coffee were as follows: see table II page 286.

Table I

Amount of coffee	Percentage drinking
None	23
1 or 2 cups daily	20
3 or 4 cups	27
5 or more cups	26
Unknown	4
	<hr/> 100

From: Goldstein and Keizer (1)

Table II

Reason	Percentage
Helps you wake up	46
Gets you going in the morning	42
Gives you a "flit"	28
Stimulates you	24
Gives you energy	21

From: Goldstein and Keizer (1)

POSSIBLE MODE OF ACTION OF THE CENTRAL AND METABOLIC EFFECTS OF CAFFEINE

There are few data, at present, to link the effects of caffeine on the CNS with the metabolism of cyclic nucleotides. Cyclic AMP was initially discovered as the intracellular mediator of the glycogenolytic effect of epinephrine and glucagone in the liver by Sutherland and coworkers (5, 6). Since then, it has been recognized as a second messenger mediating a variety of hormonal effects. The formation of cyclic AMP from ATP is catalyzed by the adenylate-cyclase (7). This enzyme is located in the cell membrane and consists of a catalytic subunit facing the interior of the cell and one or more receptors in contact with extracellular fluid (8, 9). The catalytic subunit of all mammalian cells is activated by sodium fluoride. Hormones and neurotransmitters, on the other hand, interact with specific receptor sites, present only on certain cell membrane. Thus a given hormone activates only the adenylate cyclase contained in the tissue in which the hormone exerts its physiological action, thereby explaining the specificity of hormonal action (10). Adenylate cyclase is the main component of an internal signaling system which regulates the activity of most cells. The primary function of this intracellular signal is to mediate the cell response to a wide range of external stimuli. The plasma membrane usually acts as a transducer where the incoming signal (first messenger) is received and transformed into one internal signal (second messenger)

There is no doubt that the excitation at the CNS, produced by large amounts of caffeine, can be followed by depression. Recently, it was demonstrated by several authors (2, 3, 4) that depression (at least maniac depression) could be associated with a decrease of urinary excretion of cyclic AMP.

ger) who is responsible for adjusting the activity of the target cell. This internal signal may undergo amplification in a variety of ways, the last response depending on the enzymatic profile of the type of cell involved. An example of this amplification can be the cascade of events which follows the initial extracellular signal on the adipocyte membrane. Hormonal stimulation of the rate of release of free fatty acids from adipose tissue is affected by activation of a triglyceride-hormone sensitive lipase (HSL). The hormonal effect is mediated by cyclic AMP as « second messenger » via activation of protein kinase, and lipase activation correlates with protein kinase-catalyzed phosphorylation of the enzyme complex. In fact, HSL is activated by a phosphorylation catalyzed by a cAMP-dependent protein-kinase. The intracellular micro-environment may strongly affect the amplification obtained by HSL phosphorylation.

Recent studies have shown that deactivation is catalyzed by endogenous Mg^{++} dependent protein phosphatase (11, 12). The ubiquitous nature of cAMP contributes to the view that it has the role of second messenger in all or most cells. Cyclic AMP is hydrolyzed to 5' AMP by cyclic phosphodiesterase. The enzymic conversion of cAMP to 5' AMP is the only physiological mechanism known to end the action of the cyclic nucleotide.

EFFECT ON PHOSPHODIESTERASE ACTIVITY

The phosphodiesterase activity was also discovered by Sutherland and Rall together to its inhibition by caffeine and other methylxanthines (13).

Cyclic nucleotides phosphodiesterase is also widely distributed in nature, being present virtually in all living cells. It appears from recent studies that it is not a simple molecular entity, but rather it exists in multiple molecular forms (14). The pattern and the ratio of these phosphodiesterase isoenzymes differ between specific

tissue and even between cell types. Each tissue and, perhaps, each cell type appear to have its own unique pattern and ratio of the different phosphodiesterase isoenzymes. This was shown in studies on rat cerebellum (15) and cerebrum (16) and in other tissue such as lung (17), adipose tissue (18), liver (19) and heart (20). Since phosphodiesterase enzymes control the tissue level of cAMP, factors that affect its activity would likewise influence the extent and duration of an hormo-

nal effect. The lipolytic process is of great interest from the stand-point of the biological role of cAMP, because all the hormones acting on it have their effects mediated by formation of cAMP. Both lipolysis and the concentration of cyclic nucleotide are increased in adipose tissue treated with epinephrine, and the degree to which lipolysis is stimulated is directly related to the level of cAMP within the cell. In addition caffeine, as inhibitor of the phosphodiesterase, does potentiate lipolysis, acting synergistically with epinephrine.

Cyclic AMP is thus elevated in some tissue following exposure to caffeine or other methylxanthines by a

mechanism of stimulation which differs from that of catecholamines. Thus both the methylxanthines and the catecholamines would be expected to have those particular pharmacological properties that are thought to depend on their common ability to increase intracellular cAMP concentration. In addition by virtue of their differing sites of action, these effects of caffeine could be expected to result in a potentiation rather than in a simple addition of those effects induced by other substances that are due to increased concentrations of cAMP.

PHARMACOLOGICAL EFFECTS AT CELLULAR LEVELS

The pharmacological effects of caffeine are summarized in table III where they are compared with the potencies of the other two naturally occurring purine alkaloids. As the mechanism of action at cellular level is likely to be the same, we can speculate for caffeine also where it is less active.

Could these effects be explained at cellular levels in term of cyclic nucleotide increased concentration ?

First of all, for example, does cAMP have a mediator role as the second messenger of the positive inotropic effect of substances that increase its concentration in the myocardium ?

It was observed (21, 22) the positive inotropic effect

of a derivative of cAMP, used as more soluble form of the naturally occurred nucleotide. This effect is not blocked by propranolol but could be potentiated by methylxanthines (23). The effect of a methylxanthine on myocardium contractions, phosphodiesterase activity and concentration of cAMP was correlated by Kukowetz (24). Therefore cAMP does mediate the positive inotropic effect of drugs which have been shown to inhibit PDE in cardiac muscle. This effect would be similar to that of catecholamines except, as we already said, that the increase in the level of cAMP is brought about by a different mechanism.

Table III. — Pharmacological activity of the purine alkaloids

	CNS and respiratory stimulation	Skeletal muscle stimulation	Cardiac stimulation	Coronary dilatation	Smooth muscle relaxation	Diuresis
Caffeine	+++	+++	+	+	+	+
Theophylline	++	++	+++	+++	+++	+++
Theobromine	+	+	++	++	++	++

THE ROLE OF CALCIUM

Experimental studies, particularly on the skeletal muscle, where caffeine is most effective, have emphasized the involvement of calcium in some pharmacological actions of caffeine.

Isolated frog sartorius muscle exposed to high concentrations of caffeine (0.05 %) shows a prolonged contraction (25). This contraction is not accompanied by an electrical change in the membrane, but there is a marked increase in both the influx and efflux of

calcium ions. When calcium is removed from the external medium and the influx is prevented, caffeine still increases the calcium efflux and still produces a contracture.

For these reasons, it has been suggested that caffeine, which readily penetrates muscle cells, reduces the binding of calcium in both the stable pool (membrane) and the exchangeable one (cytoplasm). The final result is an increase of the intracellular availability of

calcium which, in turn, affects the contractile status of the muscle (26, 27).

Until very recently, despite the evidence that calcium is functioning as a mediator in contraction, the importance of calcium as a second messenger too, has not been fully appreciated. The first indication that the level of an internal signal might regulate cell activity, on the other hand, came from studies on the control of muscle contraction, where calcium has a second messenger function during the stimulus-contraction coupling. In 1970 Rasmussen (28) first emphasized the important role played by the interaction between cyclic AMP and calcium, during the hormone action. Unfortunately there are very few information on the interaction between cyclic nucleotides and calcium. On the other hand the very rapid turnover of both calcium and the cyclic nucleotides suggests that there is also an homeostasis of the second messengers. This homeostasis results from a dynamic balance between biochemical processes that are continuously switching on and those that are switching off the signal. The signaling system is allowed to induce the physiological speedy modifications at the cell membranes, as soon as the signal input arrived due to the rapid turnover of the second messengers. During a single heartbeat is observed oscillation in cAMP content (29) in parallel with an increase in intracellular calcium availability which activates contraction. Catecholamines having cAMP as a second messenger regulate the physiological role of calcium (30). Therefore the action of caffeine or methylxanthines in cardiac muscle too are brought about by cAMP which modulates the complex processes responsible of the calcium signal during the stimulus-contraction coupling.

The interaction of cyclic nucleotides and calcium in the control of cellular activity has been analyzed in detail by Berridge (1975) (31) on a variety of systems such as adrenal medulla, cortex, smooth muscle, liver, blood platelets. Caffeine, together with PGE₁ (32) and PGI₂ (33), counteracts or inhibits platelet aggregation

which ultimately is due to the cAMP and calcium interaction (fig. 1). The conclusions by Berridge are that caffeine, as an inhibitor of PDE, shows its known pharmacological activity by modifying the half-life and concentrations of cAMP. Firstly, in some metabolic tissues, such as adipose tissue, cAMP seems to be the most important second messenger. Secondly, in the skeletal muscle contraction, cAMP plays a secondary role to augment or to facilitate the calcium signal which, indeed, is the intracellular messenger for stimulating activity. In the smooth and cardiac muscle as well as in blood platelets, the major stimulating cellular activity in one direction is again calcium, which mediates contraction; whereas the stimulation of the cell in the opposite direction (smooth muscle relaxation) depends on a decline in the calcium level brought about by a negative feedback control of cyclic AMP.

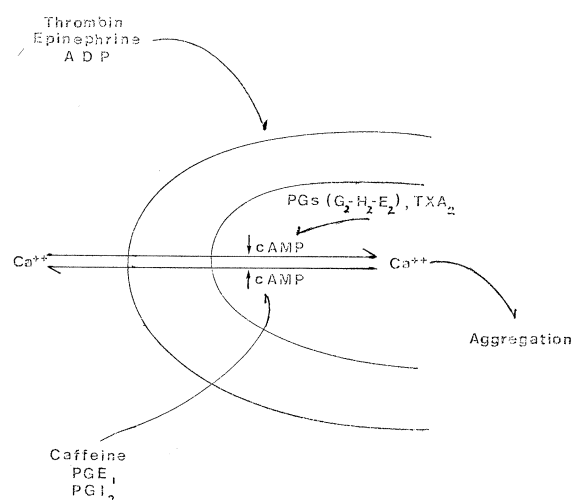


Fig. 1

BIOCHEMICAL INTERPRETATION OF THE CENTRAL EFFECTS

The central effects of caffeine are also related to the fundamental role of cAMP.

In our Institute, Berti, Fumagalli *et al.* (34) demonstrated in brain tissue slices that theophylline as well as caffeine (personal communication) are able to potentiate the formation of cAMP stimulated by PGE₂. The importance of this nucleotide in brain is indicated by the fact that in mammals, the brain levels of the two enzymes, adenylate cyclase which forms cAMP from ATP and phosphodiesterase which breaks down cAMP to 5' AMP, are highest than in any other tissue. Therefore a drug affecting cyclic nucleotide metabolism may alter the physiological responses because of the ubiquitous nature of cyclic nucleotides and the variety of responses they produce. It is difficult to

conceive how one can alter the function of a specific cell type, manipulating cyclic nucleotide metabolism without changing at the same time the concentration of cyclic nucleotides in other cells and, consequently, altering their function as well. This problem may be overcome, because the metabolism of the cyclic nucleotides is controlled by an extremely complex system of enzymes consisting of many isoenzymes and receptor subunit (14).

In the central nervous system the phosphodiesterases are in several different molecular forms too with different molecular weight, ion requirements, substrate affinities and susceptibility to activators and inhibitors. Furthermore the activity of the multiple forms of phosphodiesterase can be altered both acutely and

chronically ; acutely by activating or inhibiting the enzyme and chronically by changing the concentration of the enzyme (35).

Several studies have now shown that the individual forms of phosphodiesterases can be inhibited selectively by pharmacological agents. This selective inhibition is probably due to differences in drug mechanisms of action. The methylxanthines act as competitive inhibitors of phosphodiesterase (35).

The phosphodiesterases appear to be those important physiological regulators of the intracellular concentration of cyclic nucleotides, particularly of cAMP which in brain areas has twenty to seventy times higher concentrations than those of cGMP (14). Since the cyclic nucleotides influences the most basic processes in biology, any modification of the intracellular concentration of this compound, might disrupt normal physiological function and lead to disease.

The cyclic nucleotide phosphodiesterases which hydrolyze cAMP are instrumental in controlling the concentration of this cyclic nucleotide. Caffeine and methylxanthines inhibit phosphodiesterase activity by competing with the cyclic nucleotide substrate having similar chemical structure. Therefore caffeine alters the metabolism of cyclic AMP in peripheral as well as in the CNS. Whether there is also an increase in brain cAMP responsible for its central stimulating action and/or for its tolerance development, remained under debate. As a speculation it is possible to suggest that daily intake of caffeine beverages modifies the biochemical properties of some phosphodiesterase isoenzymes so that the « well feeling », may be associated with an higher cAMP concentration than the normal one or alternatively caffeine might determines chronic alteration of enzyme activity.

REFERENCES

1. A. GOLDSTEIN, S. KEIZER. — Psychotropic Effects of Caffeine in Man. III. A Questionnaire survey of coffee drinking and its effects in a group of housewives. *Clin. Pharmac. and Ther.* (Saint-Louis), **10**, 478, 1969.
2. M. I. PAUL, D. P. DITZION, G. L. PAUK, D. S. JANOWSKY. — Urinary adenosine 3',5'-monophosphate excretion in affective disorders. *Am. J. Psychiatry* (Washington), **126**, 1493, 1970.
3. M. I. PAUL, H. CRAMER, W. E. BUNNEY Jr. — Urinary adenosine 3',5'-monophosphate in the switch process from depression to mania. *Science* (Washington), **171**, 300, 1971.
4. Y. H. ABDULLA, K. HAMADAH. — 3',5'-Cyclic adenosine monophosphate in depression and mania. *Lancet* (London), **1**, 378, 1970.
5. E. W. SUTHERLAND, T. W. RALL. — Relation of adenosine 3',5'-phosphate and phosphorylase, the action of catecholamines and other hormones. *Pharmacol. Rev.*, **12**, 265, 1960.
6. E. W. SUTHERLAND, G. A. ROBISON. — The role of cyclic 3',5'-AMP in responses to catecholamines and other hormones. *Pharmacol. Rev.* (Baltimore), **18**, 145, 1966.
7. P. R. DAVOREN, E. W. SUTHERLAND. — Cellular location of adenylyl cyclase in the pigeon erythrocyte. *J. Biol. Chem.* (Baltimore), **238**, 3016, 1963.
8. J. KHOO, D. STEINBERG, B. THOMPSON, S. MAYER. — Hormonal regulation of adipocyte enzymes. *J. Biol. Chem.* (Baltimore), **248**, 3823, 1973.
9. L. BIRNBAUMER, S. L. POHL, M. L. KRAMS, M. RODBELL. — The actions of hormones on the adenylyl cyclase system. *Adv. Biochem. Psychopharmacol.* (New York), **3**, 185, 1970.
10. G. KRISHNA, J. FORN, K. VOGT, M. PAUL, G. L. GESSA. — Dynamic aspects of neurohormonal control of cyclic 3',5'-AMP synthesis in brain. *Adv. Biochem. Psychopharmacol.* (New York), **3**, 155, 1970.
11. S. TSAI, M. VAUGHAN. — Inactivation of hormone-sensitive lipase extracts of adipose tissue. *J. Biol. Chem.* (Baltimore), **247**, 6253, 1972.
12. S. TSAI, H. M. FALES, M. VAUGHAN. — Inactivation of hormone-sensitive lipase from adipose tissue with adenosine triphosphate, magnesium, and ascorbic acid. *J. Biol. Chem.* (Baltimore), **248**, 5278, 1973.
13. R. W. BUTCHER, E. W. SUTHERLAND. — Adenosine 3',5'-phosphate in biological materials: I. Purification and properties of cyclic 3',5' nucleotide phosphodiesterase and use of this enzyme to characterize adenosine 3',5'-phosphate in human urine. *J. Biol. Chem.* (Baltimore), **237**, 1244, 1962.
14. B. WEISS, L. H. GREENBERG. — Physiological and pharmacological significance of the multiple forms of cyclic nucleotide phosphodiesterase, presented at the « NATO Adv. Study Institute » on Cyclic Nucleotide, Tremezzo (Como), Italy, September 19-30, 1977.
15. P. UZUNOV, B. WEISS. — Separation of multiple molecular forms of cyclic adenosine 3',5'-monophosphate phosphodiesterase in rat cerebellum by polyacrylamide gel electrophoresis. *Bioch. Biophys. Acta* (Amsterdam), **284**, 220, 1972.
16. P. UZUNOV, H. M. SHEIN, B. WEISS. — Cyclic AMP phosphodiesterase in cloned astrocytoma cells: norepinephrine induces a specific enzyme form. *Science* (Washington), **180**, 304, 1973.
17. R. FERTEL, B. WEISS. — Properties and drug responsiveness of cyclic nucleotide phosphodiesterases of rat lung. *Mol. Pharmacol.* (New York), **12**, 678, 1976.
18. U. KLOTZ, S. BERNDT, K. STAK. — Characterization of multiple cyclic nucleotide phosphodiesterase activities of rat adipose tissue. *Life Sci.* (Oxford), **11**, 7, 1972.
19. J. SCHORED, H. V. RICKENBERG. — Partial purification and properties of the cyclic AMP and the cyclic GMP phosphodiesterases of bovine liver. *Biochim. Biophys. Acta* (Amsterdam), **302**, 50, 1973.
20. E. N. GOREN, O. M. ROSEN. — Purification and properties of a cyclic nucleotide phosphodiesterase from bovine heart. *Arch. Biochem. Biophys.* (New York), **153**, 384, 1972.
21. T. POSTERNAK, E. W. SUTHERLAND, W. F. HENION. — Derivatives of cyclic 3',5'-adenosine monophosphate. *Bioch. Biophys. Acta* (Amsterdam), **65**, 558, 1962.

22. C. L. SKELTON, G. S. LEVEY, S. E. EPSTEIN. — Positive inotropic effect of dibutyryl cyclic adenosine 3',5'-monophosphate. *Circulation Res.* (New York), **26**, 35, 1970.
23. C. L. SKELTON, F. E. KARCH, S. E. EPSTEIN. — Potentiation of the inotropic effect of norepinephrine and dibutyryl-cyclic AMP by theophylline. *Circulation* (New York), (Suppl. III) **41** and **42**, 200, 1970.
24. W. R. KUKOVETZ, G. PÖCH. — The positive inotropic effect of cyclic AMP. *Adv. in Cyclic Nucleotide Research*, Eds. : P. Greengard, R. Paoletti and A. Robinson, Raven Press, N.Y. vol. 1, 261, 1972.
25. C. P. BIANCHI. — The effect of caffeine on radiocalcium movement in frog sartorius. *J. Gen. Physiol.* (New York), **44**, 845, 1961.
26. C. P. BIANCHI. — Pharmacological action on excitation-contraction coupling in striatal muscle. *Fed. Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol.*, **27**, 126, 1968.
27. C. P. BIANCHI. — Cellular pharmacology of contraction of skeletal muscle. *In: Cellular Pharmacology of Excitable Tissues*, Ed. T. Narahashi, Charles C. Thomas, Publ., Springfield, Ill., 1975.
28. H. RASMUSSEN, N. NAGATA. — Hormones cell calcium and cyclic AMP. *In: Calcium and Cellular Function*. Ed. A. W. Cuthbert, Macmillan, London, p. 198, 1970.
29. G. BROOKER. — Oscillation of cyclic adenosine monophosphate concentration during the myocardial contraction cycle. *Science* (Washington), **182**, 933, 1973.
30. G. A. ROBINSON, R. W. BUTCHER, I. ØYE, E. MORGAN, E. W. SUTHERLAND. — The effect of epinephrine on adenosine 3',5'-phosphate levels in the isolated perfused rat heart. *Molec. Pharmac.* (New York), **1**, 168, 1965.
31. M. J. BERRIDGE. — The interaction of cyclic nucleotide and calcium in the control of cellular activity. *Adv. in Cyclic Nucleotide Res.*, Eds. P. Greengard, G. A. Robinson, Raven Press, N.Y., vol. 6, 1, 1975.
32. E. W. SALZMAN, H. WEISENBERGER. — Role of cyclic AMP in platelet function. *Adv. Cyclic Nucleotide Res.*, Eds. P. Greengard, R. Paoletti and G. A. Robinson, Raven Press, New York, vol. 1, 231, 1972.
33. S. MONCADA, R. J. GRYGLEWSKI, R. J. BUNTING, J. R. VANE. — An enzyme isolated from arteries transforms prostaglandin endoperoxides to an unstable substance that inhibits platelet aggregation. *Nature* (London), **263**, 663, 1976.
34. F. BERTI, M. TRABUCCHI, V. BERNAREGGI, R. FUMAGALLI. — Prostaglandins on cyclic-AMP formation in brain slices. *Adv. in Biosciences*, **9**, 476, 1973.
35. B. WEISS. — Differential activation and inhibition of the multiple forms of cyclic nucleotide phosphodiesterase. *Adv. Cyclic Nucleotide Res.* Eds. G. I. Drummond, P. G. Greengard and G. A. Robinson, Raven Press, N.Y., vol. 5, 195, 1975.
36. M. CHASSIN, D. N. HARRIS. — Inhibitors and activators of cyclic nucleotide phosphodiesterase. *Adv. Cyclic Nucleotide Res.*, Eds. P. Greengard and G. A. Robinson, Raven Press, N.Y., vol. 7, 225, 1976.

PUGLISI (L.), MAGGI (F.), PAOLETTI (R.). — **Sites moléculaires et cellulaires de l'action de la caféine.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 285-290, fig., tabl.

Les effets de la caféine sur le système central et le système périphérique sont réexaminés au niveau cellulaire ; la caféine et les xanthines inhibent en effet les enzymes phosphodiéstrases, qui eux-mêmes inactivent le messager secondaire du contrôle hormonal.

Cette inhibition des phosphodiéstrases, l'augmentation des effets du cAMP (nucléotide cyclique) sur les tissus nerveux centraux et sur les organes périphériques sont discutés en détail. On établit ainsi une relation entre l'action de la caféine au niveau cellulaire et son influence sur le comportement et on explique les effets de la caféine et des xanthines au niveau clinique.

PUGLISI (L.), MAGGI (F.), PAOLETTI (R.). — **Molecular and cellular sites of action of caffeine.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 285-290, fig., tabl., réf.

The central and peripheral effects of caffeine are reinvestigated on the basis of the inhibitory effects of this and related components of the phosphodiesterase enzymes which inactivate the second messenger of the hormonal control.

The inhibition of phosphodiesterases and the potentiation of cAMP effects in the central nervous tissues and in peripheral organs are discussed in detail and the relationship between the effects at molecular levels the cellular and behavioural modifications and the clinical effects of caffeine, and its congeners, are elucidated.

DIE SENSORISCHEN UND ZENTRALNERVÖSEN WIRKUNGEN DES COFFEINHALTIGEN UND DES COFFEINFREIEN KAFFEES



o. Prof. Dr. med. W. MÜLLER-LIMMROTH

Direktor des Instituts für Arbeitsphysiologie
der Technischen Universität München

Während mit der Einführung der Dampfmaschine in die industrielle Produktion die 1. Industrielle Revolution zu kennzeichnen ist, trägt die seit knapp 15 Jahren stürmisch ablaufende 2. Industrielle Revolution die wesentlichen Merkmale Mechanisierung, Rationalisierung und Automatisierung. Das bedeutet, daß in der Arbeitswelt von heute der Anteil an körperlicher Beanspruchung immer mehr abgenommen hat, dafür aber der Anteil an geistiger, sensorischer und psychischer Beanspruchung des Menschen gewachsen ist. Von ihm werden heute mehr Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten verlangt, wobei die Fülle der optischen und akustischen Informationen, auf die der Mensch reagieren muß, wächst.

Im Hinblick auf den Genuß belebender Getränke wie Kaffee ist dieser Wechsel in der Arbeitswelt von Bedeutung, da eine psychomentele Aktivierung seine Grenzen hat. Die hier vorgetragenen Untersuchungsergebnisse sollten einen Hinweis dafür liefern, daß je nach den Ausgangsbedingungen ein coffeinhaltiger Kaffee aktivieren, aber auch eine Leistung verschlechtern kann.

Warum das so ist, erklärt sich aus den anatomischen und physiologischen Gegebenheiten in einer Reihe von Strukturen und Zentren im Gehirn. Wie die Abbildung 1 (S. 292) zeigt, beeinflußt das (Abb. 2, S. 292),

Wachsamkeit und Aufmerksamkeit verantwortliche, unspezifische Aktivierungssystem des Mittelhirns, die sog. Reticularformation :

- die Leistungen der Großhirnrinde (Gedächtnisleistungen, Handlungsauslösung und Empfindung),
- die Affektlage eines Menschen,
- über das Zwischenhirn (Hypothalamus) vegetativ innervierte Organe und Organsysteme (Herz, Kreislauf, Magen-Darmkanal), und
- über die Regelkreise des Rückenmarks den Muskelruhetonus und die Feinmotorik bei Willkürbewegungen.

Wird der Aktivitätspegel in der Reticularformation über das normale Niveau angehoben (Abb. 2, S. 292), so erhöhen sich neben der Wachheit auch die Erregbarkeit der Großhirnrinde, die Aktivität des Zwischenhirns, verbunden mit Pulsbeschleunigungen, Blutdrucksteigerungen, Störungen der Magen-Darmtätigkeit und der Schlafwachsteuerung, es steigt die Muskelruhespannung bei Versteifungen der ungenauer werdenden Willkürbewegungen. Überschreitet der Aktivitätspegel eine von Mensch zu Mensch verschiedene Stättigungsgrenze, so wird die Wachzentrale übersteuert und schaltet mehr oder weniger ab, so daß ein Zustand « gespannter Erschöpfung » eintritt. In diesem Bereich wird die sog. « Streßreaktion » ausgelöst (Abb. 2). Sie besteht in einer Vorbereitung eines Individuums, auf starke und wiederholte Expositionen von Stressoren (physisch, psychisch, mental, sozial) mit Angriff oder Flucht, also motorisch reagieren zu können. Deshalb besteht die Stressreaktion aus einer allgemeinen Anregung des vegetativen Nervensystems mit Blutdruckerhöhung und Pulsbeschleunigung sowie Beeinflussungen der Magen-Darmtätigkeit. Ferner werden die Abwehrmechanismen des Blutes gegen Infektionen gedämpft (Immunsuppression) und die Konzentration an Glucose und Fetten im Blut erhöht.

Eine ständige Wiederholung einer derartigen Stressreaktionsauslösung führt dann zu einem Zustand, den man mit « gespannter Erschöpfung » bezeichnen kann.

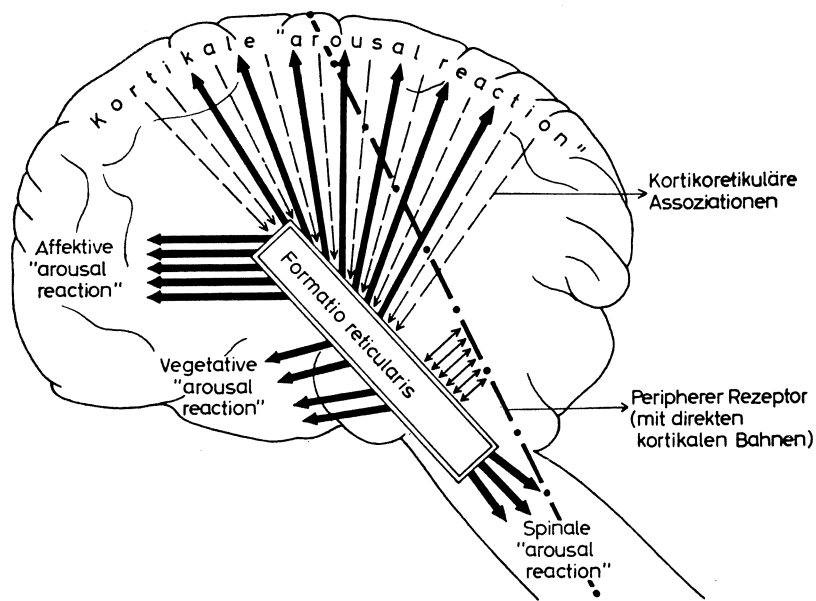


Abb. 1

Aktivitätsniveau in der Reticularformation

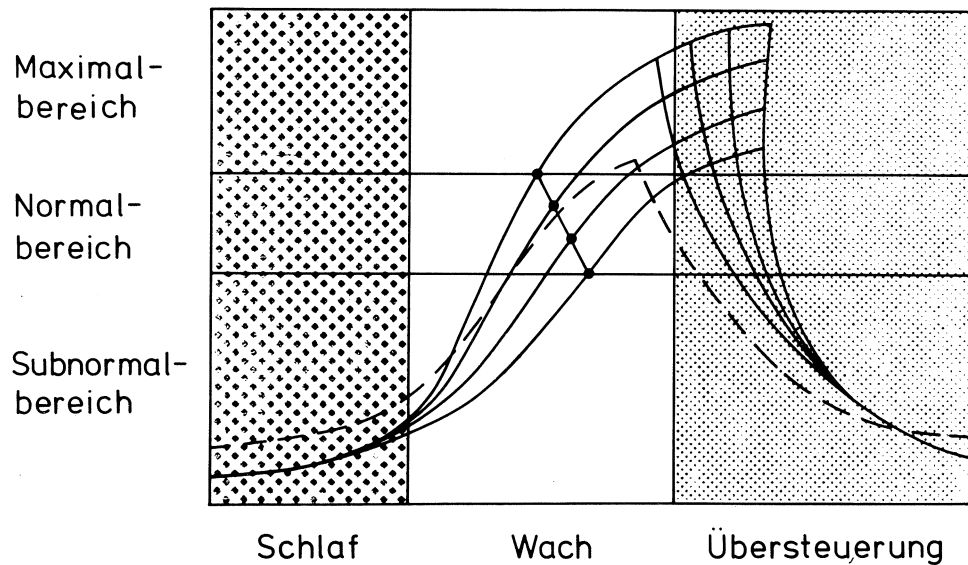


Abb. 2

Sinkt auf der Kennlinie der Reticularformation der Arbeitspunkt ab, so verringert sich auch der Wachpegel mit allen übrigen Zeichen der Ermüdung: Blutdrucksenkung, Pulsverlangsamung und Einschlafneigung. Eine solche Absenkung des Wachniveaus stellt sich auch bei monotonen und reizarmen Situationen ein.

Da die Höhe des Aktivitätspegels in der Wachzentrale vom Ausmaß der in das Gehirn einlaufenden

Informationen aus den Sinnesorganen und der Rückmeldungen aus dem Großhirn, dem Affektzentrum, den vegetativen Zentren des Zwischenhirns und aus dem Muskelsinn abhängig ist, wird deutlich, daß bei vielen Menschen der obere, d.h. der Stressbereich der Kennlinie der Wachzentrale oft erreicht wird.

Wie rasch das möglich ist, hängt von der Steilheit der Kennlinie ab, die eine individuelle Größe darstellt. So gelangen Menschen mit steiler reticulärer Kennlinie,

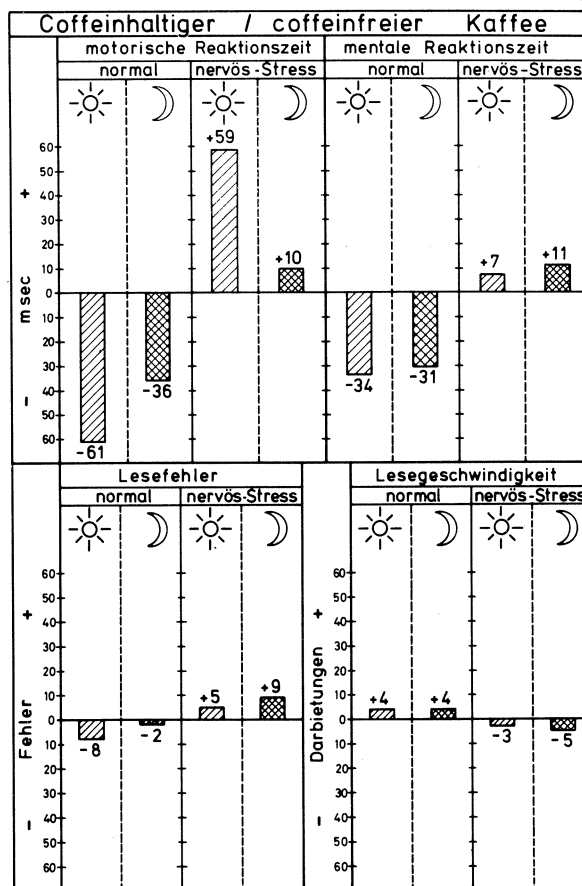
also vom Temperament her nervöse und reizbare Menschen leichter in den Stressbereich als ruhige und gelassene Temperamente.

Da Coffein einen im Tierexperiment eindeutig nachgewiesenen Aktivierungseffekt auf die reticuläre Wachzentrale aufweist, muß beim Genuß von Kaffee die Coffeinwirkung nicht nur von der zugeführten Dosis und der Aufnahmegeschwindigkeit des Coffeins im Magen-Darm-Kanal abhängen, sondern auch von der Ausgangslage des Kaffeetrinkers, wie der Arzt sagt. Gemeint ist damit, ob sich der Kaffeetrinker im unteren oder oberen Bereich der Aktivitätskurve der Wachzentrale befindet. Wurde der Kaffee nämlich zu einem Zeitpunkt getrunken, zu dem ein Mensch sich im Streßbereich oder sogar schon im Stadium der gespannten Erschöpfung befindet, so muß das zu einer Verschlechterung einer zu fordernden Leistung führen, während der Genuß eines coffeinfreien Kaffees eine solche Leistungsminderung nicht herbeiführt.

Zur Überprüfung dieser Annahme wurden zwölf Versuchspersonen angehalten, auf einen Signalton möglichst rasch eine Fußtaste zu betätigen und eine für dreissig Millisekunden dargebotene Buchstabenkombination möglichst schnell und fehlerfrei zu lesen. Signalton- und Buchstabendarbietungsfolge haben keinen zeitlichen starren Rhythmus, sondern wurden von den Versuchspersonen selbst bestimmt, indem sofort nach Sprechende ein neuer Signalton ausgelöst wird. Langsames Lesen führte also zu einer späteren Anbietung des nächsten Signaltons. Jede Versuchsperson konnte so je nach ihrer Reaktionsfähigkeit ihre maximale Lesegeschwindigkeit erreichen. Die Lesegeschwindigkeit ergab sich aus Anzahl der während 5 Minuten gelesenen Buchstabenkombinationen. Zur Motivationsverbesserung wurden Prämienzahlungen geleistet. Die Versuche wurden am Vormittag sowie als Streßsituation bei Nacht durchgeführt. Bei 4 Versuchspersonen lag eine vegetative Dystonie vor, die bereits als eine streßbegünstigende Ausgangslage anzusehen ist. Gemessen wurden neben den **Lesefehlern**, die **motorische Reaktionszeit** (Fußpedalbedienung nach Signalton) und die **geistige Reaktionszeit** (Beginn des lauten Lesens nach Darbietung der Buchstabenkombination). Nach einem Übungsversuch von dreißig Minuten und einem Leerversuch von 1 Stunde wurde je ein einstündiger Versuch morgens und nachts mit einem coffeinhaltigen und coffeinfreien Kaffeegetränk (zwei Tassen = 180 mg Coffein) im Doppelblindversuch durchgeführt.

Danach führt (Abb. 3) **coffeinhaltiger Kaffee** im Vergleich zum coffeinfreien **unter Normalbedingungen morgens** zu einer **Verkürzung der motorischen Reaktionszeit** von 424 ± 55 Millisekunden auf 363 ± 49 Millisekunden, also **um 61 Millisekunden**, **nachts** von 421 ± 41 Millisekunden auf 385 ± 35 Millisekunden, also **um Millisekunden**.

Bei vegetativ empfindlichen bzw. unter Streß stehenden Menschen bewirkte Coffein demgegenüber eine **Verlängerung der motorischen Reaktionszeit um 59 Millisekunden morgens** und **um 10 Millisekunden nachts** im Vergleich zum Verhalten nach Genuß von coffeinfreiem Kaffee.



Auch bei der **mentalen Reaktionszeit** (Abb. 3) waren diese Veränderungen, wenn auch in schwächerer Ausprägung nachweisbar. **Coffeinhaltiger Kaffee verkürzte die mentale Reaktionszeit** morgens von 790 ± 43 Millisekunden auf 756 ± 42 Millisekunden, also **um 34 Millisekunden**, **nachts** von 802 ± 51 Millisekunden auf 771 ± 49 Millisekunden, also **um 31 Millisekunden**. Vegetativ labile und streßempfindliche Personen wiesen dagegen **unter Coffein** eine, allerdings **nicht signifikante Verlängerung der mentalen Reaktionszeit um 7 Millisekunden am Morgen** und **um 11 Millisekunden bei Nacht** auf.

Die **Fehlerzahl** (Abb. 3) beim Lesen der Buchstabenkombinationen **verringerte sich unter Normalbedingungen durch Coffein** morgens von 24 ± 7 auf 16 ± 5 , also **um 8 Fehler**, **nachts** von 14 ± 3 auf 12 ± 1 , also **unbedeutend um 2 Fehler**.

Vegetativ empfindliche und nervöse Menschen machten dagegen **unter Coffein** morgens **5** und **nachts** sogar **9 Fehler** mehr als nach Genuß von coffeinfreiem Kaffee.

Schließlich stieg nach Coffein die Zahl der unter Normalbedingungen in fünf Minuten gelesenen Buchstabenkombinationen (Abb. 3) als Maß für die **Lese-geschwindigkeit nur wenig** an, morgens von 102 ± 5 auf

MÜLLER-LIMMROTH (W.). — **Les effets du café et du café décaféiné au niveau sensoriel et sur le système nerveux central.** VIII^{ème} Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 291-294, fig.

L'action du café contenant de la caféine (180 mg) et du café décaféiné sur un travail psychomental (lecture de termes synthétiques comprenant un test de réaction motrice) a été étudiée selon un système en double aveugle sur douze personnes normales et sensibles sur le plan végétatif ou en état de stress.

Dans des conditions normales, le café contenant de la caféine provoque, par rapport au café décaféiné, une diminution du temps de réaction motrice. Par contre, chez les personnes sensibles la caféine induit une augmentation de ce temps de réaction.

En ce qui concerne le temps de réaction mentale, les mêmes phénomènes, mais d'intensité moindre, ont été constatés.

Pour les personnes saines la caféine diminue le nombre d'erreurs commises à la lecture de combinaisons de lettres, alors qu'elle l'augmente chez les personnes sensibles par rapport à l'ingestion de café décaféiné.

La vitesse de lecture augmente peu avec la caféine pour les personnes saines et diminue pour les personnes sensibles.

MÜLLER-LIMMROTH (W.). — **Die sensorischen und zentral nervösen Wirkungen des coffeinhaltigen und des coffeinfreien Kaffees.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 291-294, fig.

An zwölf Versuchspersonen wurde in einer Doppelblindstudie die Wirkung des coffeinhaltigen (180 mg Coffein) und coffeinfreien Kaffees auf eine psychomentalen Leistung, nämlich Lesen synthetischer Wörter unter Einschluß eines motorischen Reaktionstests unter Normalbedingungen oder bei vegetativer Labilität bzw. unter Streßbedingungen untersucht.

Danach bewirkt coffeinhaltiger Kaffee im Vergleich zum coffeinfreien unter Normalbedingungen eine Verkürzung der motorischen Reaktionszeit. Bei vegetativ empfindlichen bzw.

106 ± 6 also **um vier Kombinationen**. Allerdings lasen vegetativ labile Personen unter Coffein morgens drei und nachts sogar fünf Buchstabenkombinationen weniger als nach dem Genuß von coffeinfreiem Kaffee.

MÜLLER-LIMMROTH (W.). — **The sensory and central nervous effects of caffeine-containing and caffeine-free coffees.** VIII^{ème} Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 291-294, fig.

The action of caffeine-containing coffee (180 mg) and decaffeinated coffee on a psychomental task (reading of synthetic terms including a motor reaction test) has been studied according to a « double-blind » system concerning twelve healthy and sensitive subjects.

On normal conditions, the caffeine-containing coffee leads to a decrease of the motor reaction time in comparison with decaffeinated coffee.

On the other hand, the caffeine induces an increase of this reaction time by sensitive persons.

With regard to the mental reaction time, the same phenomena, but of less importance, have been observed.

As far as healthy subjects are concerned, the caffeine reduces the number of errors in reading letter arrangements, whereas it increases this number by sensitive persons, in comparison with decaffeinated coffee consumption.

The reading speed increases slightly with caffeine for healthy subjects and decreases for sensitive ones.

unter Streß stehenden Menschen bewirkte Coffein demgegenüber eine Verlängerung der motorischen Reaktionszeit im Vergleich zum Verhalten nach Genuß von coffeinfreiem Kaffee.

Auch bei der mentalen Reaktionszeit waren diese Veränderungen, wenn auch in schwächerer Ausprägung nachweisbar.

Coffein verringerte normalerweise die Fehlerzahl beim Lesen der Buchstabenkombinationen. Vegetativ empfindliche und nervöse Menschen machten unter Coffein sogar mehr Fehler als nach Genuß von coffeinfreiem Kaffee.

Die Lese-geschwindigkeit stieg normalerweise unter Coffein nur wenig an. Dagegen lasen vegetativ sensible und gestreßte Personen unter Coffein weniger Buchstabenkombinationen.

DIE ENTSPANNUNGSPHASE NACH KAFFEEGENUß : VERSUCH EINER ANALYSE

Med.-Dir. Dr. R. ULRICH

MPH, Bremen, Hauptgesundheitsamt

Die zentral stimulierende Wirkung von Kaffee kann nach Künckel in seinen einzelnen Phasen elektroenzephalografisch nachgewiesen werden. Coffein und coffeinhaltiger Kaffee führen nämlich zu einer signifikanten Abnahme der Theta-Amplitude, der Theta-Frequenz und der Theta-frequenz-Variabilität.

Dieser Befund ist Ausdruck einer Aktivierungs- und Vigilanzsteigerung. Legt man diesen Effekt psychisch aus, dann spricht man von einer erhöhten psychischen Bereitschaftshaltung und von einem gesteigerten Wacheffekt, sodaß man also den Kaffee in diesem Sinne als ein Psychopharmakon bzw. als ein Psychoenergetikum bezeichnen kann, Neben der Zunahme des Antriebs der verkürzten Reaktionszeit, der Assoziationszunahme kommt es — und das soll im Vordergrund der Betrachtung stehen — zu einer Stimmungsänderung, die bis zu dem Gefühl einer Euphorie reichen kann. Pharmakologisch kann sie der Wirkung des Saridon ähnlich sein.

Bei einer Dosissteigerung kippt die Euphorie in eine Dysphorie mit Mißempfindungen um, wie es ausführlich von Levenson beschrieben wird. Es kommt zu Kopfschmerzen, Unruhe, Herzklopfen, Angstgefühl und Reflexsteigerungen und von anderen Autoren werden Launenhaftigkeit, Zanksucht, Redesucht und Reizbarkeit beschrieben.

Im Rahmen dieser sog. euphorischen Phase kommt es bei einer als normal zu bezeichnenden Ausgangslage, zu einem subjektiven angenehmen Entspannungsgefühl, das auch von Goldstein und Kaizer beschrieben wird. Es ist erstaunlich, daß ein großer Teil, der von diesen Autoren befragten Patienten auf die stimulative Wirkung des Kaffees besonderen Wert legt, daß aber immerhin, und das in einer bestimmten Gruppe, 14-24 Prozent der Befragten die entspannende Wirkung des Kaffees besonders bevorzugen, sie gehören allerdings zu dem Kreis derjenigen, die besonders häufig Kaffee trinken.

Es besteht also nach diesen Feststellungen kein

Zweifel, daß der Kaffeeverbraucher einen psychotropen Effekt sucht, den er augenscheinlich seiner eigenen Erfahrung nach in der Lage ist jederzeit zu reproduzieren.

Diese Reproduzierbarkeit muß allerdings aufgrund neuer Erkenntnisse bestritten werden. Es scheint nämlich keine uniforme Ausgangslage für den psychischen Kaffee-Effekt zu geben. Bereits 1968 konnte darauf hingewiesen werden, daß die psychische Leistungsfunktion nach Kaffee-Aufnahme letztlich vom Großhirn und auch vom Vegetativum neural und humoral geregelt wird., d.h. daß die Basis, auf der die Kaffeewirkung sich sozusagen aufbaut, außerordentlich unterschiedlich sein kann. Es kommt dabei nach Müller-Limmroth neben der Dosis und der Resorptionsgeschwindigkeit entscheidend auf die Ausgangslage in der Retikularformation an. Infolgedessen ergeben sich aus der Schaltstellung der formatio reticularis intra individuelle Wirkungsunterschiede, die sich bis zu einer paradoxen Reaktion steigern können. Es handelt sich dabei nach Selbach um eine hohe Labilitätsstufe mit neurozirkulatorischen Dystonier-Entgleisung.

Nach Levy handelt es sich hier um eine Art Distress, bedingt Z.B. durch Zeitdruck, Hetze, Lärm, Ärger und abnorme Umweltbedingungen. Wenn man diesen Effekt vom Patienten aus betrachtet, dann beabsichtigt er durch die Aufnahme von Kaffee aus einer negativen psychischen Schwankung herauszukommen, muß in dieser Situation auf die erwartete Entspannungssituation verzichten und gerät, ohne Übergang, in eine Phase des Driving, also in eine erhöhte motorische Unruhe. — Er gerät u.U. in eine Phase der Überdosierung, obwohl er eigentlich seine übliche Kaffeedosis nicht überschritten hat. Diese Situation kommt besonders dann zustande, wenn die formatio reticularis in einen hohen Wachheitseffekt bereits hineingeschaltet worden ist, d.h. wenn der Patient den Kaffee in einer ausgesprochenen

Stress-Situation zu sich nimmt. Wenn sich diese Situation wiederholt, kann es sein, daß der Patient die Meinung vertritt, daß er nunmehr keinen Kaffee mehr vertragen kann, daß er dann auf den Kaffeegenuß verzichtet, bzw. daß er den in dieser Situation angeblich besser verträglichen Tee bevorzugt.

ULRICH (R.). — **La phase de détente après l'absorption de café : Essai d'analyse.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 295-296.

Une des principales motivations de la consommation de café est son action psychotrope. En sus de l'activation des tendances stimulatrices, de l'impulsion psychomotrice, de l'éveil et de l'amélioration des qualités d'attention, il existe au premier plan une sensation subjective très agréable décrite généralement comme action de détente.

Elle représente certainement un facteur significatif dans le cadre de la phase d'absorption du café.

Les conditions cinétiques de régulation de cette phase ressentie sont encore inconnues : il n'existe pas non plus actuellement de moyen pour mesurer cet effet.

Während also der Kaffee die Leistung in weiten Bereichen die Funktionen der Sinnesorgane und der zentralnervösen Verarbeitungsstellen verbessert, sollte bei hohem Aktivitätsniveau der formatio reticularis, also bei einer gegebenen Dysstress-Situation, coffeefreier Kaffee Bevorzugung finden.

ULRICH (R.). — **The relaxation phase following coffee absorption : An analytical trial.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 295-296.

The psychotropic action of coffee is one of its properties that motivates its consumption. In addition to stimulative tendencies, psychomotor impulsion, awake-state activation on the one hand, and to the improvement of the attention aptitudes on the other hand, there exists, first of all, a very pleasant subjective sensation which is generally described as a relaxation action.

It certainly represents a significant factor in the outline of the coffee absorption phase.

The cinetic conditions concerning the regulation of this phase are still unknown ; there is not yet any method allowing the measure of this effect.

UNTERSUCHUNGEN DER PHARMAKOKINETIK VON ¹⁴C-ZIMTSÄUREDERIVATEN AN RATTEN

G. CZOK, J. WESTENDORF

Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Hamburg

Chlorogensäure wird nach Aufnahme in den Organismus offenbar sehr schnell in Kaffeesäure und Chinasäure aufgespalten. Die Kaffeesäure kann dann in geringem Umfang in den Harn gelangen und dort auch nachgewiesen werden. Zum größeren Teil wird allerdings Kaffeesäure im Körper zu anderen Zimtsäurederivaten umgewandelt, wobei insbesondere Hydrierungen, Dehydroxylierungen, Methylierungen und Decarboxylierungen eine wichtige Rolle spielen. So hat man u.a. bei Mensch und Tier die folgenden Verbindungen als Metabolite der Kaffeesäure nachgewiesen: Ferulasäure, m-Cumarsäure, p-Cumarsäure, Dihydrokaffeesäure, Dihydroferulasäure, m-Hydroxyphenylpropionsäure, m-Hydroxybenzoesäure, Vanillinsäure sowie einige Styrol-Derivate. Abbildung 1 (S. 298) gibt einen Überblick über den im Organismus stattfindenden Stoffwechsel der Kaffeesäure und die dabei auftretenden wichtigsten Metabolite.

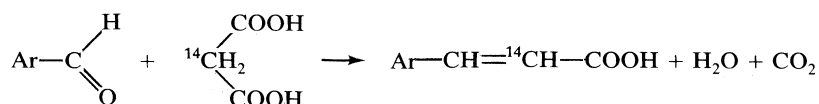
In diesem Zusammenhang schien es von besonderem Interesse, das pharmakokinetische Verhalten von Zimtsäurederivaten, d.h. ihre Resorption, Verteilung, Metabolisierung und Ausscheidung im Tierversuch zu überprüfen. Im einzelnen wurde die Pharmakokinetik folgender Zimtsäureverbindungen untersucht: von Kaffeesäure, Ferulasäure, m-Cumarsäure, p-Cumarsäure und Trimethoxyzimtsäure (Abb. 2, S. 298). Trimethoxyzimtsäure ist ein rein synthetisches Produkt und konnte bislang noch nicht in der belebten Natur,



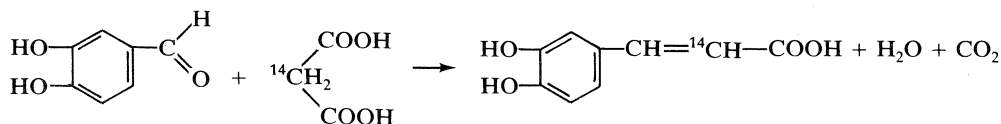
G. Czok

d.h. bei Tier oder Pflanze, nachgewiesen werden.

Die zu prüfenden Zimtsäurederivate wurden als ¹⁴C markierte Verbindungen verwendet. Die Synthese dieser markierten Verbindungen erfolgte nach der Knoevenagel-Reaktion und läßt sich folgendermaßen formulieren:



Die Umsetzung von 3,4-Dihydroxybenzaldehyd mit ¹⁴C-Malonsäure liefert somit Kaffeesäure, bei welcher das 2. C-Atom in der Seitenkette mit ¹⁴C markiert ist.



Für die synthetisierten Zimtsäureverbindungen fanden sich bei der Dünnschichtchromatographie die folgenden R_f-Werte (Tabelle I, S. 298), die mit denen der Referenzsubstanzen aus dem Handel übereinstimmten.

Die pharmakokinetischen Untersuchungen wurden an männlichen Wistar-Ratten im Gewicht von durchschnittlich 450 g in Pentobarbitalnarkose durchgeführt,

bei denen zwecks Gewinnung zahlreicher Blut- und Galleproben eine A. carotis sowie der abführende Gallengang kanüliert worden waren. Die markierten Zimtsäurederivate wurden i.v. oder i.d. in einer Menge von 1 μCi/Ratte entspr. 0,6 mg Substanz verabreicht. Bei i.d. Applikation wurden gleichzeitig steigende Mengen der inaktiven Verbindungen zugegeben, so daß

die Tiere 5, 10, 25 bzw. 50 mg/kg der betreffenden Zimtsäureverbindungen erhielten. Bei Versuchsende 2 Std. nach Applikation der Zimtsäureverbindungen wurde die Harnblase entnommen und die im Harn ausgeschiedene ^{14}C -Aktivität ermittelt.

Tabelle I

Verbindungen	Laufmittel	
	$\text{CHCl}_3:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{H}_2\text{O}$ R_f	2-But. $:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{H}_2\text{O}$ R_f
Kaffeensäure	0,15	0,83
m-Cumarsäure	0,53	
p-Cumarsäure	0,55	
Ferulasäure	0,78	
3,4,5-Trimethoxyzimtsäure	0,89	
Malonsäure	0,03	0,41

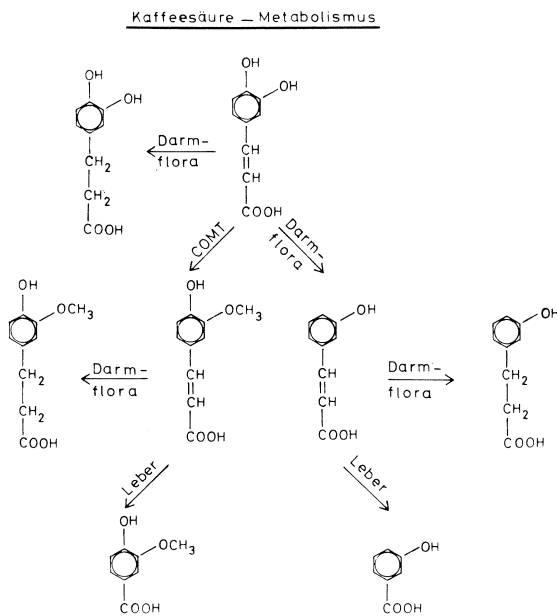


Abb. 1. — Stoffwechsel von Kaffeensäure im Organismus

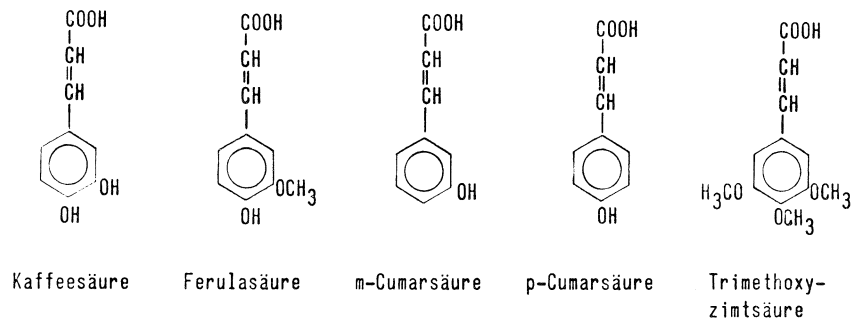


Abb. 2. — In den Versuchen verwendete ^{14}C -Zimtsäureverbindungen

Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der ^{14}C -Aktivität in Serum und Galle einer Ratte nach i.v. Injektion von ^{14}C -Ferulasäure ($1\ \mu\text{Ci} = 0,6\ \text{mg}$).

Die Meßwerte sind einmal bei normaler Ordinate und zum anderen bei logarithmischer Unterteilung der Ordinate aufgetragen. Die Konzentrationskala von Serum und Galle verhält sich außerdem wie 1 : 5. Die Serumkonzentrationen der ^{14}C -Aktivität fallen sofort schnell ab, während die Konzentrationen der Galle zuerst ansteigen, nach etwa 9 min ihr Maximum erreichen und dann ebenfalls rasch absinken. Die Gallekonzentrationen sind dabei bis zu 25mal höher als im Serum, was auf einen aktiven Transport von Ferulasäure in die Galle hinweist. Die logarithmische Darstellung der Konzentrationsverläufe zeigt anfangs einen linearen Abfall, der steiler erfolgt und durch Verteilungsphänomene bedingt ist, der spätere flachere Verlauf beruht dagegen auf der Elimination dieser Verbindung über Galle

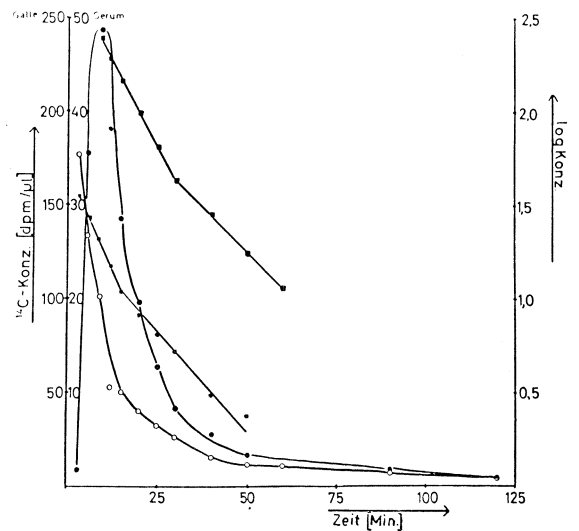


Abb. 3. — ^{14}C -Konzentration in Serum und Galle nach i.v. Applikation von $1,23\ \mu\text{Ci} = 0,525\ \text{mg}$ ^{14}C -Ferulasäure als Funktion der Zeit

- = Serumkonzentration
- = Gallekonzentration
- = log. Serumkonzentration
- = log. Gallekonzentration

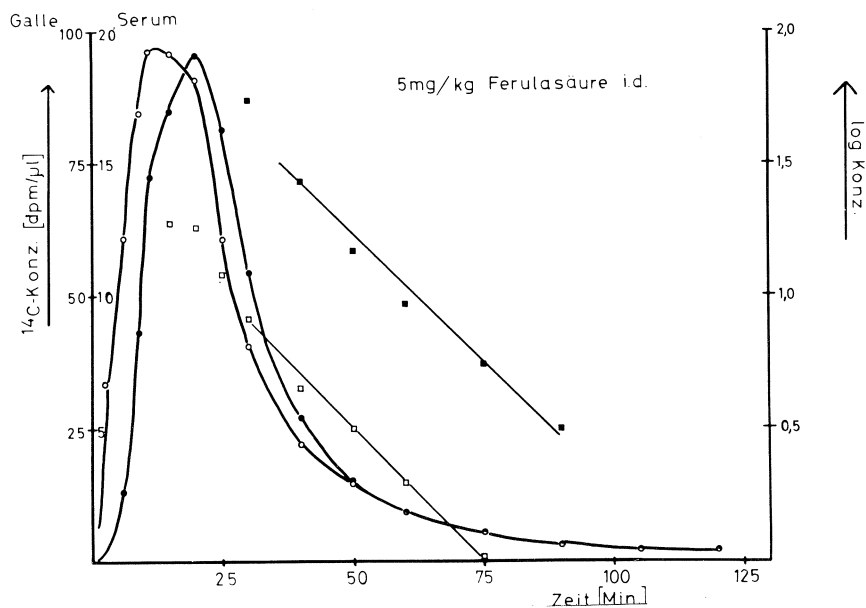


Abb. 4. — ¹⁴C-Konzentration in Serum und Galle nach i.d. Applikation von 25 mg/kg Ferulasäure = 1,23 μCi ¹⁴C-Ferulasäure als Funktion der Zeit

- = Serumkonzentration
- = Gallekonzentration
- = log. Serumkonzentration
- = log. Gallekonzentration

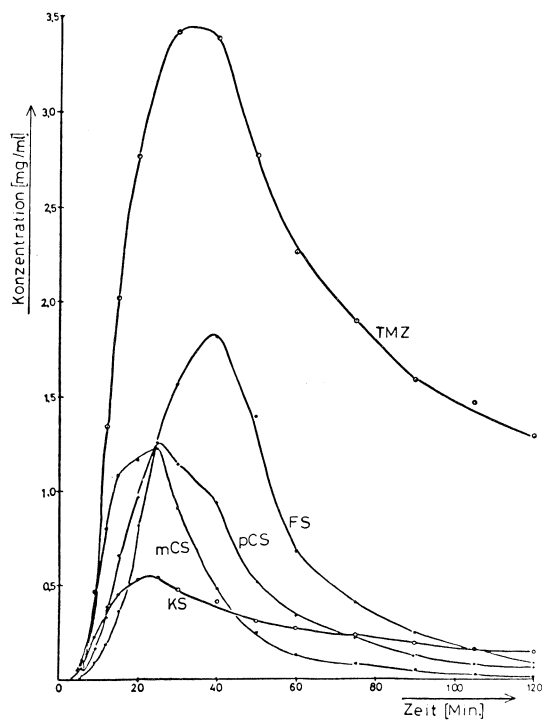


Abb. 5. — Gallekonzentration der Zimtsäurederivate nach i.d. Applikation von je 25 mg/kg als Funktion der Zeit

und Harn. Aus der Eliminationskonstanten errechnete sich die Halbwertszeit zu 15 min. Abbildung 4 zeigt den zeitlichen Verlauf der ¹⁴C-Aktivität in Serum und Galle einer Ratte, die Ferulasäure i.d. in einer Menge von 5 mg/kg erhalten hatte.

Die Konzentrationskurven steigen schnell an, und nach 12 bzw. 20 min werden die Maxima in Serum und Galle erreicht. Für die anschließende Elimination wurde eine Halbwertszeit von 16 min ermittelt.

In Abbildung 5 sind die Konzentrationsverläufe in der Galle von Ratten nach i.d. Verabreichung verschiedener Zimtsäurederivate in einer Dosierung von 25 mg/kg dargestellt. Die maximal erreichten Gallekonzentrationen sind hiernach am geringsten nach Kaffeessäure, deutlich höher nach m-Cumarsäure und p-Cumarsäure, noch erheblich höher nach Ferulasäure und am höchsten nach Trimethoxyzimtsäure. Die Zeiten, nach denen die maximalen Konzentrationen erreicht werden liegen für Kaffeessäure, m-Cumarsäure und p-Cumarsäure zwischen 22 und 25 min, für Ferulasäure und Trimethoxyzimtsäure dagegen zwischen 34 und 40 min.

Abbildung 6 (S. 300) zeigt die integrale Ausscheidung dieser Zimtsäurederivate in Prozent der verabreichten Dosis. Sie ist am niedrigsten nach Kaffeessäure, m-Cumarsäure und p-Cumarsäure und liegt hier zwis-

- = Kaffeessäure (KS)
- = Ferulasäure (FS)
- = m-Cumarsäure (m-CS)
- = Trimethoxyzimtsäure (TMZ)
- + = p-Cumarsäure (p-CS)

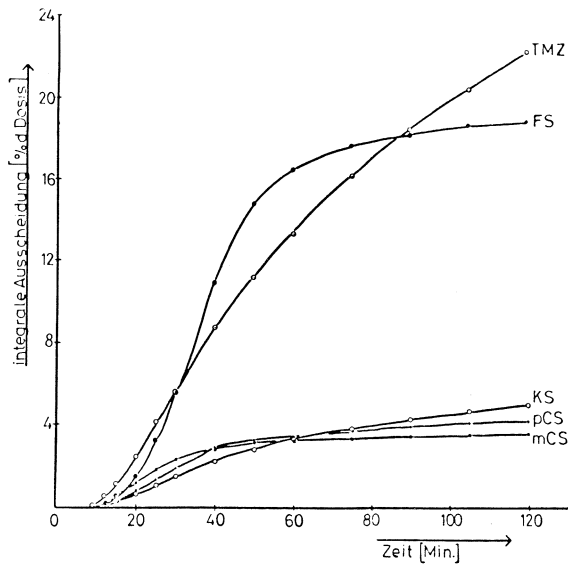


Abb. 6. — Integrale biliäre Ausscheidung der Zimtsäurederivate in Prozent der verabreichten Dosis

- = Kaffeesäure (KS)
- = m-Cumarsäure (m-Cs)
- + = p-Cumarsäure (p-Cs)
- = Ferulasäure (FS)
- ⊙ = Trimethoxyzimtsäure (TMZ)

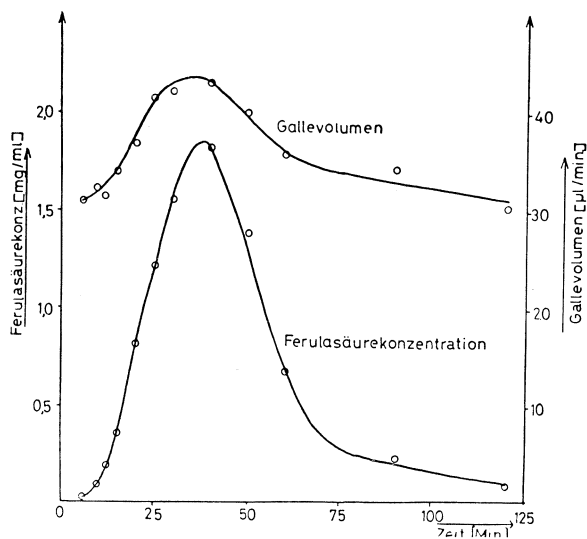


Abb. 7. — Gallevolumen und Konzentration von Ferulasäure in der Galle nach i.d. Applikation von 25 mg/kg Ferulasäure als Funktion der Zeit

chen 3,5 und 5 %, nach Ferulasäure ist sie mit 18,7 % erheblich höher und nach Trimethoxyzimtsäure mit 22,2 % am höchsten.

Wie aus der Abbildung 7 weiter zu entnehmen ist, vermag Ferulasäure in einer Dosierung von 25 mg/kg das ausgeschiedene Gallevolumen zu erhöhen, d.h.

einen choleretischen Effekt auszulösen, was auch in früheren Untersuchungen festgestellt werden konnte. Wie man sehen kann, steigen die Konzentration der ¹⁴C-Aktivität in der Galle und das ausgeschiedene Gallevolumen gleichsinnig an, es werden etwa zum gleichen Zeitpunkt die Maximalwerte erreicht, anschließend fallen die beiden Kurven wieder ab und liegen bei Versuchsende im Bereich der normalen Ausgangswerte. Da die Ausscheidung von Gallensäuren in die Galle sich unter diesen Bedingungen nicht änderte, ist die Choleresese nach Ferulasäure offenbar ausschließlich auf die erhöhte biliäre Ausscheidung von Ferulasäure zu beziehen und somit als osmotische Choleresese anzusprechen.

In Tabelle II sind die Geschwindigkeitskonstanten der Invasion und Elimination von Zimtsäurederivaten im Serum zusammengestellt. Die Geschwindigkeitskonstante der Invasion wurde aus den Werten k_2 und t_{max} nach der Methode von Dost berechnet :

$$k_2 t_{max} = \frac{1}{\frac{k_1}{k_2} - 1} \cdot \ln \frac{k_1}{k_2}$$

Die Auflösung der transzendenten Funktion erfolgte mit Hilfe eines Iterationsverfahrens.

Nach i.v. Injektion einer kleinen Menge der betr. Zimtsäurederivate (0,2 — 0,6 mg) liegen die Eliminationskonstanten zwischen 0,019 und 0,054 min⁻¹. Bei Umrechnung in die Halbwertszeiten nach der Formel $t'/2 = \frac{\ln 2}{k_2}$ erhält man Werte zwischen 36,5 und 12,8 min.

Tabelle II. — Geschwindigkeitskonstanten der Invasion und Elimination von Zimtsäure-Derivaten im Serum (in min⁻¹)

Substanz	i. v.		i. d.							
	k_2		5 mg/kg		10 mg/kg		25 mg/kg		50 mg/kg	
			k_1	k_2	k_1	k_2	k_1	k_2	k_1	k_2
mCS	0,054		0,10	0,041	0,11	0,063	0,32	0,021	0,036	0,016
pCS	0,022		0,16	0,036	0,11	0,019	0,125	0,029	0,052	0,020
KS	0,019		0,056	0,018	0,072	0,019	0,051	0,021	0,033	0,011
FS	0,050		0,14	0,043	0,16	0,034	0,044	0,024	0,04	0,027
TMZ	0,021		0,15	0,023	0,20	0,011	0,101	0,011	0,33	0,006

Nach i.d. Applikation ändern sich die Eliminationskonstanten bei niederen Dosierungen (5 und 10 mg/kg) nur wenig, bei den höheren Dosierungen (25 und 50 mg/kg) nehmen sie dagegen meist deutlich ab. Die Invasionskonstanten sind nach i.d. Applikation stets größer als die entsprechenden Eliminationskonstanten, was auf eine rasche Resorption der untersuchten Substanzen schließen läßt.

In Tabelle III sind die innerhalb von 2 Std. über Harn und Galle ausgeschiedenen Mengen an radioaktiven Substanzen in Prozent der verabreichten Dosis zusammengestellt. Nach i.v. Injektion werden sämtliche Zimtsäurederivate zum größten Teil über die Niere ausgeschieden. Die Ausscheidung in die Galle ist bei Kaffeesäure und Trimethoxyzimtsäure gegenüber den

Tabelle III. — Innerhalb 2 Std. in Harn und Galle ausgeschiedene Menge von Zimtsäurederivaten (in % der Dosis)

Substanz	intravenös		intraduodenal							
			5 mg/kg		10 mg/kg		25 mg/kg		50 mg/kg	
	Harn	Galle	Harn	Galle	Harn	Galle	Harn	Galle	Harn	Galle
mCS	65,2	1,6	62,9	3,9	84,0	4,8	89,0	3,6	59,1	6,6
pCS	57,3	2,6	15,9	3,2	54,6	1,7	69,6	4,2	46,6	5,0
KS	64,9	7,6	32,7	4,9	27,1	3,2	39,8	4,9	27,5	4,7
FS	70,8	3,6	77,9	7,1	85,7	6,4	65,2	18,7	64,3	16,9
TMZ	50,1	31,8	19,5	21,7	6,8	29,4	20,5	22,2	7,5	33,0

anderen Zimtsäurederivaten mäßig stark bzw. sehr stark erhöht. Nach i.d. Applikation nehmen die in den Harn ausgeschiedenen Mengen mit steigender Dosierung im allgemeinen zu, sinken aber meist deutlich ab bei der höchsten Dosis von 50 mg/kg. Die in die Galle ausgeschiedenen Substanzmengen zeigen dagegen im allgemeinen einen dosisabhängigen kontinuierlichen Anstieg. Ein unterschiedliches Verhalten ist jedoch bei Trimethoxyzimtsäure nachzuweisen. Hier sind im Vergleich zur i.v. Gabe die in den Harn ausgeschiedenen Mengen deutlich vermindert, und dieser Effekt verstärkt sich noch mit steigender Dosierung, was auf die schlechte Resorption dieser Substanz hinweist. Die Ausscheidung von Trimethoxyzimtsäure in die Galle ist nach i.d. Gabe verglichen mit der Ausscheidung in den Harn stets erheblich höher und erreicht erst nach 50 mg/kg Trimethoxyzimtsäure ihren höchsten Ausscheidungswert mit 33 %. Hierbei werden insgesamt über Galle und Harn 40,5 % der Trimethoxyzimtsäure ausgeschieden, während nach i.v. Injektion insgesamt 81,9 % der Trimethoxyzimtsäure ausgeschieden wurden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der hier untersuchten Verbindungen, auf den noch kurz eingegangen werden soll, ist die Frage ihrer Metabolisierung im Organismus. Bekanntlich werden Zimtsäurederivate zu einem größeren Teil mit Glukuronsäure und Glykokoll im Körper gekoppelt, womit dann eine Aktivierung dieser Verbindungen, eine bessere Wasserlöslichkeit und damit auch leichtere Ausscheidung über den Harn einhergeht. Abbildung 8 zeigt die Radiochromatogramme von Harn und Galle, die nach i.d. Applikation von ¹⁴C-m-Cumarsäure im Rattenversuch erhalten wurden. Bemerkenswerterweise wird hiernach m-Cumarsäure im Harn zum größten Teil als Glycinat, in der Galle dagegen als Glukuronid ausgeschieden.

Die Ausscheidung der freien Säure ist außerdem in Harn deutlich größer als in der Galle. In diesem Zusammenhang schien es von besonderem Interesse zu prüfen, ob mit steigender Dosierung von Zimtsäureverbindungen das Metabolisierungsmuster sich ändert, u.U. sogar eine Überlastung bestimmter Stoffwechselwege nachweisbar ist. Solche Untersuchungen wurden nach i.d. Gabe von m-Cumarsäure in Dosierungen von 0,5 bis 50 mg/kg durchgeführt. Tabelle IV zeigt die dabei erhaltenen Ergebnisse.

Wie man feststellen kann, wird bei steigender Dosierung von m-Cumarsäure die Glukuronidierung dieser Verbindung nicht auffällig beeinflusst; dagegen nimmt

Tabelle IV. — Ausscheidung von m-Cs und Metaboliten im Harn von Ratten nach ¹⁴C-m CS i.d.

Dosis mg/kg	%		
	Glukuronid	Glycinat	freie m-CS
0,5	6,4	83,4	10,2
5	10,9	69,8	19,3
10	8,0	68,2	28,8
25	6,6	65,3	28,1
50	14,4	45,9	39,7

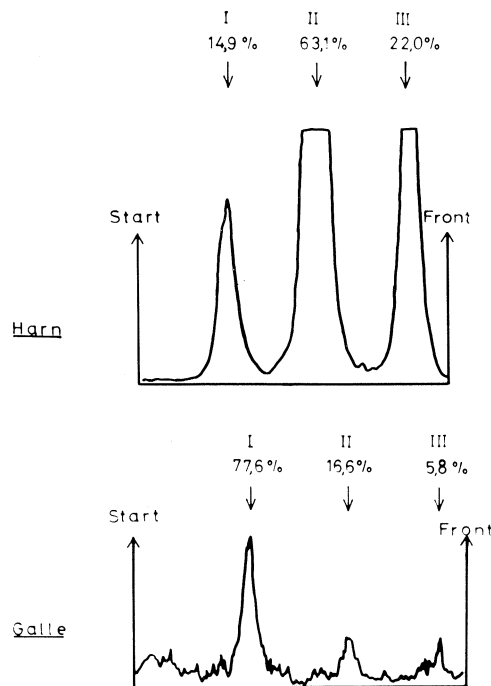


Abb. 8. — Radiodünnschichtchromatogramme von Harn und Galle nach i.d. Applikation von ¹⁴C-m-Cumarsäure an der Ratte. Laufmittel: 2-Butanol/Essig/Wasser 14:1:5

- I. m-Cumarsäure-O-glukuronid
- II. m-Cumaroylglycin
- III. m-Cumarsäure

die renale Ausscheidung von Glycinaten deutlich ab, während die Ausscheidung von freier m-Cumarsäure sich in etwa entsprechendem Umfang erhöht. Nach diesen Untersuchungsbefunden kann eine Überlastung der Kopplungsreaktion mit Glykokoll offenbar dann auftreten, wenn Zimtsäurederivate in höherer Dosierung aufgenommen werden. In diesem Zusammenhang ergibt sich aber eine weitere Frage von großer prakti-

scher Bedeutung, und zwar in welcher Weise sich dann das Metabolisierungsmuster und damit auch die biologische Wirksamkeit von gleichzeitig aufgenommenen Arzneimitteln wie Salicylsäure, Acetylsalicylsäure, Benzoessäure ändert, die ebenfalls in großem Umfang mit Glykokoll im Organismus gekoppelt werden. Untersuchungen, die diese wichtige Frage klären sollen, werden zur Zeit durchgeführt.

CZOK (G.), WESTENDORF (J.). — **Etude de la pharmacocinétique des métabolites de l'acide cinnamique marqués au ^{14}C chez le rat.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 297-302, fig., tabl.

CZOK (G.), WESTENDORF (J.). — **Pharmacokinetic of ^{14}C -cinnamic acid compounds on rats.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 297-302, fig., tabl.

L'acide chlorogénique, composant important du café, est rapidement décomposé dans l'organisme. Au cours de ce processus, se forment de nombreux métabolites dont certains, comme l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide m-coumarique, l'acide p-coumarique, l'acide triméthoxy-cinnamique, ont été marqués au ^{14}C et leur comportement pharmacocinétique étudié au cours d'expériences pratiquées sur des rats.

Dans ces expériences, la vitesse de résorption était deux à dix fois plus élevée que la vitesse d'élimination. Après une injection intra-veineuse, ces acides sont éliminés du sang après un laps de temps variant entre 13 et 37 mn. Lorsque ces substances sont absorbées par voie orale en plus grosses quantités (jusqu'à 50 mg), leur absorption et leur élimination sont quelque peu retardées. L'élimination se fait essentiellement par les reins et au bout de 2 h, la plus grande partie des substances administrées est éliminée. L'élimination biliaire des acides p-coumarique, m-coumarique et caféique ne représente qu'un faible pourcentage (3,5 à 5 %), alors qu'elle constitue 30 % de l'élimination des acides férulique et triméthoxy-cinnamique. Après l'absorption orale de doses plus importantes d'acide m-coumarique, on observe une forte diminution de l'élimination par l'urine de l'acide m-coumarique lié au glycinat et une augmentation de l'élimination de l'acide m-coumarique libre. Les conséquences possibles de ces phénomènes sur le métabolisme de certains médicaments, tels que l'acide benzoïque ou salicylique, sont discutées.

Chlorogenic acid as an important ingredient of coffee is decomposed very quickly in the organism forming a great number of metabolites. Some of these metabolites such as caffeic acid, ferulic acid, m-cumaric acid, p-cumaric acid and trimethoxycinnamic acid were marked by ^{14}C and tested in experiments on rats with respect to their pharmacokinetics. In these experiments the constants of absorption were two to ten times higher than the constants of elimination. After i.v. injection of these substances the half-life time for their elimination from the blood was between thirteen and thirtyseven min. When given these compounds i.d. in greater amounts their absorption and elimination were somewhat delayed. The tested compounds were eliminated especially by the kidney, and during two hours most of the given amount was excreted by this way. The biliary excretion after m-cumaric acid, p-cumaric acid and caffeic acid was only between 3,5 and 5 %, but reacted up to 30 % after ferulic acid and trimethoxycinnamic acid. When m-cumaric acid was given i.d. in greater amounts the urinary excretion of m-cumaric acid coupled with glycine was decreased whereas the excretion of free cumaric acid increased. The possible consequence of these effects are mentioned with respect to the metabolism of some drugs such as benzoic acid or salicylic acid.

CZOK (G.), WESTENDORF (J.). — **Untersuchungen der Pharmakokinetik von ^{14}C -Zimtsäurederivaten an Ratten.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 297-302, fig., tabl.

Chlorogensäure, ein bedeutsamer Koffeinhaltstoff, wird im Organismus rasch abgebaut, wobei zahlreiche Metabolite entstehen. Einige dieser Metabolite, und zwar Kaffeesäure, Ferulasäure, p-Cumarsäure, m-Cumarsäure und Trimethoxyzimtsäure wurden mittels ^{14}C markiert und hinsichtlich ihres pharmakokinetischen Verhaltens in Untersuchungen an Ratten überprüft. Die Geschwindigkeitskonstanten für die Resorption waren zwischen 2-bis 10 mal größer als die Eliminationskonstanten. Für die Elimination aus dem Blut ergaben sich nach i.v. Applikation Halbwertszeiten zwischen

13 und 37 Minuten. Nach i.d. Gabe größerer Mengen (bis zu 50 mg) von Zimtsäureverbindungen war eine Verzögerung der Resorption und Elimination zu beobachten. Die Ausscheidung erfolgte vornehmlich über die Nieren, wobei innerhalb von zwei Stunden der größte Teil der verabreichten Substanzen ausgeschieden wurde. Die biliäre Ausscheidung betrug bei m-Cumarsäure, p.-Cumarsäure und Kaffeesäure nur wenige Prozent, während bei Ferulasäure und Trimethoxyzimtsäure bis zu 30 % über die Galle ausgeschieden wurden. Nach i.d. Gabe von m-Cumarsäure und höherer Dosierung war eine deutliche Abnahme der im Harn ausgeschiedenen Glycinat nachzuweisen, wobei die Ausscheidung der freien m-Cumarsäure deutlich zunahm. Die möglichen Auswirkungen derartiger Effekte auf die Metabolisierung bestimmter Arzneimittel wie z.B. Benzoessäure oder Salicylsäure werden diskutiert.

PRÉSENTATION DU COMITÉ D'ÉTUDES DES EFFETS PHYSIOLOGIQUES DU CAFÉ (P.E.C.)

R. VIANI
Nestlé, Suisse

Dès l'introduction du café en Europe ses propriétés physiologiques ont suscité l'intérêt des milieux scientifiques. L'extrait ci-joint du recueil de l'Académie des Sciences de Paris pour l'année 1713 (1) en est un exemple (fig. 1, p. 304).

Depuis, les articles sur les effets physiologiques du café se sont multipliés dans la littérature. Pour pouvoir analyser cette somme d'informations, un groupe d'étude de la littérature scientifique dans le domaine des effets psychopharmacologiques du café a été formé à l'occasion du 7^e congrès de l'A.S.I.C., en 1975 à Hambourg. Ce groupe s'appelle « Comité d'études des effets physiologiques du café » ou en anglais « Physiological Effects of Coffee Committee » (P.E.C.).

Le but de ce groupe de travail est d'évaluer les développements des publications scientifiques sur le

café et de proposer des axes de recherche à l'industrie du café. Il est ouvert à tous les scientifiques appartenant à des sociétés productrices de café en Europe.

La composition du P.E.C. est (novembre 1977) :

J. Byrne	— General Foods — Belgique
U. Ercolani	— Crippa & Berger — Italie
E. Illy	— Illycafé — Italie
P. Kummer	— Coffex — Suisse
D.I. REES	— Lyons Sol Café — Royaume-Uni
D.K. Stelling	— Jacobs — Suisse
H. Thijssen et J. de Heus	— D.E.J. — Pays-Bas
O. Vitzthum	— Hag — Allemagne Féd. — Trésorier 1977-78
R. Viani	— Nestlé — Suisse — Président 1977-78

BIBLIOGRAPHIE

1. A. de JUSSIEU. — Recueil de l'Académie des Sciences, 1713 ; cité dans l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert, vol. 5, éd. de Lausanne et Berne 1778-81, pages 749 à 752.

VIANI (R.). — **Presentation of the research Committee on the physiological effects of coffee (PEC)**. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 303-304.

The research Committee on the physiological effects of coffee created at the VIIth International Coffee Chemistry

Colloquium in 1975 in Hamburg, is a group which studies the scientific literature on psychopharmacological effects of coffee.

This Committee can thus suggest research lines to the coffee industry. The author includes in this note an extract from the Proceedings of the Académie des Sciences de Paris, by A. de Jussieu, in 1713.

THE RELATIONSHIP OF COFFEE DRINKING TO DEATH AND CARDIOVASCULAR DISEASE

H. EMERSON THOMAS, JR, M.D.

Boston University-Framingham Study

Coronary heart disease can be said to be occurring in epidemic form throughout the western world. In the United-States it has resulted in 1.2 million heart attacks annually with approximately 650,000 deaths of which 350,000 are sudden and without warning. Approximately one in five males in America suffer a heart attack by age 60. The annual direct cost in dollars has been estimated at 4.3 billion.

Similarly cancer of the lung has been occurring at a frequency rate of alarming proportions. The accuracy and completeness with which vital statistics have recorded the occurrence of heart disease has often left much to be desired. Nevertheless, it is apparent both for coronary heart disease and for lung cancer that the incidence of these diseases has increased greatly over the course of this century. When trying to explain the basis for these changing incidence rates it becomes important to examine features in the environment which might be affecting the incidence. Such analysis is the substance of epidemiology.

It is generally acknowledged that lung cancer is associated with the cigarette smoking habit. This association however does not necessarily confirm a cause and effect relationship between cigarette smoking and lung cancer. And so it is with factors of coronary risk. Although we may be able to define certain risk factors that are associated with a high rate of heart attack there is not sufficient evidence for making absolute claim for a causative relationship. Just as some persons develop lung cancer who have never smoked, heart attack may occur in individuals who can not be defined as being at high coronary risk. Furthermore smokers and individuals found to be at high coronary risk may live long normal life spans without ever developing disease. To comprehend such principles is critical in approaching epidemiologic questions such as we are to deal with regarding coffee consumption and disease.

For many years it has been suggested that the consumption of coffee may be associated with the excessive rate of development of certain diseases. Heart attacks, certain cancers and peptic ulcers have been prominently considered as being potentially the result of the drinking of coffee. Such indictments have



come from extrapolation of both bio-chemical and pharmacological data and epidemiological associations. There are available as well, however, many studies which contradict this evidence. It will be our task to try to sort out the facts in an effort to understand to what extent, if any, coffee may affect one's health.

Since the data to be presented has been collected by the Framingham Heart Study a brief description of this Study is warranted. Based on observations that certain clinical characteristics were precursors of coronary and other atherosclerotic diseases a long-term prospective study was established in 1949 in the Town of Framingham, Massachusetts, in an effort to confirm these associations. Framingham is a middle class community located about 20 miles from Boston and

considered to be representative in most respects of the American population. A cohort for follow-up of 5,209 men and women between the ages of 30 and 59 was selected from the population. These persons initially free of disease have been examined every two years. A variety of clinical attributes such as coffee consumption were obtained at the outset and have been periodically reevaluated over a follow-up period of 24 years. The incidence of coronary disease, stroke, and peripheral arterial disease has been documented at these biennial exams as well as through review of data from hospitalizations, records of private physicians, and death certificates. Follow-up has been reasonably complete with only 2 per cent totally lost to observation. Over 80 per cent have received every possible examination.

Epidemiologically we speak of the « population at risk ». The size of this population determines to a significant extent the magnitude of the potential consequences as a public health issue. In the case of coffee we must ask what is the size of the population which uses this beverage and for this population what is the amount used. Coffee is a universally consumed substance. Data regarding the percentage of coffee users as found in the Framingham Heart Study are found in table I. At six years of follow-up (exam 4) the percentage of coffee users in Framingham was between 85 and 95 % although some decrease was noted in the older age groups. This was true of both men and women. Except during the fifth decade less than 10 % of the population regularly used seven or more cups of coffee per day. This heavier use of coffee clearly declined with age.

In table II the average number of cups of coffee consumed each day is seen. Again coffee use is noted to be correlated with age at each exam. Furthermore between Exam 4 and Exam 13 coffee consumption declined significantly for each age group when viewed longitudinally.

Whether this level of consumption measured in Framingham is representative of use elsewhere is not known for sure but it will be important to appreciate the frequency and amount of coffee drinking when we later examine the rates of disease according to coffee consumption in Framingham. In any case we have evidence in a very typical United States town that about 90 % of both men and women at all ages drink on the average of between 2.5 and 3.0 cups/day.

Several factors have been established as being associated with an excess risk of developing some manifestation of coronary disease. Three of these factors in particular warrant some consideration. Through the understanding of these attributes the basis for establishing coronary risk will be made clearer. In addition we will also have some clues as to how coffee might be implicated in the process of accelerating the rate of atherogenesis.

Blood pressure when high is well known to be associated with a variety of medical problems. At increasing levels of blood pressure the incidence of coronary disease rises significantly. This is true of all levels of blood pressure from the lowest to the highest. In a similar fashion the serum cholesterol level is found

Table I. — Percentage drinking coffee and drinking seven or more cups per day according to age and sex Framingham heart Study

Age Exam 4	% Drinking Coffee		% Drinking 7 or More Cups/Day	
	Men	Women	Men	Women
35-39	95.2	93.5	6.8	7.5
40-44	92.4	93.0	10.7	11.0
45-49	91.6	93.9	8.1	10.3
50-54	91.0	89.5	4.6	6.2
55-59	89.8	88.3	4.6	5.2
60-64	89.6	87.8	2.7	2.4
65-69	89.0	87.3	3.3	2.7

Table II. — Coffee consumption in Framingham by age 6 years (exam 4) and 24 years (Exam 13) follow-up

Age at Exam 4	Cups/day	
	Exam 4	Exam 13
35-39	3.12	2.83
40-44	3.36	2.73
45-49	3.05	2.39
50-54	3.84	2.00
55-59	2.48	1.84
60-64	2.30	1.65
65-69	2.28	1.53

Table III. — Cigarette smoking according to coffee consumption Framingham Study-Men

Coffee - Cups/Day	Cigarettes/Day
None	8.7
One	9.9
Two	11.5
Three	13.5
Four	16.2
Five	16.5
Six	18.7
Over Six	21.8

to be directly correlated with the incidence of coronary heart disease. It has been suggested that indirectly coffee drinking might be associated with coronary disease through the cream or dairy substitute used in coffee which leads to an elevated cholesterol level. Caffeine has also been shown to have a direct effect on lipid and lipoprotein metabolism.

Cigarette smoking is the third of the major known coronary risk factors. Especially in the younger ages smoking is associated with a major increase in the incidence of heart attack. Several explanations for this association have been suggested. It appears most likely

that the effect is a relatively immediate one which is lost if the individual stops smoking. We will see subsequently how important the association between coffee consumption and cigarette smoking is, in regard to coronary risk. The coincidence of amount of coffee used and the number of cigarettes smoked is great and is seen in table III.

In order to approach an understanding of how coffee might be related to health and disease it is appropriate to evaluate briefly what is known of the physiology and pharmacology of coffee and especially its most pharmacologically active component caffeine. Based on an understanding of these matters it is possible to formulate some hypotheses as to how coffee and caffeine might, when consumed in sufficient quantity, produce clinical disease manifestations. Remember that we are only developing here hypotheses and documentation of an association remains to be confirmed.

The dose of caffeine ingested will vary considerably according to the strength of the coffee brewed and the size of the cup. It has been estimated however that normally brewed coffee will contain 90-120 mg of caffeine/cup, instant coffee 66-74 mg/cup, and decaffeinated coffee 1-6 mg of caffeine/cup. For contrast tea will average about 70 mg/cup and cola beverages approximately 30 mg. For the Framingham population therefore the average daily caffeine intake would be nearly 300 mg for those drinking brewed coffee and about 2/3 that amount for those drinking instant coffee.

Caffeine along with theophylline and theobromine are categorized as xanthines which generally produce pharmacologically some central nervous system stimulation, cardiac and smooth muscle stimulation, some smooth muscle relaxation and diuresis. The specific manifestation is dependent on the dose. In small amounts such as might be consumed in coffee, caffeine has a measurable stimulating effect reducing fatigue and sleepiness while having a mild antidepressant effect. Concentration time is extended and the capacity for doing strenuous muscular work is enhanced. In larger doses there may be a negative effect on muscle coordination and a sense of irritability, tremor and nervousness may be produced.

The effect of xanthines on cardiac function is slightly more complex. Stimulation of one part of the heart may be negated by physiological depression of another area. In general xanthines have a stimulating effect on cardiac muscle. This may be partially offset however by the simultaneous stimulation of the vagus nerve which has an indirect depressant effect on the heart. In small doses -- 50-200 mg or as might be contained in one or two cups of coffee -- caffeine will usually produce a slight slowing of the heart rate due to the predominance of this vagal stimulation. In dose levels of 200-500 mg the direct myocardial effect will prevail with tachycardia being predominant. When this direct myocardial stimulation is produced there is also an increase in the volume of blood being pumped. Coupled with the myocardial stimulation is normally a stimulating effect on central nervous control of peripheral vessels resulting in an increase in blood pressure. Opposing this is the central vagal stimulation plus a peripheral vascular relaxation producing a drop in

blood pressure. The net effect is usually a small rise in blood pressure of about 10 mm Hg.

It is tempting to postulate that cardiovascular disease might be linked to these physiological effects of caffeine. We have noted previously that even small increases in blood pressure will, on the average, be associated with an increased risk of heart attack. Some evidence indicates that this blood pressure effect is greater in the older individual. Since the older individual may otherwise be more likely to manifest evidence for coronary disease the caffeine effect on this disease may be more prominent in the elderly. It is also apparent that the action of caffeine is more powerful in these individuals already exhibiting some degree of hypertension. Can it be that caffeine from coffee consumption is producing a sufficient rise in blood pressure when sustained over long periods of time to increase the incidence of coronary disease?

Another potential mechanism for bringing out manifestations of coronary disease would be the increased work and therefore oxygen demand created by stimulation of the myocardium. Since angina pectoris is a symptom brought on by an imbalance between oxygen supply and muscle work-load it is easy to postulate that anginal pain might result from the myocardial stimulation by caffeine.

Xanthines inhibit the enzymatic breakdown of cyclic AMP. Biochemically an ultimate effect of resultant accumulation of cyclic AMP will be an increased production of glucose, cholesterol, and triglycerides. The potential implication of elevated levels of glucose and these lipids on development of arteriosclerosis is obvious. Triglycerides are also hydrolyzed by cyclic AMP to free fatty acids. Free fatty acids, when elevated, have been associated with a variety of possible cardiovascular disease consequences including an increase in blood coagulation and therefore potential for coronary thrombosis. In addition free fatty acids have been associated with the precipitation of cardiac rhythm disturbances which, when sustained, have the theoretical potential for producing sudden death.

An increase in coronary blood flow has been experimentally shown with caffeine ingestion. What role this might play in manifestation of coronary disease symptoms is not clear. It is likely that the increased myocardial work resulting from caffeine is sufficiently great to offset any enhanced blood flow and therefore oxygen supply. It should be emphasized that these cardiovascular effects are dose-related and are therefore more likely to be realized at highest levels of caffeine consumption.

As has already been stated much controversy has occurred over the significance of coffee drinking as an independent risk factor for coronary disease. The results of scientific investigation into this question have differed for a variety of reasons. Some of these differences can be attributed to different types of investigative approaches. Retrospective, cross-sectional, and prospective studies provide different kinds of information. Furthermore, as we shall see it becomes critical that to analyze only for a single variable such as coffee can lead to great misinterpretation.

tions. One must be extremely cautious about the experimental design in order to be certain that the protocol is providing accurate answers to the questions asked.

Retrospective studies which by their nature examine a population determined by some preselected condition automatically may contain a bias. Furthermore it may not be possible to extrapolate the findings to the general population. Prospective studies carried out over time allow the evaluation of the natural occurrence of disease in a relatively unbiased fashion. In this case the characteristics to be analyzed in a population are defined before the onset of disease allowing the subjects under study an equal opportunity to proceed to the endpoint diagnosis. Although retrospective studies are of value when one wishes to analyze the effect of an environmental characteristic on development of disease, the prospective model is superior. The Framingham Heart Study is a good example of this later type of investigation.

Most of the data to be presented has been collected over twenty four years of follow-up in the Framingham Heart Study. Two broad categories of endpoints are referred to in this discussion. First death rates or mortality both total and disease specific are described. These are extremely hard endpoints with minimal error in their specificity occurring. Disease manifestations or morbidity short of death are the second endpoint category for which a variable may be analyzed. Two types of figures are given. First the rate of endpoint occurrence at various levels of independent variable per 1,000 subjects at risk. Second an incidence rate defining newly occurring disease in terms of a morbidity ratio which is a statement of the frequency of observed over expected cases.

In table IV the total death rate and incidence of death according to coffee consumption in Framingham Study for men is examined. No significant differences in the rate or morbidity ratio are found at different levels of coffee consumption when the data are corrected for age and smoking habit. Table V shows a similar lack of association between death rate and coffee drinking in women. Since there is no difference noted between men and women in any of the subsequent comparisons, only data for men will be presented.

Coronary heart disease is the result of a very gradual narrowing of the arteries supplying the heart muscle or myocardium. This process as we have seen is associated with high blood pressure, high levels of blood fats especially cholesterol, and cigarette smoking. Ultimately the arterial narrowing is sufficient to reduce or totally block blood flow resulting in damage to the myocardium. One result of such damage is the common heart attack or myocardial infarction. We have reviewed several pharmacological mechanisms by which coffee might play a role in the augmenting of myocardial damage. Acceleration of atherosclerotic narrowing has been attributed both to coffee itself and to the commonly used cream and sugar added to coffee. An increase in blood pressure known to be atherogenic has also been shown to result from coffee consumption. Coffee has also been implicated in an increase in

Table IV. — Total death rate and incidence of death according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Men. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	1945	553	283.4	1.00
None	165	47	259.5	0.92
One	351	108	280.9	1.04
Two	477	132	224.6	0.95
Three	373	101	268.6	0.97
Four	213	61	289.4	1.00
Five	137	38	327.7	1.08
Six	101	30	268.5	1.09
Over Six	128	36	292.4	1.14

Table V. — Total death rate and incidence of death according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Women. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	2487	455	182.9	1.00
None	225	39	141.9	0.81
One	362	90	201.0	1.16
Two	559	116	210.7	1.07
Three	501	102	201.3	1.11
Four	351	59	191.4	1.02
Five	154	18	169.0	0.85
Six	152	10	80.9	0.44
Over Six	183	21	131.1	0.77

Table VI. — Rate and incidence of MI according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Men. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	1876	227	121.0	1.00
None	161	21	156.3	1.07
One	334	45	134.5	1.11
Two	467	61	129.7	1.06
Three	354	41	122.6	0.96
Four	208	23	113.7	0.91
Five	129	14	125.3	0.94
Six	98	12	120.5	1.01
Over Six	125	10	89.0	0.69

coagulation producing a coronary thrombus often the final event in the course of myocardial infarction.

In table VI the rate and incidence of myocardial infarction according to coffee consumption in Framingham men is seen. Absolutely no correlation was

Table VII. — Rate and incidence of sudden death according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Men. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	1945	88	45.2	1.00
None	165	5	43.1	0.63
One	351	20	53.2	1.21
Two	477	23	47.3	1.08
Three	373	15	43.3	0.90
Four	213	8	35.5	0.81
Five	137	6	56.0	1.00
Six	101	3	29.5	0.73
Over Six	128	8	54.2	1.40

Table VIII. — Rate and incidence of angina pectoris according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Men. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	1866	235	125.9	1.00
None	157	24	142.7	1.19
One	333	40	110.3	0.97
Two	462	62	135.6	1.07
Three	356	50	141.2	1.11
Four	208	21	104.3	0.76
Five	130	17	118.6	1.09
Six	98	8	70.9	0.67
Over Six	122	13	63.8	0.87

Table IX. — Rate and incidence of stroke according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Men. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	1933	72	58.6	1.00
None	164	7	59.7	0.99
One	347	20	71.2	1.18
Two	473	9	40.4	0.68
Three	372	12	63.8	1.08
Four	213	10	79.3	1.49
Five	137	2	22.4	0.28
Six	99	4	53.9	1.11
Over Six	128	8	83.0	1.41

Table X. — Cancer death rates and incidence of cancer death according to coffee consumption adjusted for age and smoking Framingham Study-Men. Per thousand subjects

Coffee Cups/Day	N	Events	Rate	O/E
Total	1945	145	74.6	1.00
None	165	10	68.0	0.80
One	351	33	89.3	1.28
Two	477	35	76.9	1.00
Three	373	21	55.3	0.76
Four	213	14	64.6	0.87
Five	137	10	85.3	0.98
Six	101	7	47.4	0.86
Over Six	128	15	135.1	1.54

found between frequency of heart attack and number of cups of coffee consumed. In fact although the numbers are small and significance is not suggested, the lowest rate of disease was noted in the heaviest coffee drinkers.

Sudden death is defined as death occurring as an unexpected event within an hour of onset of symptoms and known to be almost always of coronary origin. The rate of sudden death is seen according to coffee consumption in table VII. Sudden death is always due to a rhythm disturbance of the heart beat. Noted earlier was the fact that coffee has been shown to carry the potential for producing such rhythm disruption due to perhaps the stimulation of the myocardium by released free fatty acids.

Angina pectoris is a pain usually occurring in the chest which results from a diminished oxygen supply to the myocardium precipitated by exercise. Physiologically caffeine increases the work-load of the myocardium and might be expected to increase the risk of angina. In table VIII the rate and incidence of angina according to coffee consumption is described. Neither sudden death nor angina pectoris are found to be associated with coffee use when longitudinal data from Framingham are analyzed.

Stroke or brain damage resulting from loss of blood supply to areas of the brain results from an atherosclerotic obstruction of vessels to this organ. In table IX we find the relation between coffee consumption and stroke stated. Considerable variation in the rate and morbidity ratio is noted among the various levels of coffee use. Such variation can only be the result of small numbers of cases. It must again be concluded that coffee does not seem to be associated with the development of stroke.

Finally, several reports have associated the drinking of coffee with the development of cancer. Particularly implicated are cancers of the urinary tract. Certain coffee constituents have been potentially implicated as co-carcinogens in the development of cancer. As with heart disease this relationship is quite controversial. The Framingham data as described in table X does raise some questions about this association in those drinking large amounts of coffee. Although the numbers are small it must be questioned whether a correlation might exist between unusually large amounts of coffee drunk and cancer death even after correction for cigarette smoking. It would seem to be justified to examine the risks involved in those individuals reporting regular consumption of seven or more cups of coffee per day.

In summary one can define a variety of ways through which the pharmacology of coffee and particularly caffeine might relate to the development of disease. When the association between coffee consumption and disease endpoints is analyzed, taking into consideration the amount consumed and related variables, coffee does not appear to be a powerful risk factor for coronary disease, stroke or cancer when consumed in moderation. At extremely high levels of coffee consumption, however, further investigation of this habit appears warranted.

EMERSON THOMAS Jr. (H.). — **Relation éventuelle de la consommation de café avec les risques de décès et de maladie cardiovasculaire.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 305-310, tabl.

Durant dix-huit ans, une étude épidémiologique a été conduite au centre de maladies cardiaques de Framingham, Massachusetts, E.-U. Sur cette population, l'habitude de consommation du café a été enregistrée, ce qui permet d'évaluer l'importance de cette consommation sur le développement de diverses maladies chroniques.

1. Le taux de mortalité est inférieur chez les personnes ne buvant pas de café et il augmente avec la consommation journalière de café. Il convient cependant de remarquer que cette différence significative est annulée lorsqu'on ajuste les résultats en tenant compte de la consommation de cigarettes. On a remarqué en effet que la forte consommation journalière de café est très souvent pratiquée par de gros fumeurs.
2. Les décès dus à des cancers ne sont pas en relation avec la consommation modérée de café. Au-delà d'une consommation de six tasses par jour apparaît une légère augmentation du risque, qui n'est pas significative.
3. Le risque d'infarctus du myocarde est inversement proportionnel à la consommation de café.
4. Le risque de mort subite est le plus faible chez les non-buveurs de café qui sont, pour la plupart, des non-fumeurs. Aucune tendance d'augmentation de ce risque par la consommation de café n'a pu être décelée.
5. Le risque d'attaque sur artères périphériques n'est pas augmenté par la consommation de café.

On ne peut attribuer aucun effet nocif à la consommation de café en ce qui concerne le risque de décès, le risque de cancer ou le risque de maladies cardiovasculaires.

EMERSON THOMAS Jr. (H.). — **The relationship of coffee drinking to death and cardiovascular disease.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 305-310, tabl.

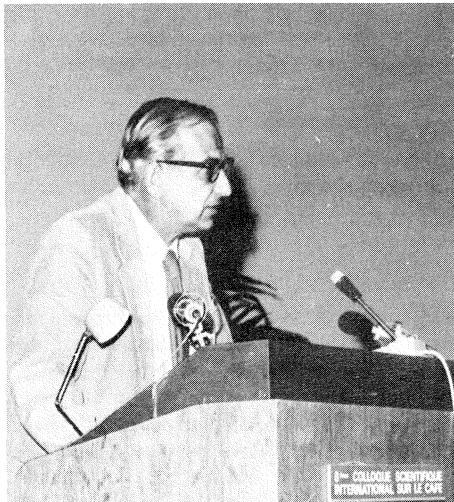
The effect of coffee drinking on subsequent disease development has been under investigation in the Framingham Heart Disease Epidemiology Study, Framingham, Mass., U.S.A. Since the initial recording of coffee drinking habits a period of eighteen years observation has permitted evaluation of the development of various diseases according to coffee consumption :

1. Death rates from all causes are lowest in non coffee drinkers and increase with coffee consumption. This relationship is statistically significant. However, the high correlation between coffee consumption and cigarette smoking requires adjustment for cigarette smoking. Such adjustment greatly diminishes the trend of overall deaths by coffee consumption to the point that the relationship is no longer significant.
2. Cancer deaths appear unrelated to coffee consumption except in those consuming over six cups per day. The relationship is not statistically significant.
3. Myocardial infarction appears to be inversely related to coffee consumption.
4. Sudden death is lowest in non coffee drinkers but this is largely accounted for by a relation to cigarette smoking. No consistent trend is observed according to coffee consumption.
5. No relationship is observed between coffee drinking and stroke on peripheral arterial disease.

No harmful effects appear to be attributable to coffee consumption insofar as deaths from all causes, cancer deaths or the occurrence of cardiovascular disease.

THE COMBINED EFFECT OF SMOKING, ALCOHOL AND COFFEE DRINKING ON LDL-HDL

(with four tables, A, B, C, D, as preamble for the definition « LDL », « HDL »)



S. Heyden

S. HEYDEN, G. HEISS, H.A. TYROLER,
CH. MANEGOLD, G. COOPER, C. HAMES
Duke University Medical Center, Durham (N.C.)

A

LDL HIGH/INCREASED	LDL LOW/REDUCED
WHITE RACE	BLACK RACE
MALES	FEMALES
WOMEN ON CONTRACEP. PILL	PREMENOPAUSAL WOMEN
PHYSICAL INACTIVITY	PHYSICAL ACTIVITY
SMOKER	NON- OR EX-SMOKER
NO ALCOHOL INTAKE	MODERATE ALCOHOL INTAKE
HYPERCHOLESTEROLEMIA	NORMAL CHOLEST. CONCENTR.
HIGH ANIMAL FAT DIET	POLYUNSATUR. FATTY ACIDS
CHD PATIENTS	NON-CORONARY PERSONS
IMPAIRED LONGEVITY	LONGEVITY

B

HDL HIGH/INCREASED	HDL LOW/REDUCED
Black race	White race
Females	Males
Premenopausal women	Women on contracept. pill
Older aged men	Young men
Physical activity	Physical inactivity
Non- or ex-smoker	Smoker
Moderate alcohol intake	No alcohol intake
Normal weight	Obesity
Normal cholesterol conc.	Hypercholeste rolemia
Normal glucose conc.	Diabetes mellitus
Non-coronary persons	CHD-patients
Children of healthy parents	Children of CHD -patients

C

HDL TRANSPORTS CHOLESTEROL FROM THE TISSUES, INCLUDING THE ARTERIAL WALL, FOR CATABOLISM IN THE LIVER AND EXCRETION. POSSIBLY ALSO HDL MAY INHIBIT CHOLESTEROL DEPOSITION IN THE ARTERIAL WALL. THUS, HDL LIMITS THE RATE OF CHOLESTEROL DEPOSITION AND PROMOTES CHOLESTEROL CLEARANCE.

D

REDUCTION IN PLASMA CONCENTRATION OF HDL MAY IMPAIR THE NORMAL CLEARANCE OF CHOLESTEROL FROM THE ARTERIAL WALL, ACCELERATING THE DEVELOPMENT OF ATHEROSCLEROSIS. PREVALENCE AND INCIDENCE DATA REVEAL HDL CONCENTRATIONS TO BE LOWER IN CHD - PATIENTS THAN IN NORMAL CONTROLS.

INTRODUCTION AND REVIEW OF THE LITERATURE

The study of the combined effect of concurrently used drugs has been extended to caffeine and such common drugs as aspirin and phenacetin. In the former, the salicylic acid decreased the absorption of caffeine due to an effect of the salicylic acid on the gastric mucosa (Reuning and Levy, 1968). In the case of phenacetin and caffeine given simultaneously, the plasma concentrations and the rates of accumulation and decline of both drugs were altered (Collins *et al.*, 1977). The overall effect of phenacetin is an increase of the concentration and prolongation of the presence of caffeine in the plasma. The locomotor activity of rats receiving caffeine and phenacetin was much higher than that of rats given caffeine alone. This hyperactivity was dose-dependent for phenacetin and is consistent with an elevated plasma caffeine concentration.

A number of studies have investigated the interaction of caffeine with another drug-like substance, nicotine, not on the metabolic level but epidemiologically. The majority of the presently available seven prospective and five retrospective studies on use of coffee and ischemic heart disease have (with only a few exceptions) agreed that there is a significant association between coffee consumption and ischemic heart disease. However, as one controls for cigarette smoking, the coffee effect on ischemic heart disease disappears completely with the unexplainable exception in the study by Jicks. There were a few suggestions — based on assumptions rather than on hard evidence — that the lipid metabolism is affected by caffeine, notably by Bellet *et al.* (1964) and Little *et al.* (1966). In 1974, Dawber *et al.* reported that there was no association between coffee consumption and serum cholesterol concentration in eight different coffee consuming groups. Cholesterol levels did not increase or decrease with increasing cups of coffee consumed per day or cigarettes smoked per day. Sacks *et al.* (1975) reported

increased levels of low-density lipoprotein and total cholesterol among coffee drinking vegetarians in contrast to non-coffee consuming vegetarians. It was, however, not stated how many of the 116 vegetarians actually did drink coffee. They stated « specifically, these increased levels of low-density lipoprotein and total cholesterol could not be accounted for by the declared addition of milk or cream to the coffee ». In 1976, Nichols from the Tecumseh Study concluded : « Correlation coefficients between frequency of coffee consumption and serum cholesterol levels for men and women were positive at a low level, and were statistically significant for women », a slightly confusing finding ! For a long time, it has been known, that free fatty acids as well as triglycerides temporarily increase in the serum after drinking a strong cup of coffee. The same happens after smoking a cigarette. But in none of these studies has it been convincingly shown that the cholesterol metabolism is in any way involved in coffee consumption. On the other hand, a few studies during the past two years have demonstrated an influence of chronic cigarette smoke inhalation on the cholesterol metabolism. Cigarette smoking has been reported to be associated with increased total cholesterol levels in the Oslo Study (Hjermann *et al.*, 1976), and with **increased** LDL and **decreased** HDL levels among 10,000 men in Israel (tab. I and II), (Goldbourt and Medalie, 1977). In none of these studies has the combined effect of both, cigarette smoking and coffee drinking on the cholesterol metabolism been examined, except in the Honolulu Heart Study.

At the AHA conference in Miami, Florida, November 19, 1976 Rhoads *et al.* reported an increased LDL level among coffee consuming Japanese men living in Hawaii. The increase in LDL levels over non-coffee consumers was slight, but statistically significant.

Table I

Reported amount of daily smoking	α -Cholesterol (mg/100 ml)
0 (never)	37.58
1-10	36.60
11-20	35.64
21+	34.94
No.	5382

Table II. — α -Cholesterol (mg/100 ml)

Age (years)	S	EX	NS
40-44	35.1	36.8	36.8
45-54	35.7	36.9	37.8
55-64	36.4	38.2	38.2
40-64	35.6	37.2	37.6
No.	3311	1085	2071

S= Smoker	EX= Ex-Smoker	NS=Non-Smoker	

(U. Goldbourt and J. H. Medalie. *Amer. J. Epidem.*, **105**: 75, 1977)

STUDY I

Method

The 1967-69 survey of the Evans County cohort included questions on smoking and coffee drinking (< 5 cups and \geq 5 cups/day). The information was utilized in a lipoprotein-phenotyping study conducted by NHLI in 1971 in this cohort, a random sample of the presumably healthy, black-white population, (n = 361). All results are adjusted for age and Quetelet Index.

Results

The random sample of the Evans County population was divided in non-smokers (N.S.), 1-15 cigarettes per day and over 15 cigarettes smokers. It was consistently noted that each subgroup, blacks or whites, males or females, showed the same trend, i.e., **increasing** LDL, total cholesterol and triglyceride concentrations and **decreasing** HDL levels with the number of cigarettes smoked. A linear relationship, with lowest LDL, cholesterol, triglyceride levels and highest HDL levels in non-smokers, and the reverse finding in heavy smokers, however, was only demonstrated in the high coffee users (> 5 cups/day). Among low or no coffee drinkers, no relationship between cigarette smoking and any of the lipid parameters mentioned was discernable. Whereas low coffee consumers displayed LDL levels of 130 mg/dl in N.S., 130 in < 15 cigarettes/day smokers and 132 in those smoking \geq 15 cigarettes, the high coffee users showed levels of 130, 146 and 152 mg/dl respectively. Vice versa, HDL levels among

the low coffee consumers varied from 57 over 62 to 54 mg/dl, but in the high coffee drinking group from 64, 52 to 45 mg/dl respectively.

In order to avoid the disadvantage of small numbers, the analysis was repeated by combining light and heavy smokers. The low coffee consumers and high coffee consumers — as long as they were non-smokers — had similar LDL levels; 132 and 134 mg/dl. However, remarkable differences existed in smokers, low coffee users: LDL 127 (n = 104) and high coffee drinkers: LDL 149 mg/dl (n = 21). The difference was statistically significant (p < 0.01).

Conclusion

Based upon the community study, it appears of importance to advise individuals who are both, heavy coffee drinkers and smokers to reduce either or both habits if for no other reason than to decrease LDL and increase HDL levels. In **heavy** coffee drinkers **who do not smoke**, LDL and total cholesterol concentrations are the same as in **no** or **low** coffee drinkers. On the other hand, in **heavy smokers who do not drink coffee**, LDL and HDL concentrations are similar as in **non-smokers**. Neither heavy cigarette smoking alone nor a habitual high coffee usage per se seems to produce undesirable lipoprotein changes. We, therefore, conclude from this small sample from a community based study that there is an interactive effect of smoking and coffee consumption on lipids and lipoproteins.

STUDY II

Method

In 1977, 320 survivors of the same cohort were reexamined. Their smoking, coffee drinking habits and alcohol consumption were questioned and lipoprotein determinations were done in the fasting state. Only nine persons continued to drink > 5 cups/day, therefore, the interaction effect of smoking and coffee drinking was studied only in coffee drinkers (1-5 cups) and non-coffee drinkers.

Results

The **univariate** analysis of the association between coffee consumption and LDL revealed a slightly higher LDL level among coffee drinkers in comparison to non-coffee drinkers among whites and a reverse finding among blacks. Both of these differences in LDL levels between coffee consumers of 1 to 5 cups/day and non-coffee drinkers were, however, statistically not significant. As far as HDL is concerned, the white coffee drinkers showed HDL levels of 51 and 51.5 mg % in non-coffee drinking persons; also among blacks, HDL levels were the same in coffee drinkers and in non-users of coffee.

The mean LDL levels were slightly higher in current smokers (136 mg % in whites) than in never-smoking whites (134 mg %) and the same relationship, although much weaker, was observed among blacks, 127 vs. 126 mg % respectively. All differences were statistically insignificant. Serum HDL concentrations revealed no differences in current, ex-, or never-smokers in either of both races.

The **bivariate** analysis of coffee consumption and smoking habits demonstrated the highest LDL levels (154 mg % ; 158 mg % *) in coffee drinkers who at the same time were smokers. Never-smokers, regardless of whether they drank some or no coffee, showed no differences in LDL concentrations (136 mg %) in both groups. The **lowest** LDL was encountered among **non-smoking abstainers from coffee**: 130 mg %. The difference between coffee drinking smokers

(158 mg %) and non-coffee consuming smokers (129 mg %) was statistically significant (.01). These statements pertain to whites only (n = 121); much weaker relationship findings were obtained in blacks (n = 80). Part of the explanation is the fact that the majority of blacks do smoke less than ten cigarettes/day. In addition, only 44 of the 80 blacks drank any coffee at all.

HDL among whites was found lowest among coffee drinkers who were smokers, 49.8 mg% and 48.6 mg %* — in contrast to non-coffee drinkers who smoked, 53.7 mg % and 50.4 mg % *. The statistical significance, however, from all these differences is missing.

Among blacks, a complete reversal of this trend is observed, again, without any statistical significance.

Alcohol, on the other hand, shows some statistically significant differences, among users and abstainers in LDL, but even more striking in HDL concentrations, in both races. Generally speaking, regular users of alcohol had lower LDL and higher HDL levels. This was particularly obvious in blacks (LDL 120.6 mg % for alcohol users vs. LDL 130 mg % for non-users, significantly different, $p < 0.05$).

Since coffee did not reveal meaningful and statistically significant differences in LDL and HDL serum concentrations in the univariate or bivariate examination, no further analysis was attempted. However, the combined effect of alcohol and smoking on HDL was examined among whites. Highest HDL levels were seen in the presence of alcohol consumption, regardless of smoking status, with very similar HDL levels of 58.3 and 60.5 mg %. **Lowest HDL levels** were observed in non-alcohol users who smoked (49.8 mg % and 45.7 mg %)*. In the black population sample, **non-drinkers** of alcohol, again, displayed the lowest HDL levels. Smokers, drinking little or no alcohol: 53.4 mg % ; non-drinkers and non-smokers: 56.2 mg %. On the other hand, consumers of alcohol (non-smokers) had mean levels of 66 mg %, or, for smokers with regular alcohol usage 60.6 mg % and for regular alcohol drinkers, and non-smokers, 66 mg %.

As expected, triglycerides and VLDL levels showed increases with both, smoking and coffee drinking, even after controlling for weight (Quetelet Index) and lower concentrations among non-smokers and non-coffee drinkers. Differences were, however, only significant in whites, not in blacks.

(*) Adjusted means.

DISCUSSION

The attempts to replicate the LDL and HDL correlations in 1972 with an interactive effect of smoking and coffee drinking was successful in whites only for LDL in 1977. For HDL, the interaction effect was not evident from the 1977 data. Statistically significant differences in HDL levels by regular alcohol consumption were found in blacks and whites. The discrepancy between the results obtained in the 1972 analysis and the 1977 analysis may be explained by the fact that in 1977 coffee consumption was sharply reduced — with only 9 persons still consuming 5 cups/day. Therefore, the 1977 analysis was essentially limited to moderate coffee usage i.e. between 1 and 5 cups/day. Both, the aging of the cohort by five years and the excessive cost of coffee have contributed to the sharp reduction in coffee consumption, according to the latest government report a decline of 30 % between 1950 and 1977. On the other hand, there is no indication that the alcohol consumption has severely declined over the same time period. Even in the presence of moderate coffee consumption when combined with the cigarette habit, we have observed elevated LDL levels and of total cholesterol in the white population of Evans

County. It must be pointed out that these analyses were performed on survivors of the Evans County Heart Research Cohort, under surveillance since 1960 when the total community of men and women age 40 through 75 and 50 % random sample of the population 15 through 39 years of age was first examined. Of the three habits studied in Evans County, — smoking, coffee drinking, and alcohol consumption — there is clearly a stronger association with lipoprotein levels in alcohol drinkers. Among non-smokers there is no association between coffee drinking and lipoprotein levels or total cholesterol.

« What twist is it in man's devious make-up that makes him « round on the seemingly more wholesome and pleasurable « aspects of his environment and suspect them of being causes « of his misfortunes ? Whatever it is, stimulants of all kinds « (and especially coffee and caffeine) maintain a position high « on the list for suspicion despite a continuing lack of real « evidence of any hazard to health. » (Editorial, Brit. Med. J. p. 1031 ; 5/1/1976 : « Caffeine, coffee, and cancer ».)

REFERENCES

1. C. COLLINS, P. T. RICHARDS, G. A. STARMER. — Caffeine-phenacetin interaction in the rat: effects on absorption, metabolism and locomotor activity. *J. Pharm. Pharmacol.* (London), **29** : 217, 1977.
2. R. H. REUNING, G. LEVY. — Effect of Complex Formation on Drug Absorption. VII. Effect of Complexation and Self-Association on the Absorption of Caffeine. *J. Pharmacol. Sci.* (Easton), **57** : 1335, 1968.
3. O. D. MJOS. — High density lipoprotein and coronary heart disease. Editorial. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* (Oslo), **37** : 191, 1977.
4. S. C. ENGER, K. HERBJORNSEN, J. ERIKSEN, A. FRETLAND. — High density lipoproteins (HDL) and physical activity: the influence of physical exercise, age and smoking on HDL-cholesterol and the HDL-total cholesterol ratio. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* (Oslo), **37** : 251, 1977.
5. E. P. BENDITT. — The Origin of Atherosclerosis. The monoclonal hypothesis, which holds that the proliferating cells of an atherosclerotic plaque all stem from one mutated cell, suggests new lines of research on the causes of coronary disease. *Scientific American* (New York), **236**, 2 : 74, 1977.
6. D. L. TOPPING. — Metabolic Effects of Carbon Monoxide in Relation to Atherogenesis. *Atherosclerosis* (Amsterdam), **26** : 129, 1977.
7. J. AXELROD, J. REICHTHAL. — The Fate of Caffeine in Man and a Method for its Estimation in Biological Material. *J. Pharmacol. Experiment. Therapeut.* (Baltimore), **107** : 519, 1953.
8. T. R. DAWBER, W. B. KANNEL, T. GORDON. — Coffee and Cardiovascular Disease. Observations from the Framingham Study. *N. Engl. J. Med.* (Boston), **291** : 871, 1974.
9. A. B. NICHOLS, C. RAVENSCROFT, D. E. LAMPHEAR, D. Jr. OSTRANDER. — Independence of Serum Lipid Levels and Dietary Habits. The Tecumseh Study. *JAMA*, **236** : 1948, 1976.
10. F. M. SACKS, W. P. CASTELLI, A. DONNER, E. H. KASS. — Plasma Lipids and Lipoproteins in Vegetarians and Controls. *N. Engl. J. Med.* (Boston), **292** : 1148, 1975.
11. YANO *et al.* — Coffee, Alcohol and the Risk of Coronary Heart Disease among Japanese Men Living in Hawaii (The Honolulu Heart Study). Presented at the AHA Conference, Miami, Florida, Nov. 1976.
12. U. GOLDBOURT, J. H. MEDALIE. — Characteristics of Smokers, Non-Smokers and Ex-Smokers Among 10,000 Adult Males in Israel. II. Physiologic, Biochemical and Genetic Characteristics. *Amer. J. of Epidemiology* (Baltimore), **105** : 75, n° 1, 1977.
13. I. HJERMANN, A. HELGELAND, I. HOLME, G. LUND-LARSEN, P. LEREN. — The Intercorrelation of Serum Cholesterol, Cigarette Smoking and Body Weight. The Oslo Study. *Acta Med. Scand.* (Stockholm), **200** : 479, 1976.

APPENDIX

1) Mean LDL by coffee, by race

Race	Adjusted Mean	N	Co-variates	Significance
<u>White</u>				
Coffee: 0	134.1	125	Quetelet * Age-Sex	
Coffee: 1-5	138.6	48	Main	N.S.
<u>Black</u>				
Coffee: 0	129.6	86	Quetelet * Age-Sex	
Coffee: 1-5	123.0	49	Main	N.S.

* Quetelet : Controlling for weight and height.

2) Mean HDL by coffee, by race

Race	Adjusted mean	N	Co-variates	Significance
<u>White</u>				
Coffee: 0	51.5	124	Quetelet Age-Sex	
Coffee: 1-5	50.9	48	Main	N.S.
<u>Black</u>				
Coffee: 0	57.8	86	Quetelet Age-Sex	
Coffee: 1-5	58.3	49	Main	N.S.

3) Mean LDL by smoking, by race

Race	Adjusted mean	N	Co-variates	Significance
<u>White</u>				
Current Sm. } Ex-Smoker }	136.3	165	Quetelet Age-Sex	
Never Smoked		90	Main	N.S.
<u>Black</u>				
Current Sm. } Ex-Smoker }	127.4	58	Quetelet Age-Sex	
Never Smoked		64	Main	N.S.

4) Mean HDL by smoking, by race

Race	Adjusted mean	N	Co-variates	Significance
<u>White</u>				
Current Sm. } Ex-Smoker }	50.5	165	Quetelet Age-Sex	
Never Smoked		90	Main	N.S.
<u>Black</u>				
Current Sm. } Ex-Smoker }	58.1	126	Quetelet Age-Sex	
Never Smoked		65	Main	N.S.

5) Mean LDL by coffee and smoking (White)

White	Adjusted mean	N	Co-variate	Significance
<u>No coffee</u>				
Smokers	135.9	61	Quetelet Age-Sex	
Non-smokers	130.0	60	Main	N.S.
<u>Coffee: 1-5</u>				
Smokers	154.2	14	Quetelet Age-Sex	
Non-smokers	135.3	31	Main	N.S.
<u>Never smoked</u>				
Coffee: 0	136.4	60	Quetelet Age-Sex	
Coffee: 1-5	135.7	31	Main	N.S.
<u>Smokers + Ex-Sm.</u>				
Coffee: 0	129.4	61	Quetelet Age-Sex	
Coffee: 1-5	158.4	14	Main	0.01

6) Mean LDL by coffee and smoking (Black)

Black	Adjusted mean	N	Co-variate	Significance
<u>No coffee</u>				
Smokers	134.1	41	Quetelet Age-Sex	
Non-smokers	123.9	39	Main	N.S.
<u>Coffee: 1-5</u>				
Smokers	128.8	18	Quetelet Age-Sex	
Non-smokers	115.0	26	Main	N.S.
<u>Never smoked</u>				
Coffee: 0	128.4	39	Quetelet Age-Sex	
Coffee: 1-5	120.9	26	Main	N.S.
<u>Smokers + Ex-Sm.</u>				
Coffee: 0	129.6	41	Quetelet Age-Sex	
Coffee: 1-5	128.7	18	Main	N.S.

7) Mean HDL by coffee and smoking (White)

White	Adjusted mean	N	Co-variate	Significance
<u>No coffee</u>		121	Quetelet	
Smokers	53.7	61	Age-Sex	
Non-smokers	49.8	60	Main	N.S.
<u>Coffee: 1-5</u>		45	Quetelet	
Smokers	49.8	14	Age-Sex	
Non-smokers	51.3	31	Main	N.S.
<u>Never Smoked</u>		91	Quetelet	
Coffee: 0	54.4	60	Age-Sex	
Coffee: 1-5	53.9	31	Main	N.S.
<u>Smokers + Ex-Sm.</u>		75	Quetelet	
Coffee: 0	50.4	61	Age-Sex	
Coffee: 1-5	48.6	14	Main	N.S.

9) Mean LDL by alcohol, by race

	Adjusted mean	N	Co-variates	P
<u>White</u>		170	Quetelet	
< 1 drink/week	135.8	136	Age-Sex	.001
≥ 1 drink/week	133.9	34	Main	N.S.
<u>Black</u>		135	Quetelet	
< 1 drink/week	130.0	96	Age-Sex	.000
≥ 1 drink/week	120.6	39	Main	.05

11) Mean HDL by alcohol, smoking in whites

	Adjusted mean	N	Co-variates	P
<u>Non-smoker</u>		100	Quetelet	
< 1 drink/week	51.1	81	Age-Sex	N.S. .001
≥ 1 drink/week	60.3	19	Main	0.06
<u>Smokers + Ex-Sm.</u>		73	Quetelet	
< 1 drink/week	45.7	48	Age-Sex	N.S. .02
≥ 1 drink/week	58.3	25	Main	.001
<u>Non-Drinkers</u>		129	Quetelet	
Non-smokers	50.4	81	Age-Sex	N.S. .001
Smokers	48.8	48	Main	N.S.
<u>Drinkers</u>		44	Quetelet	
Non-smokers	60.5	19	Age-Sex	N.S. .008
Smokers	57.9	25	Main	N.S.

8) Mean HDL by coffee and smoking (Black)

Black	Adjusted mean	N	Co-variate	Significance
<u>No coffee</u>		80	Quetelet	
Smokers	56.2	41	Age-Sex	
Non-smokers	61.1	39	Main	N.S.
<u>Coffee: 1-5</u>		44	Quetelet	
Smokers	62.5	18	Age-Sex	
Non-smokers	55.6	26	Main	N.S.
<u>Never Smoked</u>		65	Quetelet	
Coffee: 0	61.5	39	Age-Sex	
Coffee: 1-5	55.5	26	Main	N.S.
<u>Smokers-Ex-Sm.</u>		59	Quetelet	
Coffee: 0	55.5	41	Age-Sex	
Coffee: 1-5	63.4	18	Main	N.S.

10) Mean HDL by alcohol, by race

	Adjusted mean	N	Co-variate	P
<u>White</u>		169	Quetelet	
< 1 drink/week	49.1	135	Age-Sex	N.S. .000
≥ 1 drink/week	59.8	34	Main	.001
<u>Black</u>		135	Quetelet	
< 1 drink/week	55.1	96	Age-Sex	.05 N.S.
≥ 1 drink/week	63.1	39	Main	.03

12) Mean HDL by alcohol, smoking in blacks

	Adjusted mean	N	Co-variates	P
<u>Non-smokers</u>		64	Quetelet	
< 1 drink/week	57.8	53	Age-Sex	N.S. .04
≥ 1 drink/week	66.0	11	Main	N.S.
<u>Smokers + Ex-Sm.</u>		60	Quetelet	
< 1 drink/week	53.4	35	Age-Sex	.03 N.S.
≥ 1 drink/week	60.6	25	Main	N.S.
<u>Non-drinkers</u>		88	Quetelet	
Non-smokers	56.2	53	Age-Sex	N.S. .05
Smokers	57.0	35	Main	N.S.
<u>Drinkers</u>		36	Quetelet	
Non-smokers	65.9	11	Age-Sex	N.S. N.S.
Smokers	58.4	25	Main	N.S.

HEYDEN (S.) *et al.* — Effet combiné de la consommation de cigarettes, d'alcool et de l'absorption de café sur le LDL-HDL (avec quatre tableaux A, B, C, D définissant, en préambule, les « LDL » et « HDL »). VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 311-318, tabl., réf.

On a mesuré en 1972 et 1977 les lipides et lipoprotéines du cholestérol de 320 personnes prises au hasard parmi les survivants des participants à l'étude cardiologique du comté d'Evans.

Le dépistage, effectué à l'aide d'un coefficient de corrélation, a été statistiquement significatif en ce qui concerne le cholestérol et les triglycérides du plasma ainsi que les concentrations en lipoprotéines de faible densité (LDL), lipoprotéines de densité élevée (HDL) et lipoprotéines de très faible densité (VLDL). En 1972, on note, dans chacun des sous-groupes tels que noirs, blancs, femmes et hommes, l'association d'une légère diminution des taux de HDL et d'une augmentation des taux de LDL avec le nombre de cigarettes fumées. En 1977 on remarque une plus forte concentration en LDL chez les fumeurs que chez les non-fumeurs ainsi qu'une plus faible dose de LDL et une teneur en HDL sensiblement plus élevée chez les buveurs d'alcool que chez les personnes n'en consommant pas.

Les teneurs en LDL et HDL ne diffèrent pas de manière significative en fonction de la consommation de café. Il existe une action combinée évidente de la consommation de cigarettes et de l'absorption de café sur les LDL et le cholestérol total, les VLDL et les triglycérides, mais non sur les HDL. Une forte association positive entre l'alcool et les HDL existe (en tenant compte de l'âge et du sexe), aussi bien chez les blancs que chez les noirs. En tenant compte de l'âge, du sexe et du poids corporel une relation négative persiste entre l'alcool et les LDL, seulement chez les blancs. Ni la seule consommation de cigarettes, ni celle habituelle de café ne produisent par elles-mêmes des changements indésirables des teneurs en lipoprotéines.

HEYDEN (S.), *et al.* — The combined effect of smoking, alcohol and coffee drinking on LDL-HDL (with four tables A, B, C, D as preamble for the definition « LDL », « HDL »). VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 311-318, tabl., réf.

In a random sample of 320 residents, survivors of the Evans County heart study cohort, lipid and lipoprotein cholesterol were measured in 1972 and 1977. Tracking as measured by correlation coefficient was statistically significant for plasma cholesterol and triglycerides, as well as HDL_C, LDL_C, and VLDL_C. In 1972, in each subgroup, i.e. blacks, whites, males, females, a consistent trend of increasing LDL and slightly decreasing HDL levels with the number of cigarettes smoked was noted. In 1977, higher LDL was observed in smokers vs. non-smokers; lower LDL and markedly higher HDL in alcohol consumers vs. abstainers. LDL and HDL did not differ significantly by coffee drinking habits. There was evidence of interaction of smoking and coffee drinking on LDL and total cholesterol, VLDL and triglycerides but not on HDL.

A strong positive association of alcohol with HDL remained, adjusting for age and sex in blacks and whites. A negative association of alcohol with LDL remained after adjusting for age and sex and body weight in whites only. Neither cigarette smoking alone nor a habitual high coffee usage per se seems to produce undesirable lipoprotein changes.

INCIDENCE OF NEOPLASMS AND ARTERIOSCLEROSIS IN RATS DURING 2-YEAR FEEDING OF INSTANT COFFEES



H. P. Würzner

H. P. WÜRZNER, E. LINDSTRÖM, L. VUATAZ

Nestlé Products Technical Assistance Company Limited,
Biological Laboratory, CH-1350 Orbe

H. LUGINBÜHL

Institut for Animal Pathology, University of Bern,
CH-3000 Bern

INTRODUCTION

There is increasing evidence that cardiovascular diseases and cancer, both major causes of death in man, are, with high probability, directly dependant on our environment. Exposure to radiation, drugs and chemicals, food, drinking and smoking habits as well as socio-psychological factors are all implicated. In a search for causal factors several retrospective and prospective epidemiological studies have been conducted. Coffee has been one of the suspect factors for these diseases.

Epidemiological studies need, however, to be backed

up by experimental studies in which potentially harmful factors can be investigated in a highly standardised environment, devoid of any interfering influences. In this paper we present selected data on the incidence of neoplasms and cardiovascular changes from a study in which instant coffees were fed to rats over a two year period.

Our objectives were directed towards identifying any effects, including interactions of different technological variables associated with the production of coffee such as decaffeination, extraction and drying.

EXPERIMENTAL

In tables I and II the experimental groups and details of the instant coffee samples used are outlined. The regular instant samples were prepared from a commercial mixture of Robusta and Arabica coffee beans, yielding low, medium and high extractions. The samples were either spray or freeze dried.

Decaffeination was effected using methylene chloride as the solvent. Preparation of the decaffeinated

instant coffees was as for the regular samples, again yielding low, medium and high extractions. To three of the decaffeinated samples L, M and O, we reintroduced caffeine at the highest level detected by analysis of the regular instant sample B. In this way we ensured assessment of potential effects of the solvent treatment of the coffee beans through comparisons.

All regular and decaffeinated samples were incorpo-

Table I. — Experimental groupings and data on instant-coffee-samples

TREATMENT GROUP	TYPE OF INSTANT COFFEE ADMINISTERED	EXTRACTION RATE (%)	WAY OF DRYING	CAFFEINE CONTENT (G/100 G SAMPLE)
A	CONTROL	—	—	—
B	REGULAR	23.0	SPRAY	5.9
C	REGULAR	37.4	SPRAY	4.1
D	REGULAR	50.2	SPRAY	2.9
E	REGULAR	50.2	FREEZE	2.9
P	REGULAR	47.0	SPRAY	4.3
S	REGULAR	47.0	SPRAY	3.9

Table II. — Experimental groupings and data on instant-coffee-samples

TREATMENT GROUP	TYPE OF INSTANT COFFEE ADMINISTERED	EXTRACTION RATE (%)	WAY OF DRYING	CAFFEINE CONTENT (g/100g SAMPLE)
A	CONTROL	—	—	—
G	DECAFFEINATED	20.9	SPRAY	0.4
H	DECAFFEINATED	34.6	SPRAY	0.3
J	DECAFFEINATED	47.4	SPRAY	0.2
K	DECAFFEINATED	47.4	FREEZE	0.2
L	DECAFF.+CAFF.	37.4	SPRAY	5.7
M	DECAFF.+CAFF.	50.2	SPRAY	5.9
O	DECAFF.+CAFF.	50.2	FREEZE	5.9

rated at a fixed level of 6% in a standard commercial rat diet which was fed *ab libitum* to rats whose initial weight was 100 g. Each experimental group including the control consisted of forty male and forty female rats. The average daily intake of coffee by both sexes

was around 3 g/kg body weight which is equivalent to about seventy-eighty cups of coffee per day in man. Further experimental details are given by Würzner, Lindström, Vuataz and Luginbühl (1976 and 1977).

RESULTS

Incidence of neoplasms

In table III the prevalence of tumours is detailed as total number and then classified as malignant or benign, epithelial or mesenchymal for the regular

coffee samples. Only caffeine, one of the technological variables, gave a significant effect. Increased levels of caffeine surprisingly decreased the risk of neoplasm. This effect was more pronounced for the benign than the malignant forms. For statistical analysis we used

the technique of multiple regression since the thirteen treatments (control excluded) may be considered as a factorial design in which the technological variables are caffeine content, decaffeination, extraction yield and method of drying. A second statistical approach used involved the comparison of the treatments against the controls for both sexes, separately.

Treatments B, P and O, all of which contained high caffeine levels, were associated with significantly lower proportions of neoplasms. The conclusion from the multiple regression analysis on the effect of caffeine is in agreement with the comparisons of treatments against the control.

Table IV shows that there is no increased risk of neoplasia associated with the decaffeinated coffee

samples. Product H is the only one that shows a somewhat higher incidence of neoplasia but the difference was statistically insignificant when sexes and benign or malignant neoplasms were evaluated separately.

The most common types of neoplasms were embryonal nephroma, lymphosarcoma, mammary fibroadenomas and adrenal adenomas. They represented about 85 % of all tumours observed.

The other various types of tumours, which were found only in one to four animals in each of the groups, accounted for the remaining 15 % of neoplasms. We did not find any bladder cancer or bladder epithelial cell anaplasia.

Table III. — Prevalence of tumours in control and treated groups (all animals)

REGULAR						
TREATMENT GROUP	N° OF RATS	TOTAL NEOPLASMS	MALIGNANT NEOPLASMS	BENIGN NEOPLASMS	EPITHELIAL NEOPLASMS	MESENCHYMAL NEOPLASMS
A	67	26	6	20	21	5
B	73	10	3	7	7	3
C	73	19	6	13	17	2
D	68	16	7	9	14	2
E	69	18	6	12	13	5
P	66	16	9	7	10	6
S	71	15	1	14	15	0

Table IV. — Prevalence of tumours in control and treated groups (all animals)

DECAFFEINATED						
TREATMENT GROUP	N° OF RATS	TOTAL NEOPLASMS	MALIGNANT NEOPLASMS	BENIGN NEOPLASMS	EPITHELIAL NEOPLASMS	MESENCHYMAL NEOPLASMS
A	67	26	6	20	21	5
G	74	24	6	18	19	5
H	70	29	9	20	24	5
J	65	17	6	11	12	5
K	70	18	7	11	12	6
L	72	14	6	8	9	5
M	69	13	7	6	9	4
O	73	11	6	5	7	4

Cardiovascular observations

Between fifteen and eighteen months of the trial systolic, indirect blood pressure was measured in a small number of animals of all groups using a sphygmomanometer and pulse transducer by cuff constriction of the caudal tail artery similar to Del Greco, Olmsted, Masson and Corcoran (1953). We used a design in which the rats were warmed in a plexiglass box maintained at 38 °C. The rats were trained in several sessions prior to double or triple measurement of the blood pressure. The mean blood pressure for males was found to be between 99 and 170 mm mercury and for females between 97 and 125 mm mercury. There were no differences between the control and the various treatments although some animals were definitely hypertensive and showed blood pressures exceeding twice the standard deviation of the group means. However, these animals all had the wellknown progressive chronic nephropathy characterized by tubular dilatation, epithelial hypertrophy, chronic interstitial nephritis and fibrosis, glomerulosclerosis and stenosing arteriosclerosis. Heart rate recorded simultaneously showed an upward trend in animals receiving the highest caffeine doses (fig. 1). The heart rate in males and females was comparable and varied from 430 to 480 beats/min.

Coronary arteriosclerosis was evaluated by histological examination of the heart of ten male and ten female rats/group. This was carried out at three, twelve, and twenty-four months of the trial.

Intramural coronary arteriosclerosis was characterized by degenerative, proliferative and stenosing changes. The degenerative changes affected smooth muscle cells in the media and the intima and showed fragmen-

tation and duplications of the internal elastic membrane.

The intimal changes involved proliferation, reorientation and pleomorphism of smooth muscle cells as well as deposition of collagen, elastin and ground substances which lead subsequently to stenosing changes. Also in the late stages there were lipid-storing foam cells, disseminated or in groups, and usually adjacent to the internal elastic membrane. These cells usually degenerate and sometimes lead to atheroma formation.

The earliest indications of the above syndrome were seen in both control and coffee-treated animals at three months; prevalence and degree was comparable in all groups. In rats killed at twelve months coronary arteriosclerosis was observed in practically all control and treated animals to a minimal or mild degree. As expected, the pathogenesis of the arteriosclerotic lesions progressed at varying rates in different animals of the same group. Myocardiolysis, myocardial fibrosis and myocardial scars also occurred in some animal of all groups. These lesions were, however, not induced, influenced or accelerated by the coffee treatments. In terminal animals at twenty-four months coronary arteriosclerosis was generally more advanced in male rats. A wide fluctuation in severity was apparent at this final stage and varied from a minimal to moderate or even severe degree in rats of one and the same group. The comparisons and evaluations of the groups showed that arteriosclerosis in treated animals was comparable in quality and quantity to that of the control rats. These findings are in agreement with those of Heyden, De Maria, Johnston and O'Fallon (1969) who administered caffeine orally and by injection for longer periods to rabbits and did not find differences in arteriosclerosis in control and treated animals of this species.

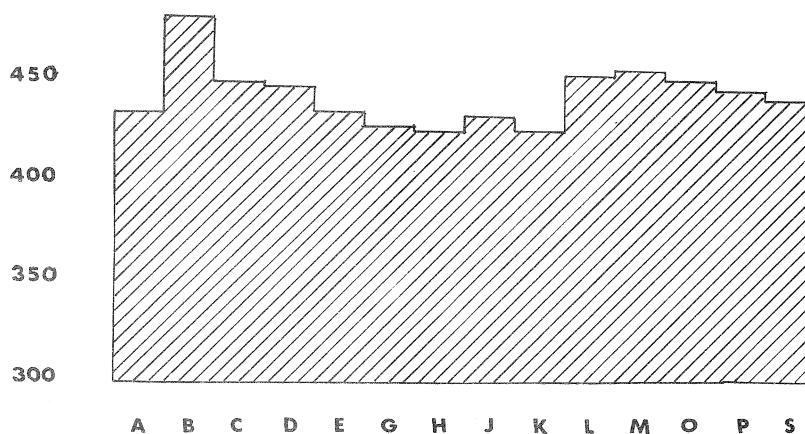


Fig. 1. — Heart rate. Beats/min (mean values)

REFERENCES

1. H. P. WÜRZNER, E. LINDSTRÖM, L. VUATAZ, H. LUGINBÜHL. — A 2-Year Feeding Study of Instant Coffees in Rats. I. Body Weight, Food Consumption, Haematological Parameters and Plasma Chemistry. *Fd Cosmet. Toxicol.* (Oxford), **15** : 7-16 (1976).
2. H. P. WÜRZNER, E. LINDSTRÖM, L. VUATAZ, H. LUGINBÜHL. — A 2-Year Feeding Study of Instant Coffees in Rats. II. Incidence and Types of Neoplasms. *Fd Cosmet. Toxicol.* (Oxford), **15** : 289-296 (1977).
3. F. DEL GRECO, F. OLMSTED, G. MASSON, A. C. CORCORAN. — Graphic measurement of arterial pressure in the unanesthetized rat. *J. Lab. Clin. Med.* (Saint-Louis), **41** : 729-737 (1953).
4. S. HEYDEN, W. DE MARIA, W. W. JOHNSTON, W. M. O'FALLON. — Caffeine effects on cholesterol and development of aortic and coronary arteriosclerosis in rabbits. *J. chron. Dis.* (Oxford), **21** : 677-85 (1969).

WÜRZNER (H. P.), LINDSTRÖM (E.), VUATAZ (L.), LUGINBÜHL (H.). — **Apparition de néoplasmes et d'artériosclérose chez des rats recevant, dans leur alimentation, du café soluble pendant deux ans.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 319-323, fig., tabl., réf.

Dans cette étude, des rats mâles et femelles ont reçu pendant deux ans du café normal et décaféiné, incorporé dans leur ration alimentaire au taux maximum de tolérance de 6%. A l'exception de la caféine, les autres variables techniques, soit la lyophilisation et l'atomisation, la décaféinisation et l'extraction, n'ont pas d'effet significatif sur l'apparition et les types de néoplasmes. La pression sanguine systolique, mesurée indirectement, n'est liée qu'à la néphropathie progressive chez les rats mâles et femelles et non aux traitements. Le rythme cardiaque des rats mâles et femelles est légèrement mais non significativement augmenté dans les traitements apportant du café avec de hautes teneurs en caféine. Finalement, le développement de lésions artériosclérotiques coronaires et myocardiales est semblable dans tous les groupes, en conséquence on conclut que l'ingestion de fortes doses de café, dans les conditions de cette étude, n'induit, n'accélère ni ne modifie le développement d'artériosclérose coronaire chez le rat.

WÜRZNER (H. P.), LINDSTRÖM (E.), VUATAZ (L.), LUGINBÜHL (H.). — **Incidence of neoplasms and arteriosclerosis in rats during 2-year feeding of instant coffees.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 319-323, fig., tabl., réf.

In this study regular and decaffeinated coffee samples were incorporated at the maximum tolerated level of 6% in the diet and fed for 2 years to male and female rats. With the exception of caffeine, the other technical variables, namely, freeze and spray drying, decaffeination and extraction did not influence the incidence and types of neoplasms in a significant manner. Indirectly measured systolic blood pressure was only related to the progressive nephropathy in individual rats and not to the treatments. Heart rate in male and female rats appeared slightly but insignificantly increased in coffee treatments with high caffeine contents. Finally, the development of coronary arteriosclerotic and myocardial lesions was comparable in all groups, and therefore, we conclude that ingestion of high amounts of coffee in this study did not induce, accelerate or modify the development of coronary arteriosclerosis in the rat.

COFFEE AND PREGNANCY

Consommation de café par la femme enceinte

Ch. SCHLATTER

Institute of Toxicology, Swiss Federal Institute
of Technology and University of Zurich

Many animal experiments on the teratogenicity and on the reproduction capacity were performed in the past with caffeine. Rapid administration of doses higher than 75 mg/kg orally or by injection to mice or rats led to intoxications of the dams and to malformations and fetal deaths of the puppies. Such effects generally occur when the mother's health is impaired heavily by any agent. Thus caffeine is not a teratogen in its own sense. Continuous administration of high dose levels in drinking water or in feed were inactive both for puppies and mothers. This is due to the rather short half life of caffeine which prevents reaching a high cytotoxic concentration after protracted application.

Several epidemiological studies in man on the effect of coffee drinking to the progeny are available.

One retrospective survey of nearly 1.400 mothers with known caffeine consumption histories revealed no association between caffeine intake and abnormalities in offspring.

One pitfall in interpreting epidemiological studies is the possibility of the adoption of a causal relationship if there is nothing more than a simple correlation: although based on animal experiments coffee drinking by itself has not to be considered as a cause for low birthweights or birthdefects, heavy coffee drinking was observed by some authors to occur more frequently in mothers delivering children with low birthweights. However, other reasons such as smoking, alcoholism or malnutrition, conditions to which heavy coffee drinking is often associated, are really responsible for the children's defects. Heavy coffee and alcohol drinkers represent a specific « type » with specific noxious nutritional and life habits. Therefore the efficacious prevention would be a good prenatal care eliminating these important predisposing factors for birthdefects. After such a general correlation of the health status heavy coffee consumption will decrease spontaneously in most cases to normal levels. A low to moderate coffee consumption during pregnancy must be recommended although overt adverse effects are not known yet. Caffeine and other coffee ingredients are substances with high biologic activities. Not enough is known on possible subtle effects on the fetal development. Differences in metabolism and pharmacokinetics between adults and fetuses may also exist which can render fetal tissues more susceptible to the action of caffeine.

Plusieurs expériences antérieures ont été effectuées sur des animaux pour déterminer l'effet de la caféine sur la capacité de reproduction et sur la tératogénèse. L'administration rapide de doses supérieures à 75 mg/kg par voie orale ou par injection conduit chez la souris et le rat à des intoxications chez les femelles et à des malformations et des morts de fœtus. De tels effets sont courants lorsque la santé de la mère enceinte est fortement perturbée par un agent extérieur. On en conclut que la caféine n'a pas d'effet tératogène particulier. L'administration continue à hautes doses dans l'eau de boisson ou dans l'alimentation n'a pas eu d'effet sur les mères et sur les nouveau-nés. En effet, la demi-vie de la molécule de caféine est courte et de ce fait une accumulation provoquant une cytotoxicité n'est pas atteinte lors de l'administration continue.

Plusieurs études épidémiologiques ont traité les effets de la consommation de café sur la progéniture chez l'Homme.

Une étude rétrospective sur 1 400 mères n'a montré aucune association entre consommation de café et taux d'anomalies chez les nouveaux-nés.

L'un des écueils de l'interprétation en épidémiologie est d'établir une relation de cause à effet dans des données où seule une corrélation pourrait être dégagée. Les essais sur animaux avaient montré que la consommation de café-boisson n'a pas d'effet sur le poids des nouveau-nés ou les défauts de poids à la naissance; quelques auteurs ont remarqué que les futures mères donnaient naissance à des bébés présentant un poids à la naissance plus faible que la moyenne lorsque ces femmes consommaient beaucoup de café. D'autres facteurs tels que la consommation de cigarettes, l'alcoolisme, la malnutrition sont en fait responsables de cet accident. Les fortes consommatrices de café et d'alcool constituent en effet un type de population qui présente des habitudes de vie et de nourriture spécialement nocives pour la santé. La prévention des accidents à la naissance repose donc sur des modifications d'hygiène chez la femme enceinte pour éviter ces actions nocives. Ces modifications d'habitude vont aussi impliquer une réduction de la consommation de café à des taux normaux. On peut donc recommander à la femme enceinte de modérer sa consommation de café bien qu'aucun effet nocif n'ait été mis en évidence jusqu'à présent. La caféine et certains constituants du café présentent une haute activité biologique. On ne connaît pas encore les effets possibles sur le développement détaillé du fœtus. Il se peut en effet que des différences au niveau du métabolisme rendent le tissu foetal plus sensible à la caféine que d'autres tissus.

QUELQUES ASPECTS DE L'UTILISATION DE LA BIOLOGIE VÉGÉTALE POUR LE DÉVELOPPEMENT DES PAYS DE L'AFRIQUE INTERTROPICALE

J. LOROUGNON GUÉDÉ

Professeur à l'Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan
Ministre de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire

Le but de cet exposé est de tenter une analyse des possibilités ouvertes par quelques orientations de la biologie végétale, au service de la Science et de l'Economie, dans les pays d'Afrique intertropicale.

Il s'agit seulement de quelques orientations, car faire le tour de toutes les perspectives ouvertes par l'utilisation des végétaux dans nos pays pourrait faire l'objet de nombreux volumes, de multiples discussions et d'une multitude de conférences diverses. Et même pour les secteurs que nous avons choisi d'examiner avec vous, il ne peut évidemment être question que de tracer quelques lignes de force.

Celles que nous avons choisies permettent, cependant, nous semble-t-il, de tenter un début d'analyse globale. Il nous paraît aussi que la philosophie générale se dégageant de cette tentative pourrait permettre une amélioration dans le sens de la rationalité des pratiques

en vue de la mise en valeur des pays intertropicaux d'Afrique.

Mais une question que l'on peut considérer comme préalable vient à l'esprit. Relativement à l'analyse de ces problèmes et de leur répercussion sur le développement des pays, l'Afrique intertropicale mérite-t-elle un traitement à part ? En particulier, les données objectives permettent-elles de considérer d'un œil différent les terres intertropicales et celles qui s'étendent au nord du tropique du Cancer jusqu'au pôle, c'est-à-dire l'ensemble des territoires holarctiques ?

Nous allons d'abord essayer de répondre à cette question et nous tirerons ensuite des enseignements du résultat des constatations faites, car cet exposé comprend deux parties, à savoir : d'une part l'étude des caractéristiques spécifiques des régions intertropicales et d'autre part celle de la situation et des perspectives en Afrique intertropicale.

CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES DES RÉGIONS INTERTROPICALES D'AFRIQUE

Les régions intertropicales d'Afrique présentent-elles des caractéristiques spécifiques ?

Pour obtenir une réponse à cette question, nous allons interroger à la fois l'Histoire et l'Homme, ce dernier pouvant agir en tant que facteur de déséquilibre ou en tant qu'agent sélectionneur d'espèces végétales.

Raisons historiques

Nous allons d'abord vous demander de bien vouloir remonter, avec nous, le fil du temps, en prenant suffisamment de recul pour embrasser l'ensemble de l'histoire géologique, au moins depuis l'âge accessible à

des raisonnements cohérents, et concernant les peuplements végétaux. On peut dire que la flore de l'Afrique intertropicale a évolué sur un continent émergé depuis le Précambrien, c'est-à-dire depuis au minimum 600 millions d'années. Ces terres ont échappé aussi bien aux grandes transgressions marines de l'ère secondaire qu'aux grands événements glaciaires du quaternaire dont les effets, par contre, ont été dévastateurs de toute la région holarctique. L'histoire géologique comparée des deux régions attire donc l'attention sur un fait capital pour leur flore.

La flore d'Afrique intertropicale s'est développée pratiquement sur les mêmes terres émergées, depuis des temps immémoriaux. La flore holarctique, au contraire, est d'installation récente, géologiquement

parlant ; son histoire remonte à environ 15.000 ans. Il en résulte une bien plus grande diversité floristique des régions intertropicales par rapport à celles de la zone holarctique. Plus encore, la flore de ces dernières régions est limitée dans ses aptitudes, du fait, d'une part, des éliminations dues aux vicissitudes géologiques traversées et, d'autre part, des processus de sa reconstitution après les événements dévastateurs. Par contre, les flores intertropicales bénéficiant de conditions relatives de calme et de durée, se sont diversifiées sur place, conservant globalement, au travers de l'ensemble des phénomènes géologiques, un maximum de la diversité des traits caractéristiques des populations ancestrales. Notons aussi leur exceptionnelle richesse en espèces ligneuses.

Influence humaine sur la flore « naturelle »

D'autres facteurs plus actuels sont venus encore accuser cette dualité. Nous pensons à l'action humaine, et tout d'abord à celle qui s'est exercée sur la flore « naturelle ». Cette dernière a été beaucoup plus marquée dans tout le domaine holarctique que dans l'Afrique intertropicale. En effet, dans cette zone, au moins dans la portion la plus proche de la zone équatoriale, la densité du peuplement humain est, sans conteste, moins importante que dans le domaine holarctique.

L'homme, dès les premiers âges, a exploité la nature. Au début, ses moyens d'emprise sur elle étaient peu importants, mais, ceux-ci ont grandi, au fur et à mesure de l'évolution des outils et des techniques. Ainsi, l'ordre biologique en a été plus ou moins bouleversé. Une exploitation sans retenue du milieu naturel a conduit à la dilapidation plus ou moins grande d'un patrimoine qu'une lente évolution des processus biologiques avait mis en place au fil des siècles.

Dans les régions holarctiques, il est incontestable qu'il a disparu plus de choses que dans l'Afrique subéquatoriale, encore qu'on ne puisse pas dire, à l'heure actuelle, que les pays qui composent cette dernière n'aient pas été touchés par cette dilapidation. Voilà le deuxième trait original de certaines parties des pays intertropicaux d'Afrique.

La domestication des espèces végétales par l'homme

Un autre facteur de diversité entre ces groupes de pays vient du comportement de l'homme dans l'exploitation positive d'espèces végétales. Quand on cherche à déterminer le nombre d'espèces végétales utilisées par l'homme, on est bien obligé de constater qu'il est très petit par rapport à celui des espèces existant à la surface du globe.

Comment s'est faite cette domestication ?

Elle est le fruit de pratiques empiriques sélectionnant, dans un ensemble de plantes, les combinaisons

génétiques les plus favorables pour le but visé. Nous pensons qu'il est inutile de souligner le rôle du hasard dans le déroulement de ces processus.

Ainsi, l'homme est arrivé, au cours des âges, à sélectionner des plantes de telle façon que, pour certaines d'entre elles, on en est réduit à des suppositions sur leur origine. Tel est le cas, par exemple, pour le blé et le maïs.

Ainsi, en exploitant des mutations occasionnelles et des croisements fortuits entre géotypes divers, l'homme a profité d'une partie du polymorphisme génétique de certains groupes systématiques.

Nous soulignons l'importance particulière du facteur temps pour aboutir à ce résultat. Faire intervenir ce facteur implique une continuité au cours des temps et, de ce fait, l'existence, dans la région déterminée, de populations présentant un minimum de sédentarité et pratiquant des cultures. Or, on peut dire que cette condition était, au minimum, mieux réalisée dans les régions holarctiques que dans les régions intertropicales d'Afrique. Une telle situation, dans ces dernières, était corrélative d'une faiblesse relative du peuplement humain favorisant, pour diverses raisons, une économie davantage basée sur la cueillette. Pourtant, les peuples de ces régions savaient beaucoup mieux utiliser de nombreuses espèces végétales que ceux des régions tempérées. Mais il n'ont pratiquement pas cherché à les domestiquer jusqu'à une date récente. Tout simplement, d'ailleurs, parce que le besoin ne s'en faisait pas sentir.

C'est encore là une caractéristique originale des pays intertropicaux d'Afrique.

Mais cette dernière appelle une réflexion qui nous paraît d'une particulière importance. Plaçons notre raisonnement dans le cadre du contexte évolutif que parcourt l'humanité. Dans les quelques décades qui viennent de s'écouler, un processus s'est mis impétueusement en route. On a assisté, on assiste aujourd'hui et ce sera plus vrai encore demain, à l'intervention des scientifiques. Mieux encore, plus nous avançons dans le temps, plus cette intervention se situe à proximité de la vulgarisation. Je précise : il y a seulement une cinquantaine d'années, une découverte scientifique, fût-elle de première grandeur, ne donnait lieu à application que longtemps après. Or, à l'heure actuelle, l'écart entre la découverte et l'application tend à se réduire. Ce qui est vrai en physique, en chimie, l'est aussi en biologie, en biologie végétale, en particulier. Nous assistons à l'accélération de l'intervention de la Science au niveau de l'application.

Il est remarquable de constater l'évolution considérable que l'on est arrivé à faire exprimer à diverses plantes. Quelques exemples serviront d'illustration, en prenant les critères les plus caractéristiques. Ainsi, l'épi de maïs préhistorique pesait de 1 à 5 g, ceux des hybrides produits en 1977 pèsent jusqu'à 500 g. Le rendement par hectare, aux Etats-Unis, est passé d'environ 2.000 kg en 1920 à plus de 7.000 kg aujourd'hui.

Un autre exemple est donné par le riz. En Asie, en 1962, le rendement moyen des rizières était de 1.500 kg à l'hectare. Les généticiens de l'Institut International

de Recherches sur le Riz, à Manille, obtiennent, aujourd'hui, sur des parcelles expérimentales, des rendements moyens de l'ordre de 6.000 à 8.500 kg à l'hectare.

Le dernier exemple que nous citerons est celui du blé. En ce qui concerne cette plante, les épis des variétés actuelles sont peu différents de ceux des variétés primitives égyptiennes, mais la culture intensive dans les pays développés a fait passer la production de 4.000 à 6.000 kg à l'hectare.

Il n'est pas sans intérêt de comparer les taux d'amélioration pour ces plantes. Il apparaît que le plus bas concerne le végétal sur lequel on a fait porter, au cours des âges, le plus d'efforts : le blé. Ceci peut facilement s'expliquer d'un point de vue biologique.

Cette céréale est certainement celle sur laquelle l'emprise de la sélection par l'homme a eu le plus de poids. On est arrivé, inconsciemment, à éliminer au maximum les possibilités de variations en aboutissant à une somme d'information génétique de plus en plus étroite.

Or, cet inconvénient n'existe pour aucune des plantes d'Afrique intertropicale. Du fait de leur non domestication, celles-ci ont conservé toutes les potentialités originelles de l'ensemble de l'espèce sauvage, dans la mesure où les conditions de sa disparition dans la nature n'ont pas été créées.

Ainsi, les contrées intertropicales d'Afrique nous paraissent présenter des traits originaux et méritent, de ce fait, une analyse particulière.

SITUATION ET PERSPECTIVES EN AFRIQUE INTERTROPICALE

Quelle est, sous le rapport de l'exploitation de la biologie végétale, la situation en Afrique intertropicale ?

Diverses étapes ont déjà été franchies. Nous pensons en particulier, aux travaux qui ont conduit à la connaissance de la flore et de la végétation. On peut considérer, à l'heure actuelle, que l'inventaire de la flore et de la végétation est réalisé, au moins en ce qui concerne les plantes supérieures. De même, ont été analysées, au moins dans le cadre général, les conditions écologiques dans lesquelles prospère tel ou tel type de végétation.

Il faut tenir compte aussi des importations de végétaux réalisées dans les régions. En effet, si les conditions démographiques dans beaucoup de nos régions ont favorisé une économie de cueillette, ou au maximum une agriculture peu évoluée, les vicissitudes historiques ont favorisé des introductions de nouveaux végétaux : bananier et cocotier en provenance de l'Orient, manioc, cacaoyer, ananas, *Solanum* divers rapportés d'Amérique.

Nous ne citons ici que quelques-unes des introductions, et cela à cause de l'origine des végétaux. Ceux-ci proviennent tous de régions à climat homologue aux régions intertropicales d'Afrique. Faut-il rappeler qu'au temps de la colonisation, de multiples tentatives d'acclimatation de végétaux provenant des régions tempérées ont échoué ? Mais un fait est à souligner : jusqu'à une date récente, quelles que soient les plantes utilisées, ou presque, leur structure était très voisine de l'état dans lequel elles se trouvaient lors de leur introduction, voire de leur prélèvement dans la nature. Les efforts n'étaient pas orientés vers l'exploitation du polymorphisme génétique, naturel ou provoqué, de l'espèce sauvage. Les seules améliorations portaient sur les procédés de culture. Les connaissances scientifiques acquises aujourd'hui ouvrent de vastes perspectives. L'exploitation des diverses orientations est, ou doit être, mise à l'ordre du jour.

Analyse et utilisation du polymorphisme

En premier lieu, il faut analyser et utiliser le polymorphisme naturel ou provoqué de l'information génétique des espèces sauvages. Il n'est pas certain, en effet, que la gamme génotypique utilisée aujourd'hui représente la meilleure parmi celles existant dans la nature. La connaissance détaillée des populations sauvages et de leurs capacités s'impose donc à l'évidence. C'est, en tout cas, la première démarche à faire, la plus simple, mais elle n'est pas forcément la mieux comprise jusqu'à maintenant. Elle peut permettre, dans une première étape, relativement rapide, d'aboutir à des résultats. Ainsi, l'analyse du polymorphisme des populations naturelles de *Panicum maximum* n'avait, jusqu'à une date très récente, jamais été faite, bien qu'il s'agisse d'une graminée de pâturage d'origine africaine utilisée dans toutes les régions intertropicales du monde. Entreprise il y a seulement quelques années, cette analyse a permis la mise en évidence dans la nature de quantités de types très divers ouvrant la voie à des améliorations très importantes pour l'utilisation. Plus de huit cents types de *P.m.* se trouvent rassemblés au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

Au cours de cet inventaire du polymorphisme naturel, on ne doit pas perdre de vue que ce sont peut-être des individus rares qui peuvent, sous certains aspects déterminés, présenter des propriétés intéressantes. Bien sûr, on peut avoir l'idée d'une utilisation possible en même temps qu'on découvre l'individu aberrant. Mais il est certainement plus rentable d'avoir, au moins, une idée de ce qu'on cherche. Un exemple illustrera notre pensée : l'industrie alimentaire peut avoir grand besoin de caféiers dont les graines, de bonne qualité gustative, seraient dépourvues de caféine. Cela éviterait des traitements chimiques qui altèrent forcément plus ou moins l'arôme. Ne peut-on pas penser qu'il existe ou bien que l'on peut provoquer

par mutations des plantes qui ont perdu la possibilité de synthétiser la caféine ? Cette remarque peut s'appuyer sur des données réelles. Il existe à Madagascar, comme vous le savez, des caféiers qui donnent des graines dépourvues de caféine, mais qui, malheureusement, présentent un goût amer.

Cet inventaire des populations naturelles suivi de leur collationnement et de leur étude n'épuise d'ailleurs pas toutes les possibilités de polymorphisme. En culture, on peut tenter, par des agents chimiques ou physiques, de modifier la structure génétique de tel ou tel individu. Ainsi, peut-on, dans certains cas, élargir ce polymorphisme et augmenter les chances de trouver l'individu adéquat que l'on cherche. C'est peut-être ainsi que sera découvert — nous allions dire fabriqué — le caféier sans caféine, de la même façon qu'on a pu isoler, fabriquer des colza sans acide érucique (cancérigène). La synthèse de l'Arabusta à partir du Robusta autotétraploïde croisé avec l'Arabica est, déjà, un résultat révolutionnaire dans cette direction.

Reste encore une voie importante de diversification d'une espèce avec l'aide de l'homme. On sait que des croisements entre individus de génotypes différents donnent naissance à des descendants différents parents. On sait aussi que, dans certains cas précis, ces croisements aboutissent à l'apparition de propriétés nouvelles ; en particulier, ils confèrent aux descendants une vigueur exceptionnelle. Ce phénomène, que les spécialistes appellent hétérosis ou vigueur hybride, a d'autant plus de chances de se réaliser que les garnitures génétiques intervenant dans le croisement sont plus diverses. Donc, cette situation est d'autant plus probable que les individus utilisés dans le croisement ont été prélevés dans les populations qui ont subi, du fait de leur histoire et chacune pour leur compte, les effets sélectifs du milieu et de la concurrence. Leur position dans des sites géographiquement et écologiquement éloignés favorise, évidemment, une telle situation. Mais elle défavorise, par contre, les possibilités d'hybridations naturelles. D'où la nécessité de l'intervention humaine, prospectant puis rapprochant les individus de génotypes divers.

L'examen objectif de ce qui s'est passé pour les plantes cultivées d'Afrique intertropicale montre que ces possibilités n'ont pas été, sinon explorées, du moins suffisamment exploitées.

Ceci est vrai pour les plantes d'origine étrangère qui n'ont, en général, été introduites qu'au nombre de quelques individus peu ou pas différents du point de vue de leur structure génétique. Un des exemples les plus caractéristiques sous ce rapport nous semble fourni par le cacao. Jusqu'à une date récente, les plantations africaines de cette espèce provenaient toutes d'introductions relativement très homogènes du point de vue des potentialités héréditaires. C'est pourquoi, en Afrique, les progrès qualitatifs de cette espèce ont été faibles jusqu'à une période récente. Or, grâce à l'IFCC, des introductions nouvelles provenant d'Amazonie ont permis la réalisation d'hybrides. Ceux-ci se sont révélés, tout de suite, comme présentant des qualités incommensurablement plus grandes que celles

de chacun des parents. Et pourtant, il s'agit d'introductions de caractère limité. Que réserverait comme révélations surprenantes l'utilisation d'un polymorphisme, en commençant, bien sûr, par l'analyse et la répartition du phénomène dans les populations naturelles de l'Amazonie, et en exploitant ce polymorphisme ensuite ?

C'est, sans doute, chez les cotonniers que le travail dans cette direction a été le plus poussé. Des hybridations réalisées il y a quelques années à l'IRCT de Bouaké, non seulement entre génotypes différents d'une même espèce, mais encore entre espèces différentes, ont permis des augmentations spectaculaires du rendement. Ce dernier exemple est bien caractéristique de ce que l'on peut obtenir par une conduite scientifique raisonnée de l'amélioration des plantes.

Nous venons de citer les cas de plantes introduites pour lesquelles quelque chose a été fait. Pour combien d'autres tourne-t-on en rond dans le cercle fermé d'une collection très restreinte de génotypes, voire d'un seul ou de quelques génotypes perpétués par voie végétative ?

Ainsi donc, concernant les plantes introduites en Afrique intertropicale, pour exploiter leur variabilité, beaucoup, sinon presque tout, est à faire.

On pourrait penser qu'il en va autrement pour les plantes spécifiquement africaines utilisées dans la production agricole en Afrique. Malheureusement, à des exceptions près, leur situation n'est guère plus enviable. Prenons un cas, que nous considérons comme très significatif, celui du palmier à huile. Cette essence est, parmi les plantes d'Afrique, celle pour laquelle l'amélioration de la production a été spectaculaire. Quoi de commun entre le fruit du palmier à huile sélectionné par l'IRHO et celui obtenu à partir d'individus de populations sauvages ? Un tel résultat est le fruit d'hybridations entre des individus de deux populations de palmiers à huile de génotypes différents. On peut se demander où en serait aujourd'hui la production si, très tôt, on avait pu pousser l'expérience plus loin, en s'appuyant sur la connaissance qui reste à acquérir des populations spontanées de ce palmier.

Des réflexions du même ordre sont valables, par exemple pour les caféiers ; elles le sont également pour l'ensemble des plantes vivrières (divers types de riz, gombo, igname, etc...), dont l'importance déjà si grande grandira encore, mais dont l'amélioration génétique en Afrique intertropicale reste, pour beaucoup d'entre elles, entièrement à faire.

Nous ne parlons ici que des plantes utilisées à l'heure actuelle et dont le nombre pourrait et devrait augmenter dans la mesure où une politique d'utilisation du matériel végétal serait définie et appliquée. Par exemple, on peut citer la recherche possible de nouvelles plantes pour l'élevage, en liaison d'une part avec des conditions d'alimentation étudiées en fonction de l'environnement africain, d'autre part avec des recherches concertées sur la domestication de nouveaux animaux. Concernant des espèces animales, ce dernier aspect devrait reposer sur des principes scientifiques comparables à ceux signalés pour les espèces végétales.

Nous nous permettons d'insister sur l'aspect du développement de la production animale. Son augmentation correspond à une nécessité vitale pour l'avenir des populations africaines intertropicales. Or, plus que les régions tempérées, l'Afrique intertropicale pourrait devenir une région de production animale importante et rentable. Un chiffre suffit à illustrer cette affirmation. Les meilleures prairies artificielles des régions de pâturage intensif de France normande, par exemple, produisent 7.000 à 8.000 unités fourragères à l'hectare. Or, on sait, à l'heure actuelle, que certains génotypes de *Panicum maximum* sont susceptibles de produire, en Côte d'Ivoire, 15.000 à 20.000 de ces unités.

La recherche de nouvelles espèces végétales utiles ne devrait pas se cantonner seulement à ce secteur. Des possibilités de nouvelles plantes productrices de fibres existent. Que dire des potentialités de découverte de produits actifs (alcaloïdes, hétérosides ou autres), en liaison d'ailleurs avec la pharmacopée africaine ? Je sais que quelques efforts ont été faits, dans ce domaine, mais ils sont loin de couvrir toutes les possibilités qui sont offertes.

Des efforts pourraient être faits, sûrement avec succès, pour l'obtention de plantes vivrières, de plantes ornementales, d'arbres pour la production de bois à divers usages, etc...

Il y a par ailleurs, la recherche de protéines végétales pouvant servir directement d'appoint aux viandes et au lait. Un savant britannique, Pirie, y a consacré sa vie et a obtenu des résultats, en particulier avec des feuilles de certaines espèces d'arbres africains. Mais dans ce domaine, hormis le travail de ce précurseur et de quelques autres, on en est aux balbutiements !

Pour compléter le tableau des gammes d'utilisation du polymorphisme dans les espèces végétales, nous voudrions signaler une possibilité ouverte depuis peu d'années et qui permet de traiter avec plus d'efficacité le matériel végétal. Il s'agit de la possibilité que l'on a maintenant, pour certaines espèces, de produire à volonté des plantes haploïdes, grâce aux cultures d'étamines *in vitro*. Ces plantes sont viables, bien que ne possédant que la moitié du nombre des chromosomes des plantes normales. Si on double le nombre chromosomique, en particulier par des substances dont l'activité spécifique est connue, par exemple par la colchicine, on obtient des plantes diploïdes homogènes constituant des lignées pures dont l'existence liée à celle du polymorphisme permet de rationaliser les protocoles d'amélioration.

Analyse et utilisation de diverses formes de fonctionnement du même stock d'information génétique

Mais si, pour une espèce déterminée, la recherche et l'exploitation du polymorphisme génétique correspondent certainement à des préoccupations cruciales, il convient de souligner la nécessité d'autres études pour qu'elles conduisent à des développements utilisables.

On peut grouper les plus importantes de ces études sous la rubrique : « Analyse du fonctionnement de l'information génétique ». En particulier, cette dénomination recouvre l'étude des variations du fonctionnement de cette information, en liaison avec les conditions édaphoclimatiques, c'est-à-dire avec les conditions physiques d'environnement dans le sol et dans l'atmosphère. Ces investigations recouvrent, globalement, les problèmes d'acclimatation des plantes, montrant que telle plante est incapable de pousser dans telles conditions de sol ou de climat, que telle autre ne peut fleurir ou fleurit mal dans un environnement déterminé, que telle autre fructifie mal, etc... Il n'est sans doute pas indispensable de citer de nombreux exemples. Signalons, cependant, le fait que la culture des caféiers Arabica n'a pas été possible, à ce jour, en Afrique intertropicale de basse altitude, car les génotypes essayés y fleurissent très mal et y fructifient donc peu.

Certains échecs retentissants dans des tentatives d'acclimatation des végétaux ont permis de se rendre très rapidement compte de la nécessité de prendre en considération le fait que tel ou tel génotype végétal ne prospère pas sous n'importe quelle condition écologique. Mais, à l'heure actuelle, on est seulement au début de l'étude du déterminisme des variations du fonctionnement de l'information génétique, en liaison avec les corrélations existant à l'intérieur même de l'individu végétal. De telles variations sont pourtant évidentes. Le même matériel génétique permet, par exemple, la production d'organes aussi divers que le bois, le liber, les parenchymes, etc...

Prenons un exemple : celui du caféier ; la plupart d'entre vous ont présent à l'esprit la structure d'un pied de caféier, constitué par deux types de rameaux, les uns dressés, les autres horizontaux et porteurs de fleurs. Ces deux types d'axes sont manifestement différents l'un de l'autre et bouturés, ils conservent chacun leurs caractéristiques, de telle sorte qu'un rameau latéral donne naissance à un pied rampant sur le sol et non dressé. Et pourtant, dans les cellules de ce nouvel individu, l'information génétique n'a pas changé, mais elle ne fonctionne pas de la même façon. Ainsi, suivant la portion bouturée, on peut obtenir, à partir d'un individu de caféier, deux types de pieds parfaitement différents. Dans ce cas, les différences se traduisent nettement sur le plan morphologique et sont parfaitement détectables, même par quelqu'un non averti. On peut se poser la question de savoir s'il n'y a pas chez certains végétaux des phénomènes du même type ne se passant, par exemple, qu'au niveau biochimique sans se traduire d'une manière évidente dans la morphologie externe.

A partir d'une réflexion de ce type, on peut examiner avec un œil nouveau certains processus inexplicables se produisant chez des plantes au cours de leur multiplication végétative. Cette constatation prend d'autant plus de relief que beaucoup de plantes utiles des régions intertropicales sont actuellement multipliées par voie végétative, et que d'autres pourraient éventuellement être justiciables de ce mode de propagation. Quelques informations intéressantes concernant l'hévéa renforcent cette idée.

Bien que la multiplication de cette espèce soit le fait de greffons appartenant à un même arbre haut producteur, les arbres issus de ce traitement, donc de même structure génétique, présentent d'énormes différences de rendement en latex. Ainsi, dans une plantation de ce type, 50 % des arbres peuvent fournir environ 70 % de la production. Récemment, à la Station IRCA de Côte d'Ivoire, il a été prouvé que les bourgeons portés par un même arbre ne sont pas équivalents. Ainsi, peut-on valablement penser qu'en choisissant pour les greffes les mêmes types de bourgeons, on pourra arriver à rendre homogènes, sous le rapport de la productivité en latex, toutes les plantations. En se servant de ceux qui donnent naissance à des troncs haut producteurs, on peut raisonnablement espérer faire accompagner l'homogénéité d'un haut rendement par pied. Ainsi, peut-on prévoir une production par hectare très nettement améliorée, dans des délais brefs. C'est d'ailleurs ce qui est déjà en train de se réaliser dans la pratique de quelques plantations. Ce qui est vrai pour le caféier ou pour l'hévéa correspond sûrement aussi à la réalité des phénomènes existant chez d'autres végétaux.

Mais, la Science moderne va plus loin. Partant de l'idée qu'un même génotype peut présenter plusieurs formes de fonctionnement, de la même façon qu'un orchestre, pourtant formé des mêmes musiciens, peut interpréter au cours d'un concert des séquences musicales très diverses, faisant intervenir tout ou partie des instruments, on peut se demander s'il ne serait pas possible d'obtenir des fonctionnements autres que ceux qui existent normalement dans la nature. Or, on a

pu démontrer sur quelques végétaux des groupes inférieurs, tel que les champignons, et même sur des groupes supérieurs (tels que les Gymnospermes ou les Angiospermes), que ce type de transformation est possible. Peut-être même a-t-il été employé empiriquement pour certaines plantes utiles ! Aussi bien est-il souhaitable que la validité de la proposition soit vérifiée pour d'autres plantes. Peut-être la multiplication des plantes à partir des cultures de cellules isolées permettra-t-elle d'apporter de nouveaux éléments à cette possibilité de faire dériver le fonctionnement d'un génotype donné vers des modalités non conformes aux modalités habituelles ! S'il en est ainsi, cette technique risque de devenir dans les années qui viennent une méthode couramment usitée pour l'élargissement du polymorphisme d'une espèce végétale, augmentant ainsi le choix pour une sélection dans un sens utile souhaité.

Ce dernier point nous semble intéressant à signaler. Dans bon nombre de cas, à condition que les problèmes scientifiques soient bien posés, il peut être commode d'utiliser les plantes modèles sans intérêt immédiat au point de vue économique, mais plus faciles à manipuler et ayant un temps de réponse plus rapide. C'est ainsi que certaines des plantes herbacées du genre *Phyllanthus*, de la famille des Euphorbiacées, qui peuvent sous certains rapports être comparées pour leur structure au caféier, ont beaucoup servi pour la compréhension des fonctionnements divers de l'information génétique à l'intérieur d'un végétal et sont, de ce fait, d'ores et déjà à l'origine de plusieurs applications à des plantes utiles.

CONCLUSION

Arrivés à cette étape de notre exposé, nous croyons qu'il est utile de tirer quelques conclusions.

— La première concerne les conséquences de l'impact croissant de l'homme sur la végétation. Avec les moyens actuels, les répercussions de l'exploitation de la nature deviennent de plus en plus sensibles sur l'équilibre entre la végétation et les conditions écologiques. Le déséquilibre provoqué de ce que les chercheurs appellent désormais les écosystèmes entraîne des conséquences parmi lesquelles nous soulignerons seulement celle à caractère catastrophique aboutissant soit à la disparition de certaines espèces, soit même à la dislocation de l'écosystème entier. Ainsi, en particulier, ont disparu ou disparaissent des espèces dont l'utilisation par l'homme, bien que non absolument prévisible, est dans la limite des choses possibles. Une telle dilapidation d'un héritage dont nous sommes les dépositaires conduit à des responsabilités à l'échelle humaine, même si l'exploitation de cet héritage par l'homme est à effet différé.

D'ores et déjà, on peut mesurer à l'aide d'exemples la nocivité d'une exploitation non scientifique des produits naturels. Ainsi ont disparu et disparaissent des

stations de caféiers sauvages ou de riz sauvages dont l'Afrique intertropicale est le berceau et dont les capacités génétiques risquent de manquer, demain, dans des programmes d'amélioration de ces plantes. Quand on pense à tous les végétaux dont les propriétés utiles à l'homme sont encore non détectées, on conçoit que le biologiste qui réfléchit fasse part de son inquiétude devant une dilapidation qui va s'accroissant.

— Il faut aboutir très vite à une planification agricole et forestière fondée sur une bonne connaissance des espèces végétales locales, de leurs relations avec le milieu et des techniques d'exploitation les plus appropriées. Le rapport final de la Conférence Intergouvernementale d'experts de l'UNESCO sur les bases scientifiques de l'utilisation et de la conservation des ressources de la biosphère a fait valoir qu'il « fallait renforcer la coopération internationale en vue du rassemblement, de la conservation, de l'évaluation et de l'utilisation des ressources génétiques primitives ou déjà améliorées et domestiquées ». Le même document insiste sur « la nécessité de promouvoir l'utilisation rationnelle des ressources sur la base de recherches scientifiques ».

Ceci concerne l'aspect conservatoire des potentialités génétiques recélées dans les végétaux.

— Voyons maintenant les conditions nécessaires à ce que nous appellerons « l'exploitation de ces potentialités ». Cette exploitation devrait s'inspirer, pour une large part, des observations qui viennent d'être présentées. Mais, pour pouvoir mettre en œuvre un tel programme, on devrait tenir compte de deux phénomènes qui caractérisent notre temps : le premier concerne l'évolution des sciences et des techniques. Nous sommes à l'époque que certains ont qualifié de révolutionnaire, sous ce rapport. Même si ce terme est discutable, il convient bien de souligner l'énorme expansion des sciences et des techniques au cours de ces dernières dizaines d'années ; en cinquante ans, les progrès qu'elles ont faits sont bien plus importants que ceux réalisés pendant toute l'histoire de l'humanité. Il y a aujourd'hui dans le monde plus de scientifiques, plus de savants vivants qu'il n'y en a eu pendant toute l'histoire humaine. De plus, l'importance des sciences et des techniques s'inscrit chaque jour davantage dans notre vie quotidienne. Il y a plus : notre époque est caractérisée aussi par le très faible délai séparant la découverte scientifique de son application dans la pratique. Il en ressort un critère nouveau d'indépendance pour les peuples, qui s'exprimerait ainsi : avoir la possibilité de jouer un rôle dans les processus des découvertes scientifiques. Sans aucun doute, pour les régions intertropicales du monde, du fait de leur histoire, les progrès de la biologie font partie des garants de leur avenir et non des moindres. Cette affirmation suppose une articulation très nette des recherches scientifiques sur la réalité concrète des pays

LOROUGNON GUEDE (J.). — **Quelques aspects de l'utilisation de la biologie végétale pour le développement des pays de l'Afrique intertropicale.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 327-333.

L'auteur met en évidence le rôle capital que peut jouer la biologie végétale dans le progrès des hommes et des nations en général et dans celui des pays de l'Afrique intertropicale en particulier.

Après examen de l'influence de l'homme sur la flore naturelle au cours des âges et de la domestication des espèces végétales par l'homme, l'auteur aborde le problème de l'utilisation possible du polymorphisme naturel ou provoqué des plantes basée sur la connaissance détaillée des populations sauvages et de leurs capacités.

L'analyse et l'utilisation des diverses formes de fonctionnement du même stock d'information génétique permettront de résoudre les problèmes d'acclimatation des plantes aux conditions intertropicales et ceux de sélection des cultures les plus appropriées à ces régions du globe.

en question. Il s'agit de délimiter les problèmes les plus importants, non seulement en relation avec les besoins immédiats, mais aussi en fonction de l'avenir et tenant compte des possibilités étonnantes offertes par la flore de nos pays ; il s'agit de prendre enfin des dispositions pour assurer la solution de ces problèmes. Tout ceci dépend, bien entendu, d'options économiques voire politiques et aussi, obligatoirement, de la formation, de l'orientation et de l'évolution de scientifiques chargés d'être les artisans éclairés qui participeront à l'élaboration de ce programme.

— Dans cette tâche, nous croyons que les universités et les grandes écoles nationales ont un rôle capital à jouer ; il faut qu'elles entreprennent ou qu'elles poursuivent, suivant les cas, un effort d'adaptation aux caractéristiques concrètes originales de nos pays, dans leur tâche de formation des scientifiques ; elles pourraient constituer, en quelque sorte, une plaque tournante non négligeable de l'évolution des pays d'Afrique intertropicale, en liaison étroite avec les organismes économiques et les autres organismes de recherche, aussi bien pour prendre que pour donner.

— Quelques efforts ont certes été déjà faits dans ce sens, mais la situation impose dans nos pays, plus que partout ailleurs, la systématisation d'une telle orientation. A ce prix, c'est-à-dire en mettant leur horloge à l'heure de la Science actuelle, en orientant par conséquent leurs options, ces pays pourront dégager les possibilités véritablement extraordinaires que peut leur ouvrir la biologie dont la vocation est peut-être ici plus qu'ailleurs d'être un facteur important sinon décisif du progrès des hommes et des nations.

LOROUGNON GUEDE (J.). — **Some aspects of the utilisation of plant biology in the development of countries in intertropical Africa.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 327-333.

The author underlines the paramount role which plant biology can play in the progress of man and countries in general and in particular in that of the countries in intertropical Africa.

After examining the influence of man on the natural flora over the ages and the domestication of plant species by man, the author considers the possibility of using natural or induced polymorphism of plants based on knowledge of wild populations and their capabilities.

The analysis and utilisation of various forms of managing the same pool of genetic information would make it possible to resolve the problems relating to acclimatizing plants to intertropical conditions and those relating to the selection of the most appropriate crops for these regions of the world.

UTILISATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DU GENRE *COFFEA* POUR L'AMÉLIORATION DES CAFÉIERS CULTIVÉS

P. KAMMACHER

Faculté des Sciences d'Abidjan, Université Nationale de Côte d'Ivoire*

INTRODUCTION

Le café occupe en ce moment la première place au monde parmi les produits d'exportation provenant de l'agriculture [FAO (37)] et la demande de cette boisson stimulante devenue nécessaire aux civilisations actuelles ne cesse de croître. L'évolution de ce commerce international exige de la part des généticiens un effort soutenu de création de variétés de caféiers convenant aux exigences changeantes des méthodes de production et d'industrialisation du café. Le problème est donc de parvenir à obtenir chez ces plantes les remaniements génétiques souhaitables. Demarly (33) définit l'amélioration des plantes comme étant la recherche des meilleures voies permettant de réaliser à partir d'une constitution imparfaite une structure génétique adaptée aux besoins et aux critères des hommes. Depuis plusieurs décades l'amélioration des plantes de grande culture s'est intensifiée dans le monde entier et des succès remarquables ont été obtenus chez les espèces annuelles en ce qui concerne la productivité, la résistance aux maladies et la qualité du produit des cultivars récemment apparus. Les progrès ont été plus modestes en ce qui concerne les plantes pérennes. Chez les espèces tropicales de cette catégorie le palmier à huile constitue un exemple assez exceptionnel de progrès économique atteint par un procédé génétique. Il se trouve que pour le caféier, qui a fait l'objet de nombreuses investigations d'ordre agronomique, les travaux de recherche de base sur l'hérédité chez cette plante ont tardé à recevoir l'attention qu'ils méritaient, vu l'importance économique considérable du produit de la culture. Aux yeux des spécialistes, il

était manifeste que l'état fragmentaire des connaissances sur la génétique, la caryologie, l'histoire évolutive des caféiers et les relations entre unités systématiques du genre *Coffea* ne pouvait manquer de constituer un obstacle au progrès de la caféiculture [Krug & Carvalho (59), Sybenga (96)]. Au cours de ces dernières années la recherche est parvenue à combler une partie de ces lacunes. Faisant le point de la question lors du 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Demarly (32) a souligné la dépendance de l'amélioration des caféiers cultivés par rapport aux progrès de la génétique. Le point qui retiendra ici notre attention est la disproportion entre le volume atteint par la production mondiale de café et la faible étendue de la variabilité génétique du matériel biologique réellement exploité à cet effet. L'examen de ce problème mettra en évidence la richesse du genre *Coffea* en ressources génétiques inutilisées qu'il est devenu nécessaire de mettre à contribution.

Les agronomes et les généticiens sont confrontés depuis une vingtaine d'années au problème de la conservation de la variabilité génétique des plantes utiles, garante des possibilités de perfectionnement variétal [Simmonds (93)]. Les préoccupations que crée à cet égard le caféier se situent sur un plan différent du cas le plus général chez les plantes utiles qu'il faut évoquer ici. On sait que la plupart des espèces végétales actuellement cultivées ont été extraites de la végétation spontanée au début de l'histoire des civilisations, lorsque des hommes décidèrent il y a huit à dix milliers d'années de s'établir de façon sédentaire dans quelques régions clairsemées au milieu de vastes territoires voués pour longtemps encore au nomadisme. Ces emplacements ne furent pas choisis au hasard, et

(*) B.P. 4322, Abidjan

Vavilov (103) a montré que les premiers foyers de civilisation se situent dans des régions de haute concentration de variabilité génétique de plantes supérieures, situation que les agriculteurs du néolithique surent admirablement mettre à profit. Les parties du globe qu'on nomme aujourd'hui le Pérou, le Mexique, l'Éthiopie, l'Asie Mineure, l'Asie Centrale, l'Indochine et l'Indonésie étaient ainsi prédestinées à devenir le berceau de nombreuses plantes utiles recueillies par l'homme qui les dissémina par la suite à son gré dans d'autres régions appropriées à leur culture. Tous ces végétaux de domestication ancienne, une fois libérés des contraintes de la sélection naturelle, répondirent aux normes d'adaptation de l'agriculture primitive par l'extériorisation d'un polymorphisme génétique de grande étendue (fait sur lequel Darwin a longuement insisté dans la présentation de ses théories évolutionnistes). Une interprétation abusive de la doctrine de Vavilov a pu entretenir l'illusion que les centres de diversité génétique des plantes cultivées identifiés il y a une cinquantaine d'années par cet éminent botaniste et agronome constituent des réservoirs naturels indestructibles et inépuisables de gènes utiles. Les preuves se sont malheureusement accumulées dans les dernières décennies de ce que la variabilité efficace des plantes cultivées s'amenuise un peu partout d'une manière très alarmante, y compris dans les vieux foyers de haute diversité. Faut-il donc ne plus accorder de crédit au système vavilovien, comme l'affirme Brücher (13) ? Nous préférons suivre ici les conclusions de Kuckuck (60) et Kupzow (61) qui ont bien montré que la perpétuation des centres de variabilité de plantes cultivées a toujours été subordonnée à la rencontre de multiples facteurs, dont l'usage traditionnel de techniques agronomiques primitives. En raison de l'intervention de l'élément anthropique, la notion classique de centre de variabilité de plantes utiles se réduit à un phénomène historique de nature transitoire. La preuve en est que dans certaines de ces régions, les races primitives de plantes cultivées depuis la plus haute antiquité disparaissent du fait de l'emploi généralisé de cultivars modernes plus productifs. A titre d'exemple, l'introduction massive des célèbres blés dits mexicains, réputés pour leur aptitude à fournir de

très hauts rendements est en voie de faire abandonner les races primitives de *Triticum* du Proche-Orient. Ce phénomène d'« érosion génétique » (Kuckuck) s'étend très rapidement dans les centres vaviloviens comme le montre l'enquête permanente de la FAO à ce sujet [Frankel (43)]. L'Éthiopie, pays traditionnellement replié sur lui-même, difficile d'accès et dont l'agriculture reste très attardée, perdra sans doute plus lentement que d'autres parties du monde la particularité de concentrer sur son territoire beaucoup de races primitives de plantes cultivées, parmi lesquelles le caféier nous intéressera ici plus particulièrement [Mengesha (76)].

Si l'on ne disposait que des structures génétiques actuellement exploitées en grande culture, il serait permis de s'inquiéter de l'avenir de l'amélioration des caféiers du commerce, dont les origines sont très peu diversifiées comme nous le rappellerons plus loin. En réalité, nous nous trouvons ici en présence d'une situation profondément différente du cas général exposé plus haut, et qui peut même être considérée comme assez favorable à plusieurs titres. En effet, le caféier *sensu lato* occupe encore, avec quelques autres plantes tropicales, une place privilégiée parmi les végétaux utiles sous le rapport de la variabilité génétique exploitable. Sa domestication est récente, les plantes sauvages ou subspontanées apparentées aux cultivars actuels vivent encore, et il existe dans la nature des populations de *Coffea* aux vastes potentialités génétiques. De plus le caféier possède la faculté rare d'être une plante cultivable immédiatement, ou après quelques cycles de sélection lorsqu'on l'a recueillie dans la nature, et les techniques de multiplication végétative qui sont maintenant parfaitement au point en caféiculture permettent de propager à volonté toute plante reconnue sujet d'élite.

Les méthodes actuelles d'amélioration des caféiers gardent bien entendu toute leur valeur, mais les chercheurs qui se penchent sur l'amélioration de ces plantes ont le devoir d'explorer toutes les sources de gènes disponibles dans le genre *Coffea* pendant qu'il en est encore temps. La nécessité d'agir de la sorte s'impose à l'examen du potentiel génétique des caféiers actuellement exploités.

LES CIRCONSTANCES DE LA DISSÉMINATION DES CAFÉIERS DE GRANDE CULTURE ET LEURS IMPLICATIONS GÉNÉTIQUES

La culture du caféier s'appuie sur l'emploi de deux espèces de *Coffea*. La plus importante est encore le caféier d'Arabie (*C. arabica* Linné) qui a été pendant plusieurs siècles le seul représentant connu de ce genre de Rubiacées. Beaucoup plus récemment encore s'est développée la culture d'un autre caféier (*C. canephora* var. *robusta*), auquel se rattache maintenant le quart

environ de la production de café. Ces plantes ont été domestiquées de façon inhabituelle. Il existe bien un centre de variabilité pour le caféier d'Arabie, mais sa situation exacte n'est connue que depuis peu, et il est historiquement prouvé que son rôle dans l'expansion mondiale des formes cultivées de l'espèce s'est limité à la fourniture d'un noyau fondateur d'une population

peu représentative à un centre secondaire. Le véritable foyer de la dissémination de ce caféier a été le Yémen, où sa culture est historiquement prouvée depuis le XV^e siècle. On ignore totalement jusqu'à présent les circonstances de l'importation en Arabie de cette plante originaire du sud-ouest de l'Ethiopie, et à titre purement conjecturel on pourrait associer cet événement aux relations commerciales qui se sont établies depuis la plus haute antiquité entre le sud-est de l'Ethiopie et les côtes du golfe d'Aden [Wellmann (106), Purseglove (88, 89), Doresse (35)]. Toujours est-il que le Yémen, centre d'origine supposé de *C. arabica*, fut très longtemps le seul centre distributeur de matériel vivant de l'espèce dans le monde. C'est au Brésil, où il fut introduit vers 1727, que le caféier d'Arabie rencontra les conditions les plus favorables à son expansion. Quant au caféier de type *robusta*, il s'agit d'une plante qui n'avait jamais été cultivée jusqu'à sa découverte par les botanistes européens dans le bassin congolais à la fin du XIX^e siècle. Après avoir été acclimatée en Indonésie, cette variété s'est rapidement imposée dans les régions du monde intertropical productrices de café en « basse altitude » [Cramer (31)].

Il est pratiquement de règle chez les plantes cultivées tropicales que la plus grande expansion territoriale de l'espèce se soit faite fort loin de la région d'origine botanique, souvent dans un continent différent. Purseglove (88, 89) a étudié de très près ces exceptions quasi systématiques à la doctrine de Vavilov dans le monde des plantes tropicales. L'ouverture par les Portugais à la fin du XV^e siècle de la route orientale vers les îles des épices fut le prélude de la fondation d'empires coloniaux, dont celui que créèrent les Hollandais en Indonésie et qui est très important dans l'histoire du café. Les puissances coloniales d'alors rivalisèrent dans la conquête du monopole de denrées de haute valeur commerciale et organisèrent dans leurs zones d'influence des essais d'acclimatement de cultures tropicales jugées lucratives. Dans ces entreprises qui devaient se traduire par la migration méthodiquement organisée de nombreuses espèces végétales, à laquelle des botanistes célèbres ont attaché leur nom, de grands jardins botaniques ont joué un rôle difficile à imaginer aujourd'hui en tant que relais dans des circuits de transport de plantes tropicales. Ces efforts furent souvent couronnés de succès, car la relative uniformité climatique de la ceinture intertropicale du globe permit, à de nombreuses reprises, à des plantes exportées de s'installer dans des niches écologiques nouvelles. Pour Purseglove, ces succès ont été liés dans la plupart des cas au fait d'une levée des contraintes du parasitisme inhérentes à l'habitat d'origine du végétal acclimaté.

L'exemple du caféier confirme bien ce point de vue. Bien avant l'arrivée du café en Europe, ce produit avait été décrit par le célèbre botaniste-voyageur Rauwolf qui circula en Arabie et dans les contrées limitrophes vers 1573 et publia ses observations dans un ouvrage qui connut un grand retentissement. Son attention fut attirée par le *Coffea arabica*, dont il lui sembla que le breuvage tiré du grain était délicieux et rendait l'esprit

« étrangement animé ». Le café ne devait entrer dans les mœurs de l'Europe occidentale qu'au XVII^e siècle, en grande partie du fait de l'intérêt qu'accorda à cette boisson le Roi-Soleil. C'est alors que la Compagnie des Indes Orientales, créée par la Hollande en 1602, envisagea d'introduire la culture du caféier dans les possessions d'Indonésie, dont on cherchait à diversifier la production de denrées exportables de haute valeur. Le commerce du café était encore un monopole sévèrement gardé par les Arabes, et ce n'est qu'en 1699 que les Hollandais purent arguer d'une culture de *C. arabica* à Java. Les amateurs de café doivent saluer la mémoire du gouverneur hollandais van Hoorn qui tint à marquer cet événement en expédiant en 1706 à Amsterdam le premier caféier vivant qu'on ait vu en Europe. La descendance de cet arbre et de l'un de ses rejetons offert par le Bourgmestre d'Amsterdam à Louis XIV en 1712 fut le point de départ de la culture du caféier en Amérique. C'est là que se situe l'épisode célèbre de l'arrivée à la Martinique du seul pied de caféier ayant survécu aux difficultés du transport depuis la serre du Jardin du Roi (l'actuel Muséum d'Histoire Naturelle de Paris). De cette plante importée aux Antilles en 1723 par le chevalier de Clieu devait naître la culture du caféier au Brésil à partir de 1727. Le rappel de ces données historiques a de l'intérêt, car il est important de souligner que la dissémination de *C. arabica* sur d'énormes surfaces en Amérique, depuis le Tropique du Capricorne jusqu'à la proximité de l'Equateur, s'est faite à partir d'une seule plante. D'autre part la raison de la prospérité du caféier d'Arabie sur le continent américain ne se limite pas uniquement au fait que cette espèce y a trouvé des conditions idéales de croissance et de développement. Elle a surtout pu y vivre pendant deux siècles et demi à l'abri de son parasite le plus dangereux, le champignon *Hemileia vastatrix*, agent de la maladie dite de la rouille orangée. Cet organisme, lui-même originaire d'Ethiopie, vit dans ce pays sur les arbres de *C. arabica* sans être un obstacle à leur culture, pour des raisons encore mal connues. Mais en s'étendant lui aussi en dehors de son aire d'origine il se comporta aussitôt vis-à-vis de son hôte comme un parasite destructeur de la plante par flétrissure. Au hasard de ses errances, *H. vastatrix* atteignit l'île de Ceylan en 1869, y causant la ruine de la culture du café qui fut remplacée par celle du thé. Java et Sumatra furent touchés en 1876, ce qui y anéantit en moins de quatre ans les plantations de caféiers. D'autres pays tels que l'Inde et les Philippines devaient aussi voir leurs caféières gravement endommagées par la rouille orangée, mais l'Amérique tropicale devait par miracle échapper à ce parasite du caféier jusqu'en 1970.

L'échec de l'exploitation de *C. arabica* en Indonésie est précisément à l'origine du développement en grande culture des caféiers de type *robusta*. A partir de 1880 les agronomes hollandais se mirent en quête de caféiers moins sensibles à la rouille orangée que le caféier d'Arabie. Après avoir essayé sans succès le *C. liberica*, connu depuis 1874, ils s'intéressèrent à un autre caféier découvert au Congo et décrit par Pierre sous le nom de *C. canephora* en 1897. Cette espèce était disponible chez un horticulteur de Bruxelles sous le nom de *Coffea robusta*, et c'est de là que fut expédié en 1900

un premier lot de cent cinquante plants à Java. Les chercheurs hollandais remarquèrent dans ce matériel des qualités de résistance à la rouille orangée associées à une croissance vigoureuse qui justifiaient l'organisation d'un travail de sélection. Ces recherches conduisirent à l'isolement de clones d'excellente valeur agronomique, qui permirent dès 1907 de faire renaître à Java la culture du café sous la forme de l'exploitation en basse altitude du type *robusta*. Il convient de rendre hommage à l'œuvre de recherche collective d'une équipe de botanistes, d'agronomes, de généticiens et de phytopathologistes qui sut mener à bien en peu de temps l'expérimentation sur l'adaptation à la grande culture d'une plante sauvage importée d'une autre région du monde [Cramer (31), Ferwerda (40, 41), Wellmann (106)]. Il faut particulièrement admirer qu'à l'aube de ce siècle, alors que la génétique en était encore à chercher sa voie et qu'en matière d'amélioration des plantes prédominait le concept de la lignée pure, on ait su reconnaître que la nature allogame de la reproduction du caféier *robusta* imposait une forme spéciale de sélection, et que la multiplication végétative convenait le mieux à la propagation des plantes d'élite. L'ensemble des recherches accomplies en Indonésie jusqu'en 1940 sur l'amélioration des caféiers a d'autre part démontré l'importance, pour les travaux de cette nature, du maintien d'une source de variabilité génétique sous forme de collections vivantes de races et d'espèces de *Coffea*.

Il peut sembler surprenant que ce caféier *robusta*, apparu d'abord en grande culture en Asie comme succédané du *C. arabica* aux qualités organoleptiques très supérieures, ait fini par s'assurer la prépondérance qu'on lui connaît actuellement, et cela même dans les pays d'Afrique floristiquement riches en caféiers divers. Il faut d'abord tenir compte du fait que le grain *robusta* s'est acquis sa clientèle particulière dans le commerce du café, surtout depuis que ce produit est présentable sous forme soluble. Des raisons économiques justifiaient donc l'extension des cultures du type *robusta* qui bénéficiait déjà du travail d'amélioration signalé plus haut. C'est dans cet esprit que l'INEAC (Institut pour l'étude agronomique du Congo Belge) reprit en 1934 l'étude des populations spontanées de *C. canephora* dans le bassin congolais en tenant le plus grand compte de l'expérience acquise par les Hollandais en matière de caféiculture. Les répercussions de cette œuvre de longue haleine ont été très importantes pour le développement de la culture du caféier dans les pays producteurs de basse altitude [Chevalier (24), Thirion (99), Vallaeys (102), Capot (14)]. L'expérience a en effet démontré qu'il est possible de tirer de *C. canephora* des clones hautement productifs en climat forestier tropical humide et résistant beaucoup mieux que d'autres caféiers à l'agression des principales formes du parasitisme. La meilleure preuve en est le développement de la culture du caféier en Côte d'Ivoire, de 1900 à nos jours. Ayant déjà atteint le niveau de 45.000 tonnes par an en 1950, cette production s'est élevée à 185.000 tonnes en 1960 pour se chiffrer à 260.000 tonnes en moyenne pour la période 1971-1975, ce qui fait maintenant de la Côte d'Ivoire le premier producteur de grain *robusta* au monde. Or ce

pays, dont la flore a été très bien étudiée en ce qui concerne les plantes supérieures, est d'une richesse floristique remarquable en *Coffea*, notamment en ce qui concerne les groupes *canephoroïdes* et *liberio-excelsoïdes* [Portères (86), Mangenot (72), Aké Assi (1, 2)]. Les pays limitrophes constituaient aussi un réservoir de variabilité génétique du caféier. Beaucoup de tentatives ont effectivement été faites pour exploiter en Côte d'Ivoire les ressources génétiques locales de *Coffea*. Le *C. liberica* fut le seul planté de 1900 à 1910 et les planteurs africains l'utilisèrent exclusivement jusqu'en 1934. Vers 1910, un planteur européen introduisit des semences de *C. canephora* comportant notamment des Niaouli et des Kouilou gabonais. Ces caféiers s'étendirent rapidement dans l'est de la Côte d'Ivoire. En 1914 on découvrit en territoire ivoirien, dans la forêt de l'Indénié, deux variétés de caféiers spontanés très intéressantes : le « gros Indénié » appartenant à *C. abeokutae* et le « petit Indénié » faisant partie de *C. canephora*. Mais en 1928 toutes les cultures de caféiers à petits grains devaient être gravement endommagées par les dégâts d'un insecte, le scolyte des grains (*Stephanoderes hampei*). Les planteurs européens portèrent alors un intérêt grandissant au caféier *robusta* dont des introductions avaient été faites de Java et du Congo Belge en 1915. Les premières sélections de ce caféier d'origine INEAC parvinrent en Côte d'Ivoire en 1935. Vers cette époque les planteurs africains développèrent la culture de l'Indénié à gros grains considéré comme très rustique et indemne de parasitisme par les services de l'agriculture (dont l'action de recherche sur l'amélioration du caféier porta essentiellement sur le *C. abeokutae* jusqu'en 1945). A partir de 1948 une nouvelle catastrophe s'abattit sur la caféière ivoirienne. La maladie de la trachéomycose provoquée par *Fusarium xyloaroides* détruisit tous les caféiers *liberica* et « gros Indénié » ainsi que la majeure partie des *canephora* de type Kouilou. Dans cette épreuve, les seuls caféiers ayant manifestement fait preuve de résistance à la trachéomycose furent les *robusta* INEAC. Ces variétés avaient aussi donné des résultats satisfaisants en productivité et qualités de café. Leur diffusion fut donc rapidement organisée dans toute la zone de caféiculture de Côte d'Ivoire par les soins des autorités compétentes. C'est donc à la suite de nombreux essais de variétés espacés sur un demi-siècle que la base génétique de la culture du caféier dans ce pays s'est centrée sur les *robusta* congolais, d'ailleurs souvent métissés de *canephora* local. Depuis 1958 l'IFCC (Institut Français du Café et du Cacao) a pris en charge la sélection des caféiers *robusta* de Côte d'Ivoire, action qui s'est traduite par la diffusion de nouveaux clones très productifs et remarquablement rustiques [Cordier (29), Fressanges (47), Coste (30), Braudeau *et al.* (12), Capot (16)]. Dans les autres pays producteurs de café en basse altitude (essentiellement en Afrique et à Madagascar), le caféier de type *robusta* a acquis la prépondérance moins par la qualité de son grain que par son aptitude à donner une production élevée et sa tolérance à des formes de parasitisme très nuisibles à d'autres caféiers [Dublin (36)]. Il est tout de même assez paradoxal que ce cultivar dont la culture exige

beaucoup de soins et dont le conditionnement écologique est assez étroit (sols riches, écosystèmes du type forestier tropical humide, basse altitude) se soit étendu à un tel point dans la première moitié de ce siècle sur des zones à techniques culturales encore peu évoluées. Ces pays dont la phytotechnie a considérablement progressé aujourd'hui peuvent viser à produire des cafés d'une qualité se rapprochant de celle du caféier d'Arabie. Or on sait maintenant pouvoir trouver dans les populations spontanées de *Coffea* d'Afrique d'autres génotypes dont l'exploitation méthodique permettrait sans nul doute d'obtenir de nouvelles variétés de caféiers beaucoup mieux appropriées aux normes économiques actuelles que le type *robusta*. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

On constate d'après ce qui précède que la culture du caféier, en dépit d'une extension rapide, repose sur l'usage de deux espèces de *Coffea* dont on a peu exploité le potentiel. Cette situation curieuse est à prendre comme l'aboutissement d'un processus dominé par des facteurs politiques et économiques dont la discussion dépasserait notre sujet (*). Nous n'en retiendrons ici que les implications génétiques.

Les cultures de caféier du Nouveau Monde proviennent en grande partie de la descendance d'un seul caféier de la lignée de l'arbre parvenu à Amsterdam en l'an 1706, que les botanistes nomment le *C. arabica* L. var. *typica* Cramer. La seule autre source anciennement connue de caféier d'Arabie est le *C. arabica* L. var. *bourbon* Choussy, variété importée à la Réunion en 1714 directement du Yémen. Le Brésil s'en procura des semences en quantité appréciable dans les années 1864 et 1896, ce qui devait apporter un peu de variabilité dans les cultures américaines de caféiers. L'état génétique de ces dernières constitue une bonne illustration des théories d'Allard (3) sur la structure des populations à taux élevé de consanguinité ainsi que du principe des fondateurs de Mayr (74), qui caractérise l'établissement d'une nouvelle population par un petit nombre de fondateurs originaux, qui ne portent qu'une petite fraction de l'ensemble de la variabilité génétique de la communauté mère. C'est en 1932 qu'ont été entrepris, à Campinas, au Brésil, les premiers travaux sur la génétique du matériel *C. arabica* importé en Amérique. On n'a encore détecté jusqu'à présent dans ce matériel qu'une quarantaine de mutations. Autre manifestation d'un degré élevé d'homéostasie, les voies habituelles par lesquelles s'obtiennent des améliorations chez les plantes cultivées, à savoir la sélection généalogique et les croisements entre variétés, ont généralement été inopérantes chez ce caféier. Les résultats les plus probants dans ce domaine ont été obtenus par l'exploration de la diversité existant chez

des populations légèrement hétérogènes issues de croisements naturels entre représentants des souches *typica* et *bourbon*. La variété Mundo Novo, remarquable par sa très haute productivité, est un exemple des progrès qu'il est possible d'obtenir chez les caféiers tétraploïdes lorsque le généticien peut disposer d'un minimum de variabilité génétique. A part ces exemples infréquents les caféiers américains nous donnent le spectacle de l'autoreproduction massive d'un très petit nombre de génotypes par reproduction préférentiellement autogame, donnant lieu à une myriade de plantes très semblables les unes aux autres, cette monotonie n'étant qu'exceptionnellement rompue par la mutagenèse spontanée et par le maintien d'un taux faible d'hétérozygotie résiduelle par un peu d'allogamie. Un exemple d'effet de dérive génétique, expression du principe des fondateurs de Mayr, est donné par la sensibilité prononcée des caféiers d'Arabie cultivés en Amérique à des aléas d'ordre climatique et parasitaire : gelée, rouille orangée, anthracnose des baies (*Colletotrichum coffeanum*). Pour les détails sur ces questions on consultera Carvalho *et al.* (19), Sybenga (96), Monaco et Carvalho (80, 81), d'Oliveira (84), d'Oliveira et Rodrigues (85).

L'exploitation du caféier d'Arabie en Amérique met en évidence les avantages et les faiblesses des systèmes de grande culture fondés sur une grande homogénéité du matériel biologique. La qualité du produit obtenu varie peu et reste conforme à des normes commerciales dans la limite des fluctuations saisonnières. Par contre, le matériel en question, de par sa grande uniformité génétique, se prête difficilement à l'amélioration variétale. De plus il se montre très vulnérable aux agressions du climat ou du parasitisme. Il s'agit là d'une retombée très caractéristique de la « révolution verte », qui vise à obtenir chez les plantes de grande culture la productivité au détriment de la variabilité et de la souplesse d'adaptation, ce dont Simmonds pouvait, dès 1962, évaluer les conséquences (93). Ce problème s'est affirmé spectaculairement en 1970 à l'occasion de l'épidémie d'helminthosporiose, qui a ravagé aux Etats-Unis toutes les cultures industrielles de maïs établies avec des hybrides à cytoplasme très uniforme. Pour beaucoup de végétaux cultivés, la faible diversité génétique vient de l'application rigoureuse de schémas de sélection. Pour les cultures américaines de *C. arabica*, l'uniformité était malheureusement déjà inscrite dans la pauvreté génique du noyau de plantes fondatrices. Les perspectives de progrès variétal se présenteraient donc de façon peu encourageante pour le caféier d'Arabie à partir de ce seul fonds à exploiter.

La situation des cultures de caféiers de type *robusta* en ce qui concerne les perspectives d'amélioration génétique n'est guère meilleure que celle qui vient d'être évoquée. Nous avons vu que l'emploi de ces plantes s'est répandu pour des raisons d'ordre agronomique et phytosanitaire. Mais les cultivars désignés sous l'appellation *robusta* n'ont été obtenus qu'au prix d'une sélection très sévère, ce qui implique l'élimination d'une grande partie de la variabilité qui existait chez les populations spontanées originelles. Tous les avantages et tous les inconvénients du type *robusta* sont selon toute apparence fermement stabilisés généti-

(*) « Découvert par hasard, utilisé par piété, répandu par politique, vin de l'Islam, opium de l'Europe, pénétrant dans chaque pays d'une façon singulièrement accordée à ses dons (butin de guerre à Vienne, mode à Paris, remède à Londres), réjouissant les gourmets, réveillant les dormeurs, inspirant les poètes et bouleversant les économistes, le café semble avoir nourri toutes les forces qui aboutissent au monde moderne », [Jacob (54)].

quement dans un petit groupe de clones qui représente la quintessence d'une amélioration dirigée sans discontinuité depuis trois quarts de siècle plus vers la valeur agrotechnique que vers les qualités organoleptiques du café. La sélection reprise sous ce dernier aspect n'a pas permis de tirer du matériel *robusta* actuel une amélioration très évidente [Capot (15, 16)] en Côte d'Ivoire.

Pour rendre les caféiers de l'avenir moins vulnérables et pour les améliorer il sera nécessaire d'utiliser de nouvelles ressources génétiques constituées par les populations sauvages ou semi-spontanées de *Coffea* en

tenant compte de leur dynamique d'évolution telle qu'elle est déjà connue et surtout de ce que de futures recherches dévoileront à ce sujet. Chevalier, qui consacra tant d'efforts à l'étude botanique du genre *Coffea* envisageait dès 1937 la possibilité d'obtenir de la constitution des caféiers sauvages des structures génétiques utiles à la caféiculture (25). Nous allons maintenant examiner en quoi consistent les ressources génétiques du genre *Coffea*, ce qui nous conduira à l'analyse du potentiel qu'elles représentent pour l'amélioration des caféiers cultivés.

L'ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA STRUCTURE ET L'HISTOIRE ÉVOLUTIVE DU GENRE *COFFEA*

Pendant des siècles le commerce du café s'est fondé sur l'exploitation d'une seule espèce, *C. arabica* L. (Linné, *Species plantarum*, 1753). Le développement des prospections botaniques en Afrique tropicale mit en évidence dans le dernier quart du XIX^e siècle la grande diversité du genre de Rubiacées qui englobe tous les caféiers. La plus grande partie des éléments de l'inventaire des *Coffea*, encore inachevé, a été acquise au cours de ce siècle, notamment en ce qui concerne les caféiers malgaches, ensemble très diversifié dont le recensement intensif est encore chose récente. On sait maintenant qu'appartiennent au genre *Coffea* des plantes de port et d'adaptation écologique très variés : des orophytes comme *C. arabica*, des sciaphytes de forêt ombrophile ou tropophile comme *C. canephora*, des rupicoles comme *C. congensis*, des xérophytes comme *C. racemosa*, etc... Ces végétaux pérennes se présentent comme des arbres, des arbustes ou des sous-arbrisseaux suivant l'espèce. Leur rangement dans une classification taxonomique a toujours été une entreprise hérissée de difficultés. La classification de Chevalier (26), datant de 1947, était basée sur la description morphologique des caféiers et sur leur répartition géographique. Ce document qui constitue une très utile source de références a cessé d'être actuel en raison de la découverte de nombreux taxons nouveaux de *Coffea*, notamment dans le groupe *Mascarocoffea*, et du fait que les idées des biologistes au sujet de la notion d'espèce se modifient avec le progrès des connaissances. Le concept de l'espèce linnéenne monotypique et holotypique se révèle aujourd'hui particulièrement inadéquat à rendre compte de la variabilité considérable des populations spontanées de caféiers, extrêmement fluctuantes par essence. Or beaucoup de diagnoses ont été établies sur des matériaux secs d'herbier sur un seul individu d'une population, [Portères (86)]. Le nombre des espèces recensées chez *Coffea* est d'une centaine, dont les deux tiers de provenance malgache, et la multiplicité de ces binômes traduit peut-être tout simplement le fait que beaucoup de populations spontanées de caféiers ont atteint un

degré de différenciation morphologique tel qu'il soit tentant d'attribuer une étiquette particulière à leurs spécimens les plus courants. Le statut spécifique de *C. arabica*, seul taxon tétraploïde du genre, ne présente aucune ambiguïté. Il n'en va pas de même pour les caféiers diploïdes dont les groupes qui ont fait l'objet d'une diagnose ont une signification systématique incertaine. On peut tenir pour certain que les méthodes de la taxonomie conventionnelle ne peuvent plus suffire à l'établissement d'une classification des caféiers, et ce travail trouvera certainement un appui dans les données de la biosystématique, de la taxonomie numérique, de la taxonomie chimique, ou encore dans l'emploi des techniques de différenciation des protéines par la migration électrophorétique. Aucun raffinement technique ne pourra cependant lever la difficulté majeure de classer en unités des complexes de formes vivantes apparentées, sexuées, panmictiques et non fixées, sans tomber dans l'arbitraire. Tels sont pourtant les problèmes que posent, et sans doute pour longtemps, les *Coffea* diploïdes aux systématiciens. Notre propos n'est pas de discuter des problèmes de classification des caféiers, dont il importait cependant de souligner la complexité. Nous aurons à revenir sur la notion de l'espèce chez *Coffea*, mais il sera nécessaire auparavant de présenter un aperçu des acquisitions récentes de la recherche au sujet de la phylogénie du genre tel qu'il est actuellement délimité.

En effet Leroy (66), utilisant des caractères de placentation et de position des inflorescences, a resserré les limites de la distribution du genre *Coffea sensu stricto* à l'aire Afrique-Madagascar, d'autres espèces étant désormais regroupées dans le nouveau genre *Paracoffea*. A la suite de ses travaux sur les relations génétiques et chromosomiques entre les principaux groupes de caféiers, Charrier (21) a proposé de scinder le genre *Coffea*, redéfini comme ci-dessus, en trois divisions fondamentales : *C. arabica*, *Eucoffea* (caféiers diploïdes africains) et *Mascarocoffea* (caféiers diploïdes malgaches et espèces apparentées).

Nous aurons à revenir sur les faits biologiques qui justifient cette distinction primordiale. Par ailleurs Leroy (66) a envisagé que le genre *Coffea* au sens nouveau pourrait s'être détaché de *Paracoffea*. Poursuivant cette hypothèse, Demarly (32) présente de la manière suivante le processus possible de la différenciation des caféiers contemporains à partir de cette lointaine origine monophylétique supposée. Des croisements panmixtiques à l'intérieur de populations allogames de *Coffea* archaïques, localisées aux abords des lacs Rodolphe et Victoria, auraient prélévé à la diversification de groupes semi-isolés appelés à coloniser divers territoires au cours de leur progression au hasard depuis le centre d'origine botanique des premiers caféiers. Ce concept conduit à distinguer : l'Ouest et le Centre-Ouest africains occupés par les *Liberio-excelsoides* et les *Canephoroides* actuels (chez lesquels s'est maintenue une grande continuité génétique), ainsi que par des entités à individualité plus marquée, comme *C. stenophylla* et *C. congensis* — le Sud-Est de l'Afrique : *C. eugenioides*, *C. racemosa*, *C. salvatrix*..., formes qui tendent vers le groupe des caféiers malgaches, isolé très anciennement par suite de la dislocation du continent de Gondwana — et enfin, vers le nord, les hauts plateaux abyssins qui ont vu naître *C. arabica*. Cette espèce est le seul caféier

tétraploïde connu dans la nature. Divers arguments militent en faveur d'une origine allopolyploïde plutôt qu'autopolyploïde [Grassias & Kammacher (49)] pour cet organisme, qui s'est distingué des *Coffea* précédents par le nombre de chromosomes, l'occupation d'une aire de distribution marginale à une altitude plus importante et la tendance à recourir à l'autogamie pour se perpétuer.

Ce tableau hypothétique très résumé du passé évolutif du genre *Coffea* suppose entre les caféiers contemporains des relations phylétiques plus ou moins étroites, ce qui mérite d'être approfondi ; partant, il est permis de considérer comme source d'amélioration génétique possible pour la caféiculture des races et des espèces de caféiers qui ont été peu exploitées jusqu'ici, ou pas du tout. Il y a d'abord les ressources génétiques encore disponibles des origines éthiopiennes de *C. arabica*. Le type *robusta* de son côté n'a peut-être pas été complètement exploré dans son cadre naturel. Il ne constitue du reste qu'une des races de l'espèce polyploïde *C. canephora* très diversifiée, [Portères (86)], mais insuffisamment prospectée. On sait par expérience que d'autres caféiers diploïdes se prêtent plus ou moins immédiatement à la culture (*C. liberica*, *C. excelsa*) ou sont porteurs de caractères qui auraient un intérêt en caféiculture.

L'UTILISATION DES FORMES PRIMITIVES DE *COFFEA* COMME SOURCE DE VARIATION GÉNÉTIQUE POUR L'AMÉLIORATION DES CAFÉIERS CULTIVÉS

Les travaux de plusieurs décennies ont démontré que le genre *Coffea* recèle de nombreuses structures génétiques différentes de celles des caféiers traditionnellement cultivés. Bien que la connaissance de ces structures comporte encore de nombreuses lacunes, suffisamment de points importants ont pu être éclaircis par la recherche fondamentale pour qu'il ne soit pas absurde de procéder à une tentative d'évaluation du potentiel génétique utile des formes primitives de *Coffea* de manière que la caféiculture puisse en bénéficier. Les caféiers diploïdes ont été les premiers à exister, mais nous préférons n'aborder l'étude de leurs ressources génétiques qu'après avoir analysé le cas des caféiers tétraploïdes, puisque le caféier d'Arabie reste le plus important des *Coffea* cultivés après avoir été longtemps le seul connu. Nous aurons aussi à étudier si les espèces de caféiers sont capables d'hybridation en vue du développement éventuel de techniques d'échange et de transfert de matériel génétique par-delà des barrières d'isolement reproducteur.

Les formes primitives éthiopiennes de *Coffea arabica*

La croyance en une origine yéménite de *C. arabica*, à laquelle Linné avait bien involontairement apporté sa

caution, a été longue à se dissiper du fait qu'il a été particulièrement difficile à des botanistes-voyageurs européens de pénétrer en Ethiopie aux époques où l'exploration floristique des contrées tropicales recevait beaucoup d'encouragements, du XVI^e au XIX^e siècle. L'Ethiopie a eu peu de contacts avec l'Occident entre 1632, date du départ des missions portugaises, et l'invasion italienne de 1935. Par surcroît, les provinces abyssines méridionales, qui sont les plus importantes en ce qui concerne l'origine botanique du caféier d'Arabie, restèrent longtemps repliées sur elles-mêmes encore plus complètement que les autres du fait de leur état de rébellion permanente contre le pouvoir impérial qui dura du XV^e siècle à la conquête du Kaffa par Menelik II en 1897. Dans ces conditions, il était difficile que parvinssent au monde occidental des informations sur l'origine exacte du caféier. Il ne fait aucun doute maintenant que les habitants de l'Ethiopie connaissaient le café depuis des temps immémoriaux, comme on peut s'en rendre compte en constatant que sa consommation entre dans ce pays parmi certains rites religieux empruntant leurs sources au paganisme et à l'Islam primitif, [Doresse (35)]. Le monde savant aurait pu s'intéresser à des témoignages tels que ceux du Français Charles Poncet et de l'Ecossois James Bruce qui, ayant réussi à circuler en Ethiopie, l'un en 1698, l'autre de 1770 à 1773, signalèrent l'existence dans le sud du pays de caféiers sauvages, [Wellmann

(106), Meyer (77)]. Plus tard Richard (*Tentamen Florae abyssin.*, 1838-1843) rapporta lui aussi que le caféier croît en abondance et en dehors de toute influence de l'homme dans les régions du Kaffa et de l'Ennarea, [Chevalier (25)]. Il fallut attendre jusqu'en 1886 la publication sous la plume de Fuchs (48) d'un ouvrage traitant scientifiquement de la dissémination des caféiers et donnant l'Ethiopie comme lieu d'origine probable de *C. arabica* plutôt que l'Arabie.

Cette question devait attirer l'attention des botanistes et des agronomes après la seconde guerre mondiale, à la suite des premières missions d'experts de la caféiculture demandées par le gouvernement éthiopien aux Etats-Unis et à la FAO. Les enquêtes ainsi motivées montrèrent qu'on trouve en Ethiopie le caféier en culture dans le nord, l'est et l'ouest du pays, et à l'état spontané ou cultivé de manière négligente dans les provinces du sud-ouest, Kaffa et Illubabor. Les résultats de diverses prospections botaniques conduisent à admettre maintenant que *C. arabica* est originaire des forêts ombrophiles des hautes vallées du sud-ouest de l'Ethiopie, entre 1.300 et 2.250 m d'altitude, ainsi que de deux territoires voisins : le plateau de Boma au Soudan et le mont Marsabit au Kenya [Thomas (100), Sylvain (97), Meyer (77, 78), Guillaumet & Halle (50), Berthaud *et al.* (7)]. La survivance de l'espèce à l'état vraiment sauvage de nos jours porte toujours à discussion [Leroy (66)]. Ce point est en effet bien difficile à préciser dans une région qui est peut-être la plus anciennement peuplée par l'homme sur la terre, et où la très antique tradition du nomadisme agricole et pastoral bouleverse depuis des millénaires la distribution et la composition de la végétation forestière. Selon von Streng (95) il est vraisemblable que *C. arabica* existe encore en dehors de toute intervention humaine dans quelques lambeaux de forêt primaire du sud-ouest éthiopien, mais cette hypothèse est combattue par les conclusions de la mission de prospection de la FAO de 1964-1965 (38). Les points de vue divergent toujours à ce sujet. Pour Harlan (53), *C. arabica* est un exemple de plante cultivée « monocentrique », dont le centre d'origine botanique et le centre de diversité génétique coïncident. Fernie (39) rappelle que l'Ethiopie est peut-être à considérer comme centre de domestication et de variation de ce caféier, dont le lieu de naissance se situe selon Doughty au sud du Soudan (montagnes d'Imatong) et selon Robinson en Ouganda. Toujours est-il que l'espèce en question prospère en abondance dans le sud-ouest éthiopien.

Une adaptation aussi parfaite au milieu de plantes à peine domestiquées obéit aux conditions d'existence et de fonctionnement des foyers de diversité de végétaux cultivés selon l'enseignement de Vavilov. C'est pourquoi les premières collections de caféiers éthiopiens parvenues à Campinas comme résultat des premières prospections furent étudiées avec beaucoup de soin sous l'angle de la variabilité des caractères qualitatifs et quantitatifs. Il fut constaté que dans un échantillon très restreint de plantes provenant du centre d'origine du caféier d'Arabie se rencontraient la plupart des mutants déjà connus dans l'espèce, et se manifestait une très grande variabilité dans tous les caractères d'expression quantitative [Carvalho (18), Monaco

(79)]. On pouvait dès lors considérer comme important d'entreprendre une exploration plus détaillée de l'aire éthiopienne pour augmenter et diversifier les collections de *C. arabica*. Une mission internationale fut envoyée par la FAO en 1964 dans les provinces du sud-ouest de l'Ethiopie de manière à associer dans l'étude des ressources naturelles de l'espèce les pays d'Amérique, d'Afrique orientale et d'Asie les plus directement concernés par la culture du caféier d'Arabie. Les six cent vingt et une souches de caféiers récoltées par cette mission furent réparties entre les collections de caféiers entretenues par des institutions spécialisées en Ethiopie et en Est africain, en Inde et en Amérique [FAO, (38)].

Par ailleurs, les pays tropicaux d'altitude inférieure à 1.000 m sont défavorables à la culture de *C. arabica* pour des raisons de photopériodisme et d'incidence de la rouille orangée, circonstances qui obligèrent les planteurs de café à recourir à l'exploitation de *C. canephora*, comme on l'a vu ci-dessus. On pouvait se demander si la pauvreté génique des cultivars *arabica* d'origine américaine n'était pas la cause de cette mauvaise adaptation à la croissance en basse altitude. Cette considération conduisait à envisager une exploration du centre d'origine de l'espèce visant à collecter si possible des plantes moins inféodées au climat de montagne. C'est dans ce but que fut organisée en 1966 par les soins de l'Institut Français du Café et du Cacao (IFCC) et de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) une prospection en Ethiopie à l'intention des pays d'Afrique francophone producteurs de café en basse altitude. Cette mission procéda à la collecte de soixante-dix souches de caféiers dans les provinces du Kaffa et de l'Illubabor [Guillaumet et Hallé (50)]. Une partie des graines de cette récolte faite le plus souvent pied par pied fut semée à la Station expérimentale de Jimma en Ethiopie ; les autres furent réparties entre des stations expérimentales de Côte d'Ivoire, du Cameroun et de Madagascar.

Le recul du temps sera nécessaire pour mener à bien l'évaluation de l'intérêt économique des arbres de *C. arabica* originaires du foyer de diversité maximale de l'espèce, d'autant plus que le besoin se fait déjà sentir de reprendre les prospections dans cette région afin de sauvegarder le matériel biologique situé dans des stations menacées d'extinction et d'explorer des zones intéressantes non encore visitées [FAO (38), Mengesha (76)]. Un point essentiel sur lequel l'unanimité s'est faite est que la variabilité qui s'observe dans le matériel d'origine éthiopienne est sans commune mesure avec ce qu'on connaissait chez les plantes issues des races *typica* et *bourbon* [Sylvain (97, 98), Monaco (79), Charrier (22)]. Ce fait, déjà mis en évidence par l'étude de la variabilité des populations de caféiers éthiopiens *in situ* est très manifeste lorsqu'on étudie la descendance des plantes de cette origine mises en collection. L'étendue de la variation qui s'observe alors est beaucoup plus grande que ce qu'on pourrait attendre de la progéniture de plantes soumises à un taux élevé d'autogamie [Carvalho (18), Charrier (22)]. Un rapprochement s'impose ici avec une observation importante faite par Meyer (77) sur la biologie de la reproduction

des races primitives de *C. arabica* dans leur aire d'origine. Leur taux d'allogamie se situerait à un niveau compris entre 40 et 60 %, alors que celui des cultivars américains dépasse rarement 10 %. Sans doute y-a-t-il là un sujet d'étude à retenir chez *C. arabica*. On pourrait en effet se demander si le degré élevé d'autogamie qui caractérise toutes les variétés issues des origines *typica* et *bourbon* n'est pas l'expression d'un changement évolutif lié à la domestication. On sait en effet que beaucoup de plantes cultivées diffèrent de leurs parents sauvages par une moindre aptitude à la fécondation croisée. Rick (90) a effectué chez la tomate des observations d'une grande valeur démonstrative à ce sujet. Une autre hypothèse à envisager serait celle d'un effet de dérive génétique qui aurait généralisé chez les caféiers acclimatés en Amérique le système de reproduction à autogamie prépondérante. Toujours est-il que les caféiers du centre d'origine éthiopien sont encore loin de l'état de lignées pures et transgressent dans leurs ségrégations les limites connues à la variabilité du matériel classique. Ces plantes constituent donc un matériel de sélection de la plus grande utilité pour l'amélioration du caféier. On en a déjà obtenu des variants remarquables au point de vue de la taille du fruit et de la fève [Monaco (79)]. Quand on se représente d'autre part l'importance pour la caféiculture d'obtenir une résistance variétale aussi élevée que possible aux agressions du milieu, l'apport du matériel *arabica* d'origine est-africaine en gènes de résistance à *Hemileia vastatrix* et à *Colletotrichum coffeanum* est d'une valeur inestimable. Ces richesses génétiques sont en cours d'évaluation et d'utilisation [Ferne (39), Monaco & Carvalho (80), van der Vossen (105)], de sorte que la rouille orangée et l'antracnose des baies du caféier sont à ranger parmi les maladies des plantes cultivées totalement contrôlables par l'ingénierie génétique. De même, les observations faites à la station expérimentale de Jimma sur la réponse des collections de caféiers éthiopiens aux incidences de gelées prolongées démontrent qu'il existe dans ce matériel une grande diversité dans le degré de sensibilité aux basses températures [Station expérimentale de Jimma (56)]. L'avenir des travaux sur la génétique des caféiers éthiopiens révélera certainement beaucoup d'autres particularités utiles de ces plantes, qu'on pourra exploiter par sélection généalogique ou par la recherche de recombinaisons provoquées par hybridation intraspécifique chez *C. arabica*. D'importants développements sont déjà donnés à ce dernier thème de recherches à l'Institut Interaméricain de Sciences Agricoles (IAIAS) de Turrialba (Costa Rica). Cette institution entretient une vaste collection de races de *C. arabica* [1.100 numéros répertoriés en 1974, dont la moitié d'origine éthiopienne (101)]. Depuis 1955 de nombreux croisements entre constituants de ladite collection ont été entrepris, et les premiers résultats connus de leur analyse montrent bien que l'amélioration du caféier pourra bénéficier d'une importante variabilité mise en mouvement par recombinaison [Léon (64)].

L'évaluation des ressources génétiques déjà connues chez les caféiers de l'aire d'origine de *C. arabica* a donc permis d'élargir d'une manière très significative

l'étendue de la gamme des améliorations possibles par rapport à ce que les anciens cultivars de cette espèce pouvaient offrir aux généticiens. Cependant, on n'a pas encore rencontré dans le groupe des *arabica* primitifs d'origine africaine de races aptes à s'adapter à des normes écologiques inhabituelles pour l'espèce. En particulier, la recherche de plantes pouvant donner une production acceptable en basse altitude est jusqu'ici restée infructueuse. De telles perspectives ne sont pas à écarter complètement, car on sait que la prospection du foyer de variabilité du caféier d'Arabie n'a pu s'accomplir que d'une façon partielle. Il est cependant peu probable de rencontrer des cas de polymorphisme à expression écologique au niveau des formes tétraploïdes spontanées de *Coffea*, qui n'ont pas fait preuve d'une tendance marquée à entreprendre de rayonnement adaptatif et se sont contentées du seul pic d'adaptation atteint par *C. arabica*. Nous nous trouverons devant une situation totalement différente en examinant les ressources génétiques des caféiers diploïdes, qui s'étendent bien au-delà de la variabilité d'une seule espèce.

Les caféiers diploïdes : *Eucoffea* et *Mascaro-coffea*

Comme nous l'avons vu plus haut la délimitation d'espèces linnéennes chez les caféiers diploïdes se heurte à des difficultés considérables, et on en est encore à se demander quelle définition serait la meilleure pour l'unité systématique dans le genre *Coffea*. Les concepts de la taxonomie conventionnelle s'appliquent mal à la situation présente, mais d'un autre côté il serait peu réaliste de n'accorder ici le statut d'espèce qu'aux populations de caféiers entourées d'une solide barrière d'isolement reproducteur. Rappelons ici la manière dont ce problème a été envisagé par Dobzhansky, qui a assuré avec ses élèves et ses collaborateurs l'épanouissement de la théorie moderne de l'évolution (34) : une espèce est évidemment un taxon tout comme un genre ou une famille, mais, ce qui est plus important, une espèce est le système biologique situé au-dessus de l'individu ; dans ce dernier sens, une espèce constitue plus qu'un concept de groupe, une espèce biologique est intégrée par des liens de reproduction sexuée et de parenté. C'est sur de tels principes que Clausen, Keck et Hiesey (28) ont établi une méthode d'analyse des différences génétiques entre espèces, qualifiée parfois de biosystématique, qui s'est révélée d'une bonne efficacité pour classifier des plantes supérieures selon un système naturel. Charrier (21) s'en est inspiré pour organiser une série de travaux sur *Coffea* qui marquent une étape dans la connaissance théorique du genre tel qu'il a été délimité par Leroy (65). Les conclusions qui se sont dégagées de ces recherches doivent être évoquées dans une discussion sur les ressources génétiques des caféiers diploïdes. Mais comme tout débat en la matière part de la

connaissance de la structure génétique des populations naturelles de caféiers, il est nécessaire de rappeler d'abord les travaux classiques de Portères (86) sur les *Eucoffea*.

La plupart des prospections botaniques anciennes dans le groupe des *Eucoffea*, important à explorer du fait que tous ses représentants sont des plantes capables de produire du café, avaient été inspirées par un point de vue taxonomiste, de sorte que la récolte de matériel d'herbier avait rarement été accompagnée d'une étude détaillée du matériel vivant. Il faut reconnaître à des chercheurs tels que Portères (*loc. cit.*) et Lebrun (63) le grand mérite de s'être astreints à décrire les peuplements naturels de caféiers en Afrique de l'Ouest et dans la cuvette congolaise avec la préoccupation constante d'y recueillir des plantes d'intérêt agronomique. Il sera important de résumer ici les observations faites par Portères il y a quarante ans sur la variabilité phénotypique des populations climaciques de *C. canephora* de Côte d'Ivoire, dans des écosystèmes non encore dégradés par l'homme. Dans de telles conditions, les différents peuplements de caféiers, possédant chacun sa physionomie propre, manifestent une grande homogénéité lorsqu'ils sont d'effectif élevé. Mais on peut rencontrer aussi des îlots de quelques dizaines de caféiers, vraisemblablement issus d'un seul individu, où la plus grande hétérogénéité est de règle. Par ailleurs Portères a constaté qu'en semant les graines provenant de pieds isolés on obtient toujours des descendance fortement ségréantes pour tous les caractères observables. L'auteur, qui avait observé des phénomènes comparables chez les caféiers libéro-excelsoïdes de Côte d'Ivoire, était parvenu à la conclusion que les populations spontanées de caféiers de cette partie de l'Afrique sont composées d'individus fortement hétérozygotes et très différents génétiquement les uns des autres malgré l'aspect homogène de certaines d'entre elles, d'où l'expression de « peuplements avec formes amphimixiques à stabilité entretenue ». Cette formule n'évoque-t-elle pas fortement l'idée d'un ordre biologique fondé sur la fluctuation ?

Il se trouve que les *Mascarocoffea*, célèbres pour leur absence en caféine, mais dont les qualités organoleptiques sont loin d'être comparables à celles des *Eucoffea*, sont beaucoup mieux connus que ces derniers au point de vue de la structuration des populations naturelles. En effet, la recherche de ces plantes, dont quelques espèces avaient été recensées par Chevalier (26), a été reprise il y a une vingtaine d'années en procédant simultanément à la mise d'échantillons en herbier et à la constitution de collections vivantes. La cinquantaine de taxons découverts au cours de ces prospections en plus de ceux reconnus précédemment par Chevalier se signale par une variabilité « d'une ampleur inimaginable » [Leroy (66)], ce qui est du reste parfaitement conforme à l'aspect général de la spéciation chez les plantes supérieures endémiques à Madagascar [Guillaumet & Mangenot (51)]. En appliquant à un échantillonnage représentatif de *Mascarocoffea* les méthodes de la taxonomie numérique, Charrier (21) est parvenu à reclasser leur diversité, si considérable en apparence, en moins d'une dizaine de groupements bien définis. L'analyse génétique et caryologique de

ces populations complexes, effectuée sur la descendance d'hybridations contrôlées, a conduit le même auteur à la conclusion que chez les caféiers malgaches les barrières de croisements des espèces sont faibles ou nulles, tandis que les divergences chromosomiques sont peu significatives. On peut admettre qu'ici les unités systématiques correspondent à des populations allopatriques assez peu nombreuses, possédant des caractéristiques morphologiques et physiologiques propres, associées à des pools de gènes fixés par dérive et sélectionnés par des milieux variés. C'est ce que Wright (107) a appelé la sélection interpopulationnelle ou sélection de groupe, sélection naturelle qui favorise la perpétuation et l'expansion des populations génétiquement les mieux douées.

Mutatis mutandis ces idées doivent pouvoir s'appliquer aux *Eucoffea*, qui ont eu la possibilité de s'étendre sur des aires beaucoup plus vastes que les caféiers malgaches. Ici également l'isolement reproducteur des populations allopatriques est faible, tandis que les différences entre les garnitures chromosomiques sont peu évidentes, ce qui reviendra plus loin en discussion. Les caféiers diploïdes offrent donc le spectacle d'un genre monophylétique où les divergences sont nées de l'isolement géographique de populations amenées à acquérir leur individualité par dérive génétique et progression au hasard, sans que les groupes allopatriques réussissant l'escalade de sommets adaptatifs parviennent à se hisser au niveau de l'espèce biologique. Ce système, longuement perfectionné par la sélection naturelle, repose nécessairement sur l'allogamie et la panmixie au sein des groupes reproducteurs.

Si la diversification des caféiers diploïdes repose sur de tels processus évolutifs, on voit bien pourquoi les méthodes de la taxonomie classique s'appliquent mal au cas de ces plantes, puisque rien n'est plus difficile à répertorier que des espèces in *statu nascendi* dont les limites sont imprécises et pour lesquelles la décision est forcément arbitraire. Il ne serait pas dénué de fondement de se référer à ce propos à des situations génétiques qui ont été mises en lumière par l'étude des populations naturelles d'espèces animales à reproduction biparentale, ce qui est un cas très général. Ces travaux ont conduit des chercheurs comme Mayr (74) et Amadon (4) à définir les concepts nouveaux de « super-espèce » et « allo-espèce » (ou « demi-espèce ») dont l'emploi pourra s'avérer utile s'agissant des *Coffea* diploïdes. La super-espèce est un groupe monophylétique d'espèces étroitement apparentées, partiellement ou totalement allopatriques, ou encore un groupe de taxa entièrement ou essentiellement allopatriques, qui étaient autrefois les races d'une seule espèce, mais ont atteint à présent le statut de l'espèce. La super-espèce est donc constituée de demi-espèces, soit des populations qui sont engagées dans le processus de la spéciation ; l'échange de gènes reste possible entre les demi-espèces, mais pas aussi librement qu'entre les populations conspécifiques. L'un des exemples donnés par Mayr est celui des Oiseaux de Paradis (genre *Astrapia*) de Nouvelle-Guinée. Les semi-espèces de ces oiseaux dont les mâles portent de magnifiques plumes ornementales diffèrent nettement les unes des autres. Elles sont cependant capables

d'hybridation dans les lieux où leurs aires de distribution viennent à se superposer. La diversification très graduelle des *Coffea* diploïdes, sans élimination drastique des populations intermédiaires, a donc pu aboutir à l'édification de complexes multispécifiques s'adonnant sans trêve à une sélection diversifiante, l'extrême de cette tendance étant atteint dans le sous-ensemble des caféiers malgaches où le foisonnement des *phénons* constitue un défi permanent à la taxonomie. Mais le propre de ces demi-espèces de *Coffea* semble être une répugnance à s'engager à fond dans la voie de la spéciation, ce qui laisse subsister beaucoup de possibilités d'échanger des gènes entre les unités systématiques. Cette situation exceptionnelle est très favorable à l'accomplissement de travaux de caractère expérimental sur l'hybridation introgressive chez les caféiers, ce que nous étudierons plus loin.

L'expérience a déjà montré que les caféiers diploïdes se prêtent à la domestication, tout au moins en ce qui concerne certaines espèces. Pour organiser rationnellement la détection des *Coffea* sauvages particulièrement préadaptés à une exploitation par l'homme, il serait important d'approfondir les mécanismes fondamentaux qui maintiennent un polymorphisme et une hétérozygotie importants dans les populations spontanées. Les caféiers diploïdes constituent un excellent matériel d'étude dans ce domaine où les connaissances sont rares au sujet des végétaux sexués et panmixtiques, car la plus grande partie des recherches en matière de génétique écologique a été effectuée chez des organismes animaux [Ford (42)]. Les nombreux travaux qui ont paru sur ce sujet concourent à démontrer que chez les populations sauvages la variation géographique intraspécifique est étroitement liée à la variation géographique de l'environnement, ce qui souligne la nature adaptative des caractères de ces communautés, dont on sait qu'elles ont toujours un niveau élevé d'hétérozygotie [Dobzhansky (34), Lucotte (71)]. Plusieurs études effectuées chez des populations spontanées végétales, en utilisant comme marqueurs des allozymes ou des gènes à morphisme décelable, ont montré qu'un niveau appréciable d'hétérozygotie s'y observe aussi, même lorsqu'il s'agit d'espèces où prédomine l'autogamie [Hamrick & Allard (52), Levin (67), Vernet (104)]. L'accumulation de ces faits doit conduire à développer l'hypothèse que chez les *Coffea* spontanés diploïdes l'hétérozygotie est un élément important de la structure génétique des plantes retenues par la sélection naturelle, ce que nous avons déjà eu l'occasion d'envisager à propos des caféiers tétraploïdes éthiopiens, bien que ceux-ci aient des possibilités réduites de pratiquer la panmixie. Les acquisitions récentes de la génétique écologique sont nettement en faveur d'une explication des mécanismes de survie des populations naturelles fondée sur un modèle de sélection hétérotique liée à l'équilibre d'une hétérozygotie entretenue. Qu'il en soit ainsi chez les caféiers, au moins dans certains cas, est démontrable chez le taxon malgache *C. homollei*, où Charrier (21) a pu constater que se produit de façon constante le dépérissement d'une proportion importante de plantules par déficiences chlorophylliennes. Nous sommes ainsi mis en présence d'une manifestation du phéno-

mène du fardeau génétique chez des caféiers sauvages, qui pourrait s'interpréter de la manière suivante. La phase plantule est particulièrement critique dans la survie d'une population spontanée de caféiers, et ce cap difficile n'est peut-être franchissable pour l'espèce en question qu'à des individus hétérotiques et hétérozygotes à de multiples loci. La population devra donc payer le passage d'une génération à la suivante de la perte d'individus porteurs de formules récessives désavantageuses, dévoilées par la recombinaison mendélienne. On découvrira sans doute d'autres preuves de l'existence d'un fardeau génétique chez les caféiers sauvages, mais il est difficile de croire que les effets des polymorphismes de gènes différents sur la valeur adaptative sont indépendants et additifs, car il en résulterait nécessairement une baisse du potentiel de reproduction des populations difficilement compatible avec leur survie. Ce paradoxe ne conduit pas à abandonner l'idée qu'une forme hétérotique de sélection équilibrée joue un rôle fondamental dans la stratégie évolutive de plantes telles que les caféiers diploïdes, mais on pourrait se rallier au point de vue d'un groupe d'évolutionnistes selon lesquels une part importante des polymorphismes des populations spontanées sont sans effet sur la valeur adaptative de leurs porteurs [Ayala (5)].

Toutes ces considérations sont loin d'être dénuées d'importance pratique, car une meilleure connaissance de la dynamique du peuplement chez les caféiers sauvages faciliterait la recherche de génotypes utiles à l'homme parmi ces plantes. L'hétérozygotie, qui paraît si importante pour le maintien des caféiers dans la nature, devient entre les mains des généticiens un réservoir de variabilité génétique. Il leur est donc nécessaire de connaître de façon aussi précise que possible les proportions de gènes polymorphes et hétérozygotes chez les plantes qu'ils ont à étudier. Pour ce faire, les diverses méthodes jusqu'alors en usage pour l'étude de la structuration des populations naturelles, et s'appuyant en général sur l'analyse de la variation de caractères phénotypiques (méthodes dites phénétiques), ont été complètement éclipsées par les nouvelles techniques d'étude de la migration électrophorétique des enzymes et d'autres protéines [Lewontin (68), Lucotte (71)]. Cette approche biochimique permet en effet de détecter commodément dans une population les gènes fixés, non mutés, ainsi que les gènes représentés par plus d'un allèle. Les généticiens ont là un outil efficace pour évaluer des données fondamentales de la structure des populations naturelles, comme l'importance du fardeau génétique, le nombre approximatif de gènes pour lequel un individu moyen est hétérozygote, l'existence de systèmes de gènes sélectivement neutres, le rôle de la dérive génétique, etc... Une étude de la variabilité d'espèces de caféiers diploïdes évaluée à travers leur polymorphisme biochimique est actuellement en cours en Côte d'Ivoire [Berthaud & Berthou (8)].

L'emploi des nouvelles techniques d'analyse de la variabilité des populations naturelles pourrait fournir dans un avenir rapproché une quantité d'informations importantes sur l'étendue des ressources génétiques des *Coffea* diploïdes dont l'évaluation est encore bien

fragmentaire. Parmi les *Eucoffea*, les espèces polytypiques comme *C. canephora*, prospectées de façon empirique jusqu'ici, méritent qu'on examine de plus près la structure de leurs populations naturelles. Du complexe Libério-excelsoïde on a déjà extrait des caféiers de grand intérêt économique qui resteraient à perfectionner en ce qui concerne la résistance aux parasites. Il existe chez d'autres espèces nombre d'aptitudes importantes en caféiculture, telles que la résistance à la sécheresse et à *Hemileia coffeicola* de *C. racemosa*, la résistance de *C. salvatrix* aux nématodes, la résistance de *C. eugenioïdes* et d'autres espèces à *Leucoptera coffeella*, etc... [Carvalho *et al.* (19), Monaco & Carvalho (81)]. Quand on considère l'importance des propriétés de grand intérêt économique remarquées, souvent par hasard, chez des espèces de caféiers sauvages connues par quelques plantes seulement, on peut penser que des explorations détaillées de populations de *Coffea* africains spontanés pourraient révéler beaucoup de faits nouveaux. Ce qu'on sait d'autre part des *Mascarocoffea* est insuffisant pour porter un jugement sur la possibilité de les utiliser, mis à part le fait qu'ils constituent une base d'obtention de caféiers à teneur en caféine faible ou nulle. Toutes les espèces connues actuellement donnent un grain impro-

pre à l'usage commercial, mais il se peut que les plantes les plus intéressantes économiquement restent à découvrir. La poursuite de l'analyse de la variabilité des populations de caféiers malgaches serait donc œuvre utile.

Les nouvelles plantes d'intérêt économique que l'exploration approfondie de la variabilité des populations naturelles de caféiers diploïdes mettra à la disposition des améliorateurs seront selon toute vraisemblance des organismes hautement hétérozygotes, allogames et prédisposés à la panmixie, et le traitement à leur appliquer pourra s'inspirer des méthodes classiques de sélection du caféier *robusta*. L'efficacité de l'isolement de « têtes de clones » n'est plus à démontrer dans les pays où la caféiculture a adopté le système d'établissement des plantations par bouturage. L'hybridation est un moyen d'atteindre un nouveau degré dans l'étendue des combinaisons génétiques. Le cas des croisements au sein d'une espèce est déjà bien connu d'après le modèle d'hybridation entre géniteurs hétérozygotes couramment pratiquée dans l'amélioration des caféiers de type *robusta*. Les croisements qui impliquent des parents botaniquement éloignés posent des problèmes qu'il sera utile d'examiner.

L'AMÉLIORATION DES CAFÉIERS PAR HYBRIDATION INTERSPÉCIFIQUE

Les botanistes et les généticiens ont remarqué de longue date que des caféiers reconnus taxonomiquement distincts se prêtent à l'hybridation, dans la nature ou sous le contrôle de l'homme. Certains croisements ont déjà suscité de l'intérêt comme source possible de nouveaux cultivars. Par exemple, l'hybride naturel *C. ugandae* × *C. congensis* dénommé *C. congusta* a beaucoup été étudié autrefois à Java, car il se montrait productif à des altitudes de 600 à 1.000 m, trop élevées pour *C. robusta*, mais trop faibles pour *C. arabica* [Cramer (31)]. En Inde des travaux de sélection ont été effectués dans la descendance de croisements de *C. eugenioïdes* × *C. liberica* [Narasimhaswamy & Vishveshwara (83)]. et de divers autres croisements entre espèces de *Coffea* diploïdes. D'autre part l'hybridation est possible entre caféiers de nombre chromosomique différent, ce qui a déjà résulté en des structures génétiques viables et fonctionnelles. Un exemple en est fourni par le caféier tétraploïde appelé « Hybride de Timor », supposé provenir d'un croisement naturel entre *C. arabica* et *C. canephora*; cette race s'est fait connaître par son immunité à la rouille orangée et on l'utilise comme géniteur dans des croisements destinés à rendre des variétés supérieures de *C. arabica* résistantes à cette maladie [Bettencourt (10), Monaco & Carvalho (80), Fernie (39)]. Ces modèles-types montrent qu'il y aurait beaucoup à attendre, pour élargir les

bases de l'amélioration des caféiers du commerce, de l'exploitation de la forme de variabilité qui se dégage de l'hybridation transspécifique, et ce sujet retient de plus en plus l'attention des généticiens [Carvalho *et al.* (19), Monaco & Carvalho (78), Charrier (21)]. Mais on sait qu'il est généralement difficile ou même impossible de recombinaison des gènes d'espèces différentes. Pour utiliser les termes de Dobzhansky (34) les génotypes qui composent une espèce sont des groupes de constellations géniques qui permettent à leurs porteurs de survivre et de se reproduire dans certaines niches écologiques. Il arrive que des espèces étroitement apparentées puissent donner des hybrides viables et fertiles, mais il ne s'ensuit pas nécessairement que la progéniture de ceux-ci reste indéfiniment fertile et féconde, car le processus sexuel et méiotique et la recombinaison de gènes qui en résulte peut mettre à jour des génotypes discordants et inviables dans n'importe quel environnement. L'étude des croisements entre espèces voisines de cotonniers a permis d'analyser plusieurs des mécanismes qui s'opposent à l'échange de gènes entre populations qui occupent des sommets adaptatifs différents, selon l'image employée par Wright (108) [Kammacher (57)]. Il se dégage maintenant de travaux sur des organismes variés que certaines combinaisons géniques nouvelles, une minime partie de ce qu'engendre aveuglément la ségré-

gation chez des hybrides d'espèces, peuvent ne pas être nocives aux organismes qui en héritent. Les problèmes que pose l'hybridation interspécifique dans le genre *Coffea* seront discutés ici en considérant les deux grands types de situations possibles : l'hybridation entre espèces diploïdes et le croisement de *C. arabica* par tout autre caféier.

L'hybridation entre des *Coffea* diploïdes

Revenons une fois encore sur le problème de l'espèce chez *Coffea*. Chez la plupart des plantes et des animaux, l'examen de la morphologie et la connaissance de l'origine géographique d'un échantillon adéquat d'une catégorie particulière d'organisme fournit des données indirectes sur les limites des espèces, et on peut généralement s'y fier pour la classification des êtres vivants. La taxonomie linnéenne tire précisément sa valeur du fait que les espèces morphologiques qu'elle considère comme distinctes sont des populations mendéliennes qui ont acquis l'isolement reproducteur et qui sont devenues des systèmes biologiques destinés à évoluer indépendamment d'autres systèmes identiques. Mais dans le genre *Coffea*, contrairement au cas général, il n'y a pas de concordance entre les limites de l'espèce taxonomique et celles de l'espèce biologique pour les formes diploïdes. Comme toutes les plantes des tropiques humides, les caféiers ont évolué sans contrainte climatique majeure depuis leur plus lointaine origine et ont disposé d'un temps considérable pour réorganiser leurs structures génétiques parallèlement à leur expansion territoriale, d'où l'extrême diversité de leurs populations actuelles [Lorougnon Guédé (69)]. La très grande originalité du genre *Coffea* réside dans le fait que toutes ces populations semi-isolées ont gardé au cours de cette longue histoire évolutive la marque de leur origine commune en ne cessant de former un continuum génétique. Les travaux de Charrier (20, 21) ont montré qu'une disharmonie partielle a commencé à s'installer entre les caféiers du continent africain et les *Mascarocoffea*. En effet, il est difficile d'obtenir des croisements entre les représentants des deux groupes, et les rares hybrides obtenus sont chétifs et stériles. Mais ceux d'entre eux dont on a pu examiner la méiose font preuve d'un appariement chromosomique presque régulier. On n'a pas lieu d'être surpris devant la constatation d'une scission marquée entre les *Eucoffea* et les *Mascarocoffea* sur le plan des catégories taxonomiques, si l'on prend en considération l'ancienneté de l'éloignement de Madagascar par rapport à l'Afrique selon la théorie de la dérive des continents. Si Madagascar est devenue une île au Crétacé supérieur, comme on le pense actuellement, les caféiers qui s'y trouvent évoluent indépendamment de ceux d'Afrique depuis quelque soixante millions d'années. Il est plus exceptionnel qu'à l'échelle de tant de générations les structures chromosomiques de ces plantes aient si peu perdu de leur similitude ancestrale. On sait en effet que la spéciation

chez les végétaux s'accompagne habituellement d'une différenciation chromosomique (*). Ce processus est resté stationnaire chez les espèces de caféiers diploïdes, dont on peut considérer qu'elles sont restées dans une très large mesure homoséquentielles. C'est ainsi que Carson *et al.* appellent les espèces qui préservent des types structuraux identiques (17). Bouharmont (11) est parmi les premiers à avoir signalé la forte similitude que présentent les garnitures chromosomiques des caféiers diploïdes, et les travaux plus récents de caryologie ont confirmé qu'il n'existe qu'un seul génome chez les *Coffea* à vingt-deux chromosomes.

Maintenant qu'il est bien établi que les différences entre les populations naturelles de *Coffea* portent davantage sur les gènes que sur les chromosomes, il reste à étudier si à l'intérieur des *Eucoffea* ou des *Mascarocoffea* l'hybridation d'espèces ou de races peut créer des disharmonies génétiques. L'analyse biosystématique du genre *Coffea* n'est pas assez avancée pour qu'on puisse donner une réponse complète à cette question, mais on a déjà recueilli à ce sujet d'utiles renseignements. Charrier (21) a montré, en ce qui concerne les *Mascarocoffea*, qu'il est possible d'obtenir des hybrides viables et fertiles entre des espèces morphologiquement distinctes qui dans la nature font preuve d'isolement reproducteur. L'isolement de ces populations de caféiers est maintenu en conditions naturelles par des barrières qui n'ont rien d'intrinsèque. Dans le sous-ensemble *Eucoffea*, les croisements d'espèces s'obtiennent aussi sans difficulté et fournissent des descendance généralement indemnes de dépression hybride. La confrontation d'espèces qui occupent des sommets adaptatifs différents peut mettre à jour des incompatibilités dont l'étude est instructive. Par exemple Louarn (70) a observé que le croisement *C. canephora* × *C. eugenioides* résulte en une F₁ faiblement fertile dont la conjugaison chromosomique se signale par un taux assez fort d'asyndèse. Mais la F₂ du même croisement voit sa fertilité se restaurer et extériorise une recombinaison génétique normale. L'étendue de la divergence génétique facilitée par l'isolement géographique ancien entre les *Eucoffea* et les *Mascarocoffea* fait qu'il est difficile d'obtenir expérimentalement des hybrides entre représentants de ces deux sous-ensembles. Même dans ce cas la continuité génétique entre les *Coffea* diploïdes n'est pas coupée. Lanaud (62) a en effet montré récemment qu'il est possible de restaurer la fertilité d'hybrides entre caféiers africains et malgaches par une procédure relativement simple. On peut conclure de ces divers résultats que la confrontation génétique d'espèces diploïdes de *Coffea* est généralement à la portée de l'expérimentation, les phénomènes

(*) Sur le plan de la longévité des types structuraux chez les plantes supérieures, les caféiers surpassent très largement les vingt millions d'années dont on crédite le genre *Plantago*, considéré jusqu'ici comme un modèle de stabilité chromosomique [cf. G. L. Stebbins : Chromosomal evolution in higher plants. Contemporary biology, Edward Arnold Ltd. London (1971)].

d'incompatibilité qui s'observent dans certaines combinaisons n'étant pas de nature à supprimer toute possibilité de réassortiments d'assemblages géniques véhiculés par des descendants normalement vigoureux et féconds. Ainsi se confirme la validité de la notion d'une spéciation très progressive chez *Coffea* où l'isolement entre les groupes taxonomiques est beaucoup moins rigide que dans la plupart des genres d'Angiospermes, circonstance qui aura sans doute été beaucoup facilitée par une extraordinaire stabilité de l'appareil chromosomique.

L'exploitation à des fins pratiques des structures génétiques des caféiers diploïdes peut donc aller plus loin que l'exploration de la variabilité des populations naturelles. La nature oppose peu d'obstacles ici à un regroupement artificiel de gènes que l'évolution a dispersés dans des populations allopatriques de *Coffea*. L'outil de l'hybridation interspécifique pourra servir à des fins très variées. On accordera bien entendu une grande attention aux croisements organisés dans l'intention de réunir chez une même race de caféier des qualités connues chez des populations spécifiques distinctes, ou de transférer à un cultivar donné une qualité précise existant dans une autre espèce. Si par exemple le but recherché dans un programme d'amélioration de caféiers diploïdes était de créer un *robusta* à faible teneur en caféine, ce qu'il paraît difficile d'obtenir par sélection étant donné ce qu'on sait de l'étendue de la variabilité du caractère en question chez les caféiers du groupe *canephora*, il serait indiqué de recourir à l'hybridation introgressive en utilisant comme donneur soit un caféier de l'Est africain peu chargé en caféine, soit un *Mascarocoffea* qui en est dépourvu [Charrier & Berthaud (23)]. Mais là ne se limite pas l'intérêt des croisements d'espèces diploïdes de *Coffea* pour l'amélioration des caféiers cultivés. Il convient de ne pas perdre de vue que la recombinaison chez les hybrides entre espèces homoséquentielles n'a pas pour seul résultat le réassortiment des caractères parentaux. Elle peut aussi faire apparaître des recombinaisons de gènes provenant des parents dont la fonction est de réaliser des caractères originaux, comme cela a été constaté chez des croisements d'espèces voisines de *Gossypium* [Kammacher (57)]. La probabilité de voir surgir des caractères nouveaux dans la descendance d'hybrides de *Coffea* est loin d'être nulle, puisque les plantes prises comme parents seront à la fois très différentes par le génotype et hétérozygotes à un haut degré. En ce qui concerne les produits utiles de tels croisements, et surtout s'il s'agit de hors-types, l'amélioration des caféiers bénéficie de cet immense avantage que toute plante jugée supérieure peut être propagée à volonté grâce aux techniques modernes de multiplication végétative. La sélection des caféiers est grâce à cette circonstance affranchie de la contrainte des cultures pedigreees, qui sont nécessaires chez d'autres plantes cultivées pour fixer les caractères de cultivars multipliés par semis. La propagation clonale permet d'exploiter chez *Coffea* toute structure donnant une plante d'élite, même les plus instables génétiquement. Nous aurons l'occasion de revenir sur cette manière de mettre à profit en caféiculture l'avantage conféré aux hétérozygotes.

L'hybridation entre *C. arabica* et caféiers diploïdes

Les graves mécomptes enregistrés dans les tentatives de cultiver *C. arabica* en altitude insuffisante ont inspiré des études sur le croisement de ce caféier à qualités organoleptiques supérieures par des *Coffea* diploïdes, ce qui devrait permettre, du moins en théorie, d'améliorer la valeur du café produit dans les zones de caféiculture convenant au type *robusta*. Le désir de transférer au caféier d'Arabie des propriétés connues chez des caféiers diploïdes est un motif supplémentaire de s'intéresser à l'analyse des croisements de caféiers à nombre chromosomique différent. C'est pourquoi ce problème a retenu fréquemment l'attention des spécialistes, tant en Indonésie [Cramer (31)] qu'en Inde [Narasimhaswamy (82)] et au Brésil, [Monaco & Carvalho (81)]. En Côte d'Ivoire l'exploitation faite par l'IFCC d'une certaine forme de croisement entre *C. arabica* et *C. canephora* a conduit à la création d'un nouveau caféier de grande culture, le type *Arabusta*, dont les caractéristiques sont déjà bien connues [Capot (15)]. Les croisements du type considéré ici unissent au départ deux parents, dont les garnitures diffèrent par le nombre chromosomique tout en présentant des éléments communs. *C. arabica* est un allotétraploïde spontané formé de deux génomes de onze chromosomes, dont l'un dérive du génome véhiculé par tous les *Coffea* diploïdes avec peu de variantes. Le second génome, dont il n'est pas possible de préciser l'origine dans l'état actuel des connaissances, présente des relations d'homéologie partielle avec le premier, ce qui range le caféier tétraploïde naturel *C. arabica* dans la catégorie des allotétraploïdes dits segmentaires [Kammacher & Capot (58), Grassias & Kammacher (49)]. L'utilisation d'hybrides entre le caféier d'Arabie et tout *Coffea* diploïde posera donc des problèmes d'ordre génétique et caryologique, dont il n'y avait pas lieu de se préoccuper au sujet de la catégorie de croisements étudiée ci-dessus. Les hybrides les mieux connus jusqu'ici dans le modèle nouveau mettent en présence de *C. arabica* la race *robusta* de *C. canephora*. La première génération peut s'obtenir de deux façons. Dans le premier cas le croisement direct produit un triploïde vigoureux, mais dont le potentiel de reproduction est à peu près nul par suite d'un appariement chromosomique très défectueux. On peut obtenir de cette plante par traitement à la colchicine un hexaploïde qui se prête à diverses manipulations expérimentales [Berthaud (6)], ce qui permettra d'en évaluer les applications possibles. D'autre part il est maintenant bien connu que les autotétraploïdes artificiels de *C. canephora* donnent par croisement avec *C. arabica* des F_1 à très forte vigueur hybride et productives malgré un déséquilibre chromosomique assez marqué. C'est sur ce principe que l'IFCC a organisé en Côte d'Ivoire un important programme expérimental consacré à la synthèse des *Arabusta*, qui, obligatoirement propagés par voie végétative, seront exploités en culture de basse altitude pour la production d'un café technologiquement supérieur au type *robusta* [Capot (15)].

Tout en restant dans le cadre de l'utilisation pratique de la vigueur hybride de ces F_1 interspécifiques multipliées végétativement, on peut améliorer la formule par une sélection dans le parent autotétraploïde ainsi que par le choix du géniteur *arabica*, car on a constaté que le facteur de l'aptitude spécifique à la combinaison joue un rôle très important dans la valeur d'adaptation des *Arabusta* obtenus. Une action conjointe ORSTOM-IFCC conduit actuellement des recherches sur ces possibilités d'obtenir par paliers de nouvelles combinaisons satisfaisantes d'hybrides tétraploïdes F_1 à partir de géniteurs *arabica* et *robusta*. Au Brésil, on a entrepris d'étudier les utilisations possibles de ce matériel hybride au-delà de la génération F_1 . Les populations qui en descendent directement perdent la vigueur hybride propre à la première génération et se montrent très hétérogènes avec une majorité de ségré-gants sans valeur économique. Par contre on a obtenu à Campinas par rétrocroisements successifs depuis des hybrides de cette nature, faisant appel à la variété commerciale Mundo Novo, une population de caféiers remarquable par sa productivité et sa résistance à la plupart des races de rouille orangée [Monaco & Carvalho (81)]. On a aussi remarqué que ce groupe de plantes, appelé maintenant Icatu, est une source précieuse de gènes de résistance à l'antracnose des baies et aux nématodes des racines du caféier [Carvalho *et al.* (19)]. Van der Vossen (103) rapporte que, comme l'Icatu du Brésil, les premières générations rétrocroisées des croisements interspécifiques *arabica* × tétraploïde *robusta* effectués au Kenya transportent des gènes majeurs de résistance à l'antracnose des baies provenant de certains clones de l'espèce diploïde.

Il est donc bien établi que les hybrides entre *C. arabica* et un *canephora* autotétraploïde ont d'autres usages possibles que l'exploitation industrielle de croisements F_1 . Ils peuvent aussi servir d'intermédiaire pour infiltrer par la méthode des croisements de retour du matériel génétique de l'espèce diploïde à l'espèce tétraploïde. Il est possible que par un caprice de la nature un processus semblable ait conduit spontanément à l'apparition du célèbre hybride de Timor (10), dont il serait intéressant de mieux connaître la structure génétique, car il s'agit d'une lignée de caféier tétraploïde parvenue à la stabilité tout en faisant montre d'introgression.

Les preuves continuent donc de s'accumuler du fait que la recombinaison de gènes d'espèces de *Coffea* à nombre chromosomique varié est possible. Les quelques exemples précédents pourraient servir de base à une généralisation de l'emploi en caféiculture de variétés améliorées obtenues par hybridation entre le caféier d'Arabie et des *Coffea* diploïdes. Il est évident que *C.*

canephora n'est pas la seule espèce diploïde à accepter le croisement par *C. arabica*. On a obtenu des hybrides entre cette plante et des diploïdes tels que les *C. eugenioides*, *congensis* ou *kapakata*, et en Inde le croisement de l'espèce tétraploïde de caféier par *C. liberica* a servi de point de départ à d'importants travaux de sélection [Narasimhaswamy (83)]. Sur le modèle de l'*Arabusta* on pourrait par conséquent procéder à la synthèse de nombreuses formes de caféiers tétraploïdes formés de l'association du génome de *C. arabica* et de celui d'un *Coffea* rendu autotétraploïde, qu'il s'agisse d'un taxon dûment reconnu ou d'un hybride artificiel. Ces plantes seront utilisables, soit sous la forme de croisements industriels comme les *Arabusta*, soit comme point de départ du transfert à des cultivars *arabica* de propriétés héréditaires extraites des caféiers diploïdes.

En fait, il existe d'innombrables possibilités de manipuler des combinaisons d'hybrides tétraploïdes de caféiers centrées sur *C. arabica*, et le champ d'action offert à la recombinaison dans les générations avancées de ce matériel est illimité. De plus, l'expérience acquise dans l'exploitation d'autres hybrides interspécifiques de plantes supérieures (croisement blé-seigle, hybrides d'espèces de cotonniers, etc...) peut guider l'organisation de travaux de cytogénétique consacrés à la fabrication de caféiers à nombre chromosomique différent, ving-deux ou quarante-quatre.

Les généticiens disposent donc dorénavant des moyens d'obtenir au niveau tétraploïde chez *Coffea* une variabilité dépassant très largement les ressources naturelles de l'espèce *C. arabica*. Là encore la multiplication végétative permettra de vulgariser les progrès génétiques obtenus dans les cas où le matériel hybride ne pourrait se prêter aux systèmes de sélection appropriés à l'autogamie. Pour prendre la mesure de l'appui que peut apporter l'ingénierie génétique à la caféiculture dès à présent, il suffit de considérer le progrès économique que représente l'*Arabusta* créé en Côte d'Ivoire à l'initiative de l'IFCC [Capot (15)]. Ce caféier restera le symbole de la première tentative réussie d'obtention de caféiers tétraploïdes exploitables aux basses altitudes. L'information génétique groupée ici dans une structure synthétique s'exprime sous la forme d'un heureux compromis entre les qualités complémentaires de *C. arabica* (goût à la tasse, teneur en caféine faible) et du caféier *robusta* (aptitude à croître en faible altitude, bonne résistance à des parasites importants). On peut espérer qu'un tel point de départ ouvrira la voie à la fabrication toujours plus fructueuse de nouveaux caféiers polyploïdes par croisements d'espèces, selon les procédures évoquées plus haut.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Comme l'a très justement fait remarquer Harlan (53), l'histoire des civilisations a toujours été liée à l'évolution des plantes cultivées, mais l'import-

tance que revêt ce phénomène pour l'humanité n'est appréciée à sa pleine valeur que de nos jours, c'est-à-dire au moment où s'écroule le système de variabilité

naturelle des végétaux domestiqués qu'avait si bien décrit Vavilov (103) et où se raréfient les ressources végétales d'un monde où le présent ne cesse d'éliminer les reliques du passé. Le même auteur considère comme hautement probable la disparition d'ici quelques décades de toute trace de co-évolution entre l'espèce humaine et le monde des plantes cultivées, car les formes archaïques de ces dernières ne seront bientôt plus que des pièces de collection au même titre que les objets d'art provenant des civilisations éteintes.

Il est donc bien compréhensible que des généticiens fondent des espoirs sur la mutagenèse artificielle et sur les progrès de la biologie moléculaire des plantes supérieures pour recréer de la variabilité génétique chez certaines espèces utiles particulièrement menacées d'appauvrissement [Jain (55)]. Cependant, toute action permettant de sauvegarder et d'augmenter les ressources génétiques des plantes utiles revêtira désormais une importance de premier plan pour le bien de l'humanité. A ce point de vue, les plantes des régions intertropicales bénéficient encore d'un statut privilégié par rapport à celles qui ont dû évoluer dans les régions holarctiques [Lorougnon Guédé (69)]. En effet, ces espèces n'ont jamais eu à subir d'épisodes climatiques graves dans leur passé évolutif et ont pu accumuler longuement d'immenses potentialités génétiques, qui sont toujours disponibles dans la mesure où l'homme ne s'est pas encore employé à créer les conditions de leur destruction par démantèlement du milieu où elles prospéraient. La domestication n'a concerné qu'un nombre limité de plantes des tropiques et ces dernières n'avaient jamais subi de pression sévère de sélection du fait de l'homme jusqu'à ce qu'advienne l'ère de leur amélioration scientifique, vieille de quelques décennies seulement. L'application à un matériel végétal hautement diversifié de systèmes méthodiques de sélection et de croisement a connu de grands succès. L'épi géant des maïs hybrides actuels n'a plus rien de commun avec celui des maïs sauvages qui existent encore (*Zea mays* var. *mexicana*). La sélection a permis de faire passer la longueur de l'épi chez certains millets (*Pennisetum americanum*) de quelques centimètres à plus de deux mètres. Les cultivars de sorgho, courts de tige et à grosse panicule dense, ressemblent bien peu à ces *Sorghum* sauvages dont la panicule lâche est portée par une tige pouvant atteindre quatre mètres de haut. Or les races perfectionnées créées récemment chez ces quelques plantes tropicales restent capables de se croiser et d'échanger des gènes avec les plantes sauvages chez lesquelles se sont perpétuées leurs structures génétiques ancestrales, et ces exemples pourraient être multipliés [Harlan (53)]. C'est bien grâce aux énormes progrès de la sélection chez les plantes cultivées (et chez les animaux domestiques), associés à la rénovation des techniques culturales, qu'est devenu possible le nouveau départ actuel de l'agriculture des pays chauds. Il est donc important en amélioration des plantes tropicales d'explorer les potentialités génétiques des plantes spontanées qui s'apparentent de plus ou moins près aux végétaux cultivés et peuvent leur communiquer leurs propriétés par hybridation. Cette source de diversité génétique est à préserver et à étudier avec les plus grands soins, car les améliorations

qu'elle permet d'atteindre peuvent dépasser toutes les limites prévisibles. Par exemple certaines espèces de cotonniers sauvages dépourvues de fibre à usage textile possèdent des gènes qu'on peut transférer à des espèces cultivées par delà les barrières d'isolement reproducteur ; les gènes en question fonctionnent dans leur nouvel entourage en conférant au cultivar de cotonnier qui les transporte des propriétés supérieures de fibre [Kammacher (57)].

Il existe une opposition saisissante entre la pauvreté génique des caféiers du commerce et l'infinité des ressources potentielles des *Coffea* primitifs et sauvages. Le cas de ces plantes est éminemment favorable à l'organisation de recherches sur l'exploitation pratique d'une diversité stockée dans le cours d'une longue évolution. En effet le généticien dispose ici d'une collection très vaste de populations botaniquement voisines qui sont restées parfaitement ou presque complètement homoséquentielles tout en faisant preuve de profondes divergences génétiques, tant qu'il ne s'agit que des caféiers diploïdes. Contrairement à une tendance très générale de l'évolution progressive, l'isolement géographique de groupes de populations mendéliennes allogames et panmixtiques n'a pas ouvert la voie de façon systématique à l'isolement reproducteur. Le principe conceptuel nouveau à déduire de cet état de fait, dont on peut attendre des répercussions importantes sur les développements de l'amélioration des caféiers, est celui de l'ubiquisme chez les *Coffea* diploïdes d'une structure de onze chromosomes co-adaptés très faiblement remodelée par la spécialisation des populations divergentes. La spéciation saltationnelle ne s'est accomplie avec succès dans le genre *Coffea* qu'une seule fois en produisant l'allotétraploïde *C. arabica* dont la diversité des génotypes dans son environnement naturel n'a peut-être pas atteint une amplitude comparable à celle qu'on pressent chez les espèces diploïdes polytypiques. La structuration du genre *Coffea*, telle qu'on se la représente actuellement, suscitera nécessairement des réflexions sur le problème du maintien de l'ordre biologique chez les plantes supérieures. Il sera utile d'ouvrir une parenthèse à ce sujet.

Voici plusieurs décades déjà, Wright (107, 108) avait mis en lumière le fait que la subdivision territoriale d'une espèce en nombreuses colonies semi-isolées fournit les conditions les plus favorables au progrès évolutif. Il serait difficile d'en trouver des exemples plus démonstratifs que celui des *Coffea* diploïdes qui s'adonnent à ce processus, probablement depuis leur origine, avec un succès si remarquable sur le plan évolutif que les populations occupant des sommets adaptatifs différents n'ont pas éprouvé dans leur longue histoire le besoin d'opérer les regroupements étroitement intégrés de génotypes qui constituent les espèces biologiques, à quelques exceptions près. Mais si la recombinaison s'effectue sans contrainte à partir d'un appareil chromosomique pratiquement inaltérable, et si la sélection naturelle est un processus opportuniste et sans finalité, on voit mal comment est empêché dans les populations naturelles de caféiers diploïdes le foisonnement de génotypes disharmonieux. Il faut revenir ici à Dobzhansky, qui a conclu

son ouvrage magistral « Génétique du processus évolutif » (34) en soulignant que la sélection est beaucoup plus qu'un crible qui retient les mutants heureux et laisse filtrer les malheureux. Elle permet la formation de systèmes vivants qui seraient infiniment improbables si elle ne créait pas d'ordre à partir du hasard. Il est intéressant de constater que le principe suivant lequel la fluctuation est une source d'ordre biologique repose sur une base physicochimique, ce qui ressort très clairement des travaux récents de l'école du physicien Prigogine (87), grâce auxquels on doit considérer comme acquis que l'étude de la thermodynamique des processus irréversibles permet le rapprochement entre le principe d'évolution de la matière inanimée, relatif principalement à la dégradation et à la destruction des structures, et d'autre part le principe d'évolution biologique qui implique au contraire la création de structures en réponse aux contraintes éloignées de tout état d'équilibre qui règnent dans la biosphère. La découverte des structures dissipatives a été l'un des éléments fondamentaux de la liaison que la science est en voie d'établir entre l'équilibre thermodynamique et l'ordre biologique. C'est par cette voie qu'il est devenu possible d'interpréter le caractère autocatalytique de l'évolution biologique et l'émergence des stades prébiologiques, comme l'a fait Prigogine en rappelant la théorie d'Eigen. Il y a lieu, évidemment, de s'interroger sur le rôle des structures dissipatives dans le fonctionnement des êtres actuels, et Prigogine a déjà montré comment il est possible de rattacher à cette notion l'énergétique de la cellule vivante, l'activité rythmique d'un ensemble cellulaire (systèmes nerveux), ou des stades primitifs de différenciation cellulaire (agrégation des Acrasiales). La logique ne s'opposerait donc pas à ce qu'il puisse s'envisager que la thermodynamique du non-équilibre s'applique aussi à la multiplication de structures hautement ordonnées dans des milieux ouverts, telles que des populations de plantes supérieures en équilibre climacique.

Le genre *Coffea* pourrait constituer un matériel de choix en vue de l'étude des processus évolutifs chez des organismes supérieurs considérée sous l'aspect de la thermodynamique de la vie. De nouvelles recherches sont nécessaires pour approfondir les mécanismes déterministes et stochastiques qui assurent le maintien chez les populations de caféiers diploïdes de faciès relativement homogènes en dépit d'un polymorphisme génétique considérable. Il deviendrait sans doute possible d'établir à propos de ce matériel une connexion entre des structures biologiques et des propriétés de non-équilibre. Par exemple, l'efficacité de la sélection de groupe non suivie d'isolement reproducteur chez ces plantes s'expliquerait peut-être en termes de formation continue de nouvelles structures dissipatives se substituant successivement les unes aux autres. Une discontinuité s'est introduite dans l'évolution phylétique des *Coffea* avec le passage à la tétraploïdie. Tous les caféiers connus à quarante-quatre chromosomes sont à ranger sans hésitation dans une seule espèce, *C. arabica*, chez laquelle ne peut se discerner aucune velléité d'évolution ultérieure analogue à la radiation spectaculaire des caféiers diploïdes. Faut-il voir là une illustration des théories qui veulent que les plantes

supérieures qui abandonnent l'allogamie deviennent les victimes d'une catastrophe évolutive [Stebbins (94)] ? Ce concept est probablement inadéquat au sujet d'une espèce telle que *C. arabica* dont on peut imaginer, qu'elle s'est dotée de systèmes homéostatiques génétiques qui sont en relation avec la pluralité de certains loci et les restrictions à l'allogamie sans que cela implique une quelconque diminution de valeur adaptative. En effet, il est absolument évident que dans son aire d'origine l'espèce est superbement adaptée à l'environnement et n'a pas besoin de rechercher des milieux plus cléments, au point que s'observe une propension peu courante pour une plante cultivée à recoloniser les associations végétales spontanées à partir des cultures abandonnées [Meyer (77, 78)]. Lorsqu'un sommet adaptatif aussi élevé est atteint, il suffit pour que la population s'y maintienne qu'une sélection normalisante la protège de l'apparition de variants inadaptés, et l'encouragement donné à l'autogamie par la nature chez les populations primitives de *C. arabica* ne peut que diminuer le risque du fardeau génétique. Comme on a tout lieu de le penser, ces plantes ont su retenir, tant qu'elles n'ont pas été soumises à une forte pression de domestication, suffisamment d'allogamie pour préserver leur variabilité génétique. Ici encore le genre *Coffea* peut constituer un point de rencontre entre la biologie et la thermodynamique dans les dimensions que cette dernière discipline a acquises sous l'impulsion de Prigogine. Ce chercheur affirme en effet que le concept d'homéostasie des biologistes s'apparente à la stabilité des états à production d'entropie minimum des physiciens, ce qui est un autre élément favorable à une application de la thermodynamique des phénomènes irréversibles à des problèmes biologiques.

En définitive le très grand intérêt du genre *Coffea* pour des recherches d'évolution biologique, dont une interprétation en termes de thermodynamique devient possible, réside dans le fait que ces plantes, qui forment un ensemble extraordinairement disparate, constituent une démonstration frappante de ce que Dobzhansky (34) considère comme une propriété fondamentale de la vie, à savoir une propension à augmenter en nombre et en masse et à envahir des environnements toujours nouveaux. Pour cet auteur, il existe deux stratégies possibles qui permettent une telle expansion : la stratégie de diversification et de spécialisation environnementale, et la stratégie de l'adaptabilité environnementale. Il se trouve que ces deux cas limites concevables sont venus à existence dans le genre de plantes supérieures qui nous intéresse ici. Le premier cas, de loin le plus répandu, est représenté par le groupe hétéroclite des caféiers diploïdes, tandis que le succès du second cas face à l'emprise de la sélection naturelle n'a été consolidé que dans le seul exemple de *C. arabica*. L'énorme variabilité qui s'était accumulée dans le cours d'un passé évolutif qui se compte en ères géologiques était encore intacte à l'époque toute récente de la première domestication du caféier, et une grande partie en a été dissipée, non du fait d'une érosion génétique, mais comme conséquence des défrichements qui perturbent les écosystèmes abritant des

populations de *Coffea*, comme nous le verrons plus loin. On peut cependant considérer le caféier comme l'une des plantes cultivées pour l'avenir desquelles la diversité est encore l'atout majeur et semble devoir apporter des ressources illimitées qu'il faut soigneusement étudier, décrire et conserver [Jain (55)]. Ce point de vue se justifie par la constatation que la caféiculture n'a encore exploité qu'une faible partie de la variabilité des *Coffea* diploïdes et tétraploïdes, dont il subsiste des peuplements spontanés ; de plus, les données de la génétique moderne fournissent de nouveaux moyens d'exploiter cette variabilité, en permettant notamment de réunir et de réassortir les potentialités d'espèces différentes.

Mais les voies très diverses qui s'ouvrent grâce aux progrès de la génétique à l'amélioration du caféier ne pourront être explorées de manière efficiente que dans la mesure où les chercheurs disposeront d'un échantillonnage assez représentatif des ressources biologiques encore disponibles dans le genre *Coffea*. Nous rejoignons ici un problème planétaire d'une brûlante actualité, celui des dispositions à envisager pour inventorier le patrimoine génétique de l'ensemble des plantes utiles et le perpétuer de façon adéquate en collection vivante. Les instances internationales ont fait de ce sujet l'une de leurs préoccupations permanentes, et nous ne saurions mieux faire ici sur le plan de la situation générale que de nous référer aux enquêtes approfondies qui ont été menées dans le monde entier de 1964 à 1974 sous l'égide du Programme Biologique International (45, 46). Parmi la vaste documentation issue de cette œuvre collective il y a lieu de mentionner les travaux de Marshall & Brown (73) sur la question de la stratégie de l'échantillonnage dans la conservation des réserves génétiques des plantes cultivées. Ces auteurs ont beaucoup insisté sur le fait que l'importance numérique du matériel biologique pouvant effectivement être manipulé dans un programme de conservation et d'utilisation de ressources génétiques végétales dépend de nombreux éléments qui peuvent être rangés sous les cinq rubriques qui sont désignées ci-dessous avec leurs relations d'interdépendance :

EXPLORATION



CLASSIFICATION → EVALUATION → UTILISATION



CONSERVATION

Selon le même concept on peut établir pour chaque type de culture une hiérarchie dans les composants de ce schéma, dont les plus contraignants déterminent l'étendue de l'échantillonnage approprié aux moyens matériels dont le programme envisagé dispose. Nous avons envisagé ci-dessus les préoccupations que soulèvent la classification, l'évaluation et l'utilisation des ressources génétiques du genre *Coffea*. Pour finir il faut insister sur les phases d'exploration et de conservation de ces ressources, car c'est là que se rencontrent les facteurs les plus limitants.

Il existe des collections de races et d'espèces de *Coffea* qu'entretiennent divers jardins botaniques et stations de recherche agronomique, dans lesquelles on peut trouver les bases d'une organisation de « banques de gènes » conçues de manière à alimenter constamment des recherches sur la génétique et l'amélioration des formes utiles du genre. Mais l'échantillonnage que représentent ces collections est souvent insuffisamment représentatif, et il est urgent de le compléter par l'exploration des réserves génétiques des caféiers dans la nature. Or ces réserves sont généralement constituées par des populations de plantes de faible effectif, éparées et difficiles à localiser. Les collecteurs de caféiers sauvages sont donc souvent obligés pour organiser leurs prospections de consulter les indications géographiques des grands herbiers mondiaux, qui ont recueilli d'anciens spécimens de *Coffea*. On peut légitimement supposer qu'en dépit du travail de prospection déjà réalisé, certaines populations de caféiers n'ont pas pu être suffisamment enregistrées, tandis que d'autres auront totalement échappé à la mise en collection et à l'inventaire des ressources génétiques du genre.

Fort malheureusement il est vain d'espérer pouvoir compter longtemps encore sur la prospection des caféiers spontanés *in situ* pour enrichir le capital des banques de gènes. En effet l'habitat favori des caféiers spontanés est constitué par des formations forestières climaciques, dont la destruction s'étend au fur et à mesure des défrichements qui vont en s'accroissant d'année en année dans les régions concernées. On

estimait récemment que la proportion des forêts détruites est des quatre cinquièmes à Madagascar [Charrier (21)] et des sept huitièmes en Ethiopie [Mengesha (76)]. A moins que des mesures ne soient prises pour la préservation de certains écosystèmes africains et malgaches abritant des *Coffea* (ce qui pourrait être coordonné avec des programmes de préservation de la nature tels que des réserves intégrales, des parcs nationaux, etc...), la très longue histoire de l'évolution spontanée des caféiers connaîtra bientôt sa fin, car ces plantes ne peuvent survivre à la détérioration de leur biotope. Il est donc urgent de tout mettre en œuvre pour la sauvegarde des ressources génétiques cofféennes en voie d'extinction. On sait l'importance des efforts qui ont déjà été accomplis dans ce sens au sujet de la conservation des ressources génétiques de *C. arabica* et des caféiers malgaches, ce dont il a été fait état plus haut. Le même travail est en cours d'accomplissement à propos des *Eucoffea* grâce à la coopération de l'IFCC et de l'ORSTOM (7, 9). Pour en revenir à l'aspect international que revêtent ces problèmes, il faut insister sur le fait qu'un des résultats les plus importants de divers symposiums, tables rondes et autres réunions a été le lancement de centres de ressources génétiques, situés dans des régions de haute variabilité de plantes cultivées, qui

seraient consacrés à la préservation d'un ou de plusieurs genres d'intérêt local. Il existe déjà à Izmir (Turquie) un centre régional pour six pays dont les résultats sont probants. A la suite de ce premier pas, la FAO s'est proposée de sensibiliser les nations à l'idée de la création d'un réseau coopératif international regroupant et coordonnant les activités des institutions qui s'occupent de sauvegarder, de conserver, d'évaluer et de redistribuer les ressources génétiques des plantes utiles [Frankel (44)]. La nécessité d'une collaboration internationale dans ces domaines à propos du caféier a été parfaitement démontrée par les résultats remarquables de l'œuvre collective de recherche sur la possibilité de lutter génétiquement contre *Hemileia vastatrix* [Rodrigues (92)], grâce auxquels la production de *C. arabica* en Amérique tropicale a pu se maintenir à un niveau élevé malgré l'invasion récente de la rouille orangée. C'est désormais à tous les aspects de la sauvegarde et de l'utilisation des ressources génétiques du genre *Coffea* que devrait s'étendre la coopération internationale, par l'utilisation judicieuse du sursis accordé à ces ressources dans les conditions naturelles. Comme l'affirmait récemment Jain (55), nous devrions de toute urgence sauver les ressources du règne végétal, car il s'agit d'un patrimoine indispensable ; c'est la responsabilité primordiale de notre génération.

BIBLIOGRAPHIE

1. L. AKE ASSI. — Esquisse générale de la flore de Côte d'Ivoire. *Boissiera* (Genève), **24**, 543-549 (1976).
2. L. AKE ASSI. — Les caféiers spontanés de l'Afrique de l'Ouest. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 359-363 (1977).
3. R.W. ALLARD, S.K. JAIN, P.L. WORKMAN. — The genetics of inbreeding populations. *Advances in genetics* (New York), **14**, 55-125 (1968).
4. D. AMADON. — The superspecies concept. *Syst. zool.* (Lawrence), **15**, 245-249 (1966).
5. F. AYALA. — Variation génétique et évolution. *La Recherche* (Paris), **8**, 736-744 (1977).
6. J. BERTHAUD. — Caractéristiques comparées des hybrides interspécifiques triploïdes et hexaploïdes *Coffea arabica* L. x *C. canephora* Pierre. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 393-397 (1977).
7. J. BERTHAUD, J.L. GUILLAUMET, M. LOURD. — Mission de prospection au Kenya. Rapport multigraph. Orstom, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire (1977).
8. J. BERTHAUD, F. BERTHOU. — Analyse de la variabilité naturelle des caféiers diploïdes. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 385-391 (1977).
9. J. BERTHAUD, J.-L. GUILLAUMET, D. LE PIERRES, M. LOURD. — Les prospections des caféiers sauvages et leur mise en collection, 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 365-372, (1977).
10. A.J. BETTENCOURT. — Considerações gerais sobre o « Híbrido de Timor ». Instituto Agronômico, Campinas, Circular n° 23 (1973).
11. J. BOUHARMONT. — Recherches sur les affinités chromosomiques dans le genre *Coffea*. Publ. INEAC Série Scientif. **77** (1959).
12. J. BRAUDEAU, H.R. CAMBRONY, J. CAPOT, P. DUBLIN, C. ETASSE, C. FOURY. — Les principes de la sélection des caféiers Canephoroïdes et Liberio-Excelsoïdes. IFCC, Bull. n° 5 (1963).
13. N. BRÜCHER. — Gibt es Genzentren ? *Naturwissensch.* (Heidelberg), **56**, 77-84 (1968).
14. J. CAPOT. — Le caféier *robusta* dans la cuvette centrale congolaise. *Bull. inform. INEAC*, **11**, 33-40 (1962).
15. J. CAPOT. — Obtention et perspectives d'un nouvel hybride de caféier en Côte d'Ivoire, l'Arabusta. 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, p. 449-457 (1975).
16. J. CAPOT. — L'amélioration du caféier Robusta en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), **21**, 233-244 (1977).
17. H.L. CARSON, F.E. CLAYTON, H.D. STALKER. — Karyotype stability and speciation in Hawaiian *Drosophila*. *Proceed. Nat. Acad. Science USA*, **57**, 1280-1285 (1967).
18. A. CARVALHO. — Genetics of *Coffea*. XXIV. Mutantes de *Coffea arabica* procedentes de Ethiopia. *Bragantia* (São Paulo), **18**, 353-371 (1959).

19. A. CARVALHO, F.P. FERWERDA, J.A. FRAHM-LELIVELD, D.M. MEDINA, L.C. MONACO. — Coffee (*Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre-ex Froehner). In: Outlines of perennial crop breeding in the tropics (H. Veerman & Zonen N.V., Wageningen) (1969).
20. A. CHARRIER. — Contribution à l'étude génétique des *Mascarocoffea*. 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, pp. 483-495 (1975).
21. A. CHARRIER. — Les structures génétiques des caféiers spontanés de la région malgache (*Mascarocoffea*) et leurs relations avec les caféiers d'origine africaine. Thèse Doct. Univ. Paris-Sud (Orsay) (1977).
22. A. CHARRIER. Synthèse de neuf années d'observation et d'expérimentation sur les *Coffea arabica* collectés en Ethiopie par une mission Orstom. In Bulletin IFCC (Paris), n° 14, sept. 1978, 4-10.
23. A. CHARRIER, J. BERTHAUD. — Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), **19**, 251-264 (1975).
24. A. CHEVALIER. — Les plantations de café au Congo Belge, leur histoire (1881-1935), leur importance actuelle. *Rev. Bot. appl. Agric. Trop.* (Paris), **17**, 66-68 (1937).
25. A. CHEVALIER. — Les caféiers du globe. Fasc. II. Iconographie des caféiers sauvages et cultivés. P. Lechevalier, Paris (1942).
26. A. CHEVALIER. — Les caféiers du globe. Fasc. III. Systématique des caféiers et faux caféiers. Maladies et insectes nuisibles. P. Lechevalier, Paris (1947).
27. A. CICCARONE. — Considerazioni sulla presenza e sul comportamento della rugima del caffè il alcune ragione del Galla e Sidama. *L'Agric. Colon.*, **34**, 112-115 (1940).
28. D. CLAUSEN, D. KECK, W.M. HIESEY. — Experimental studies on the nature of species. II. Plant evolution through amphiploidy and autopoloidy, with examples from the *Madiinae*. Carnegie Inst., Washington. Publ. n° 564 (1945).
29. L. CORDIER. — Les objectifs de la sélection caféière en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), **5**, 147-159 (1961).
30. R. COSTE. — Les caféiers et les cafés dans le monde (3 tomes) Larose, Paris (1955).
31. P.J.S. CRAMER. — A review of literature of coffee research in Indonesia. Interamerican Institute of Agricultural Science. Turrialba, Costa Rica (1957).
32. Y. DEMARLY. — Amélioration du café liée aux progrès génétiques. 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, pp. 423-435 (1975).
33. Y. DEMARLY. — Génétique et amélioration des plantes. Masson, Paris (1977).
34. T. DOBZHANSKY. — Génétique du processus évolutif. Nouv. Bibl. Scient. Flammarion, Paris (1977).
35. J. DORESSE. — L'Ethiopie : du XVI^e siècle à nos jours. *Courrier CNRS* (Paris), n° 20, 27-37 (1976).
36. P. DUBLIN. — L'amélioration du caféier Robusta en République Centrafricaine : dix années de sélection clonale. *Café Cacao Thé* (Paris), **11**, 101-138 (1967).
37. FAO. — The world coffee economy. Commodity Bulletin Series 33, London (1961).
38. FAO. — Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965. Roma (1968).
39. L.M. FERNIE. — Coffee breeding programmes in East Africa. Multigr. In Reunión internacional sobre mejoramiento genético del café (con énfasis a la resistencia a la roya). San José, Costa Rica, 23-26 de Mayo de 1977.
40. F.P. FERWERDA. — Coffee breeding in Java. *Econ. Bot.* (Baltimore), **2**, 258-272 (1948).
41. F.P. FERWERDA. — A Tentative breeding method for *robusta* and other allogamous coffee species. *Euphytica* (Wageningen), **3**, 12-19 (1954).
42. E.B. FORD. — Ecological genetics. Methuen, London (1964).
43. O.H. FRANKEL. — Genetic resources survey as a basis for exploration. In Crop genetic resources for to-day and to-morrow (cf ref. n° 46), pp. 99-109 (1975).
44. O.H. FRANKEL. — Genetic resources centres — a co-operative global network. In Crop genetic resources for to-day and to-morrow (cf ref. n° 46), pp. 473-481 (1975).
45. O.H. FRANKEL, E. BENNETT (eds). — Genetic resources in plants, their exploration and conservation. IBP Handbook n° 11. Blackwell, Oxford and Edinburgh (1970).
46. O.H. FRANKEL, J.W. HAWKES (eds). — Crop genetic resources for to-day and to-morrow. IBP n° 2. Cambridge Univ. Press, London (1975).
47. R. FRESSANGES. — La sélection du caféier en Côte d'Ivoire. *Bull. Scient. Fr. d'Outre-Mer*, **5**, 223-231 (1954).
48. M. FUCHS. — Die geographische Verbreitung des Bohnenkaffees. Van Veit, Leipzig (1886).
49. M. GRASSIAS, P. KAMMACHER. — Observations sur la conjugaison chromosomique de *C. arabica*. *Café Cacao Thé* (Paris), **19**, 177-190 (1975).
50. J.L. GUILLAUMET, F. HALLE. — Etude sur la variabilité de *Coffea arabica* dans son aire d'origine. Rapport multigr. Orstom, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire (1967).
51. J.L. GUILLAUMET, G. MANGENOT. — Aspects de la spéciation de la flore malgache. *Boissiera* (Genève), **24**, 119-123 (1975).
52. J.L. HAMRICK, R.W. ALLARD. — Microgeographical variation in allozyme frequencies in *Avena barbata*. *Proceed. Nat. Acad. Science USA*, **69**, 2100-2104 (1972).
53. J.R. HARLAN. — Geographic patterns of variation in some cultivated plants. *Jour. Hered.* (Washington), **66**, 182-191 (1975).
54. H.E. JACOB. — L'épopée du café. Ed. du Seuil, Paris (1953).
55. S.K. JAIN. — Les ressources génétiques des plantes. *La Recherche* (Paris), **8**, 1067-1077 (1977).
56. Jimma Research Station Progress Reports, Institute of Agricultural Research, Addis-Ababa, Ethiopia (1971-1974).
57. P. KAMMACHER. — Etude des relations caryologiques et génétiques entre génomes voisins du genre *Gossypium*. Thèse Doct. Univ. Paris (Orsay) (1965).
58. P. KAMMACHER, J. CAPOT. — Sur les relations caryologiques entre *Coffea arabica* et *Coffea canephora*. *Café Cacao Thé* (Paris), **16**, 289-294 (1972).
59. C.A. KRUG, A. CARVALHO. — The genetics of *Coffea*. *Adv. in genetics* (New York), **4**, 128-158 (1951).
60. H. KUCKUCK. — Vavilov's gene centre theory as seen to-day. Rep. Eucarpia Conf. Paris, pp. 177-196 (1962).
61. A.J. KUPZOW. — Basic loci in cultivation of certain crops in the past and modern times. *Theoret. and applied genet.* (Berlin), **48**, 209-215 (1976).
62. C. LANAUD. — Données sur les possibilités de restauration de fertilité d'hybrides interspécifiques entre caféiers malgaches et africains et sur la variabilité observée dans une descendance issue de backcross. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 411-416 (1977).

63. J. LEBRUN. — Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo. Publ. INEAC hors-série (1941).
64. J. LEON. — Intravarietal hybridisation in *Coffea arabica* work carried out at Turrialba, Costa Rica. First Session Technical Working Party on Coffee Production and Protection. Working Paper Ce 165/5 (1964).
65. J.F. LEROY. — Recherches sur les Caféiers, sur la classification biologique des Caféiers et sur l'aire du genre *Coffea*. *Cptes Rend. Acad. Sci.* (Paris), **265**, 1043-1045 (1967).
66. J.F. LEROY. — Réflexions sur l'évolution naturelle et l'évolution artificielle des ressources végétales : le cas des *Coffea*. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.* (Bruxelles), **41**, 53-67 (1971).
67. D.A. LEVIN. — Genic heterozygosity and protein polymorphism among local populations of *Oenothera biennis*. *Genetics* (Austin), **79**, 477-491 (1975).
68. R.C. LEWONTIN. — The genetic basis of evolutionary change. Columbia Univ. Press, New York (1974).
69. J. LOROUGNON GUÉDÉ. — Quelques aspects de l'utilisation de la biologie végétale pour le développement des pays de l'Afrique intertropicale. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 327-333 (1977).
70. J. LOUARN. — Les hybrides entre *Coffea canephora* Pierre et *C. eugenioides* Moore. Exemple de croisements entre espèces de *Coffea* diploïdes africains pour l'amélioration qualitative des cafés produits en « basse altitude ». 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 407-410 (1977).
71. G. LUCOTTE. — Le polymorphisme biochimique et les facteurs de son maintien. Masson, Paris (1977).
72. G. MANGENOT. — Une nouvelle carte de la végétation de Côte d'Ivoire. *Mitteil. der botan. Staatsamml. München* (München), **10**, 116-121 (1971).
73. D.R. MARSHALL, A.H.D. BROWN. — Optimum sampling strategies in genetic conservation. In *Crop genetic resources for to-day and to-morrow* (cf ref. n° 46), pp. 53-80 (1975).
74. E. MAYR. — Animal species and evolution. Belknap, Cambridge (1963).
75. E. MAYR. — Populations, espèces et évolution. Hermann, Paris (1974).
76. M.H. MENGESHA. — Crop germplasm diversity and resources in Ethiopia. In *Crop genetic resources for to-day and to-morrow* (cf ref. n° 46), pp. 449-453 (1975).
77. F.G. MEYER. — Notes of wild *Coffea arabica* from southwestern Ethiopia, with some historical considerations. *Econ. Bot.* (Baltimore), **19**, 136-151 (1965).
78. F.G. MEYER. — Further observations on the history and botany of the Arabica coffee plant, *Coffea arabica* L., in Ethiopia. In *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965* (cf ref. n° 38), pp. 1-5 (1968).
79. L.C. MONACO. — Considerations on the genetic variability of *Coffea arabica* populations in Ethiopia. In *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965* (cf ref. n° 38), pp. 49-69 (1968).
80. L.C. MONACO, A. CARVALHO. — Coffee breeding for leaf rust resistance. 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, pp. 437-445 (1975).
81. L.C. MONACO, A. CARVALHO. — Coffee genetics and interspecific hybridization. 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, pp. 497-504 (1975).
82. R.L. NARASIMHASWAMY. — Report on a visit to coffee areas in Ethiopia 1964-1965. In *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965* (cf ref. n° 38), pp. 33-48 (1968).
83. R.L. NARASIMHASWAMY, S. VISHVESHWARA. — Report on hybrids between some diploid species of *Coffea* L. *Indian Coffee* (Bangalore), **25**, 104-109 (1961).
84. B. d'OLIVEIRA. — Advances in coffee production technology. Selection of coffee types resistant to the *Hemileia* leaf rust. *Coffee and Tea Industries*, **81**, n° 11, 112-120 (1958).
85. d'OLIVEIRA, C.J. RODRIGUES Jr. — A survey of the problem of coffee rusts. II. Screening for resistance to *Hemileia vastatrix* of *Coffea arabica*. Junta de Exportação de Café, Lisboa, Portugal, multigraph. (1960).
86. R. PORTÈRES. — Etudes sur les caféiers spontanés de la section des *Eucoffea*. *Ann. Agr. Afrique Occident.*, **1**, 68-91, 219-263, 405-439 (1937).
87. I. PRIGOGINE, P. GLANSDORFF. — L'écart à l'équilibre interprété comme une source d'ordre. Structures dissipatives. *Bull. Acad. Roy. Belgique* (Bruxelles) (Classe des Sciences) **LIX**, 672-702 (1973).
88. J.W. PURSEGLOVE. — The spread of tropical crops. In *The genetics of colonizing species*. E.G. BAKER & G.L. STEBBINS eds, Academic Press, New York, pp. 375-389 (1965).
89. J.W. PURSEGLOVE. — Tropical Crops. Vol. II. Dicotyledons. Longmans, Greens & Co, London (1968).
90. C.M. RICK. — Pollination relations of *Lycopersicon esculentum* in native and foreign regions. *Evolution* (Lawrence), **4**, 110-122 (1950).
91. C.J. RODRIGUES Jr. — The coffee rusts: *Hemileia vastatrix* B. & Br. and *Hemileia coffeicola* Maub. & Rog. 7^e Colloque Scientifique International sur le Café, Hambourg, pp. 401-408 (1975).
92. C.J. RODRIGUES Jr. — International cooperation for research on coffee rust: ways of encouraging nations in a useful and communal project. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, pp. 537-538 (1977).
93. N.W. SIMMONDS. — Variability in crop plants. Its use and conservation. *Biol. Rev.* (Londres), **37**, 422-465 (1962).
94. G.L. STEBBINS. — Self-fertilization and population variability in the higher plants. *Amer. Natur.* (Lancaster), **91**, 337-354 (1967).
95. H. von STRENGE. — Wild coffee in Kaffa province in Ethiopia. *Trop. Agric.* (Londres), **33**, 297-301 (1956).
96. J. SYBENGA. — Genetics and Cytology of Coffee. *Bibliogr. Genetica* (La Haye), **19**, 217-316 (1960).
97. P.G. SYLVAIN. — Some observations in *Coffea arabica* L. in Ethiopia. *Turrialba*, Costa Rica, **5**, 37-53 (1955).
98. P.G. SYLVAIN. — Ethiopian coffee. Its significance to world coffee problems. *Econ. Bot.* (Baltimore), **12**, 111-139 (1958).
99. F. THIRION. — Vingt années d'amélioration de la culture du caféier robusta à Yangambi. *Bull. inform. INEAC*, **1**, 321-356 (1952).
100. A.S. THOMAS — The wild arabica coffee in the Boma Plateau, Anglo-Egyptian Sudan. *Empire Jour. Exp. Agr.* (Londres), **10**, 207-212 (1942).
101. Turrialba: The coffee germplasm collection of Turrialba. *Turrialba*, (Costa Rica), **2**, 3-4 (1974).
102. G. VALLAEYS. — L'amélioration du café robusta. *Bull. inform. INEAC*, **5**, 27-37 (1956).
103. N.I. VAVILOV. — The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chron. bot.*, **13**, 1-366 (1950).
104. P. VERNET. — Analyse génétique et écologique de la

variabilité de l'essence de *Thymus vulgaris* L. (Labiée). Thèse Doct. Univ. Sci. & Tech. du Languedoc, Montpellier (1976).
105. H.A.M. Van der VOSSSEN. — Breeding for resistance to coffee berry disease in Kenya. 8^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, p. 507-508 (1977).
106. F.L. WELLMANN. — Coffee, Botany, Cultivation and Utilization. Leonard Hill, London (1961).

107. S. WRIGHT. — Evolution in Mendelian populations. *Genetics* (Austin), **16**, 97-159 (1931).
108. S. WRIGHT. — The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution. P. VIth Intern. Congr. Genetics, **I**, 356-366 (1932).

KAMMACHER (P.). — **Utilisation des ressources génétiques du genre *Coffea* pour l'amélioration des caféiers cultivés.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 335-357, réf.

KAMMACHER (P.). — **Utilisation of the genetic resources of the genus *Coffea* for the improvement of cultivated coffee trees.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 335-357, réf.

La plupart des plantes cultivées ont acquis leur structure génétique actuelle en subissant une longue domestication, qui a graduellement remodelé les assemblages de gènes très diversifiés de peuplements végétaux naturels retenus par des agricultures primitives. Il n'en a pas été ainsi pour les caféiers dont les deux principales espèces, *Coffea arabica* et *C. canephora*, n'ont rejoint le cortège des plantes utiles qu'à la période historique. Il s'agit de végétaux supérieurs où quelques cycles de sélection permettent d'obtenir des cultivars à partir de populations spontanées. Les circonstances de la colonisation des grandes régions productrices de café ont été telles que la variabilité génétique inhérente aux centres d'origine botanique des espèces précitées n'a été que très faiblement exploitée jusqu'à ce jour. Les pools géniques qui ont réellement servi depuis deux siècles et demi à l'expansion des caféiers de grande culture étaient beaucoup trop restreints pour pouvoir constituer un échantillonnage représentatif de leurs populations d'origine. Fort heureusement, les progrès récemment accomplis dans la connaissance systématique et génétique des *Coffea* offrent des perspectives très élargies à l'amélioration des caféiers d'utilité économique.

On a recensé dans le genre *Coffea sensu stricto* une centaine d'espèces morphologiques qu'on s'accorde à répartir en trois sous-ensembles fondamentaux : *Eucoffea* (2n), *Mascarocoffea* (2n) et *C. arabica* (4n), selon des données phylogénétiques récentes. On peut admettre que les caféiers diploïdes aient eu comme point de départ de leur diversification une population ancestrale allogame s'étant détachée de *Paracoffea* en Afrique Centrale pour essaimer dans des directions variées en nappes plus ou moins étendues. Les processus évolutifs qui ont conduit les populations isolées de *Coffea* à acquérir leurs particularités morphologiques n'ont pu aller jusqu'à créer des espèces biologiques faisant preuve d'isolement reproducteur absolu ou de restructuration chromosomique accusée. Les groupes diploïdes de *Coffea* qui sont encore homoséquentiels dans une très large mesure forment un vaste continuum génétique dans lequel la coupure la plus perceptible est la divergence qui commence à s'installer entre les caféiers africains et malgaches. Les populations spontanées d'*Eucoffea* et de *Mascarocoffea* semblent avoir adopté la sélection

Most of the cultivated plants acquired their present genetic structure through a long domestication, which gradually reshaped the very diverse assemblies of genes of the natural plant populations used in primitive agriculture. This, however, was not the case as regards coffee trees, as the two principal species of which, *Coffea arabica* and *C. canephora*, did not become part of the range of useful plants until the beginning of historical times. They are higher plants for which a few breeding cycles enable cultivars to be obtained from wild populations. The circumstances under which the great coffee-producing regions were colonised were such that the genetic variability inherent in the centres of botanical origin of the above mentioned species has been exploited only to a very limited extent up to the present. The genetic pools which, for two and a half centuries, had in fact served to extend coffee culture on a large scale, were much too limited to constitute a representative sample of the original population. Very fortunately, the progress recently made in the systematic and genetic knowledge of *Coffea* opened up very large possibilities for the improvement of coffee trees of economic importance.

Some hundred morphological species of the genus *Coffea sensu stricto*, have been recorded and, by agreement, they have been divided into three fundamental sub-divisions : *Eucoffea* (2n), *Mascarocoffea* (2n), and *C. arabica* (4n), on the basis of recent phylogenetic data. It can be accepted that the diploid coffee trees had, as a common starting point of their diversification, an allogamous ancestral population which had detached itself from *Paracoffea* in Central Africa to spread in various directions on more or less extensive areas. The evolutionary processes which led the isolated populations of *Coffea* to acquire their morphological particularities, were not able to proceed as far as creating biological species, showing absolute population isolation or a marked chromosomal restructurization. The diploid groups of *Coffea* which are still homoséquential to a very large extent form a vast genetic continuum in which the most perceptible break is the divergence which began to establish itself between African and Malagasy coffee trees. The wild populations of *Eucoffea* and *Mascarocoffea* seem to have adopted balanced heterotic breeding as the basis of their evolutionary strategy. The

hétérotique équilibrée comme base de leur stratégie évolutive. La structuration du genre *Coffea* confère donc aux caféiers diploïdes une très grande variabilité apparente ou latente, dont l'amélioration des plantes peut retirer des bénéfices considérables en exploitant les populations sauvages par sélection et hybridation intra et inter-populations, les génotypes économiquement supérieurs étant propagés par voie végétative.

D'autre part la tendance à l'élévation du nombre chromosomique s'est cristallisée dans le genre *Coffea* sous la forme naturelle de la seule espèce tétraploïde *C. arabica*, qui s'est dotée de traits originaux : adaptation à l'altitude et reproduction par autogamie prépondérante, tout en préservant sa norme adaptative par homéostasie génétique. Il n'en reste pas moins que la variabilité que recèlent les formes primitives éthiopiennes du caféier d'Arabie est sans commune mesure avec celle du matériel exploité en Amérique tropicale, dont l'uniformité est la conséquence de la très faible diversité génétique des représentants de l'espèce ayant constitué le noyau fondateur au XVIII^e siècle. L'analyse des populations de l'aire d'origine, rendue possible par les prospections récentes, a déjà fait bénéficier la caféiculture d'un apport de nouveaux gènes utiles, ce qui a notamment permis de développer la création de cultivars de *C. arabica* résistants à la rouille orangée et à l'antracnose des baies. A côté de l'exploitation de la variabilité au sein de l'espèce, l'amélioration du caféier pourra aussi utiliser chez *C. arabica* l'homéologie d'une partie de la garniture chromosomique vis-à-vis du génome commun à tous les caféiers diploïdes. Parmi les nombreuses possibilités qui s'offrent à l'utilisation chez *Coffea* des croisements d'espèces, l'aptitude à la combinaison très remarquable entre *C. arabica* et les autotétraploïdes qu'on sait obtenir à partir d'autres espèces est un phénomène dont l'utilisation en amélioration des plantes est promise à un bel avenir. D'ores et déjà le tétraploïde synthétique *C. arabica* x *C. canephora* 4n a dépassé le stade du laboratoire et fait l'objet d'une application agronomique, sous les versions de l'Arabusta en Côte d'Ivoire et de l'Icatu au Brésil. L'étendue des variations qui pourront être faites de ce thème, en remplaçant dans de tels assemblages *C. canephora* par tout autre caféier diploïde, est illimitée.

Bien qu'il subsiste des points obscurs, la connaissance du genre *Coffea* a progressé récemment à un point tel que l'ensemble de ses ressources génétiques peut désormais être mis au service de l'amélioration du caféier, qui ne s'était appuyée jusqu'ici que sur une fraction de la variabilité de deux espèces. Le caféier, en dépit des apparences, court beaucoup moins le risque de tomber dans l'uniformité génétique que d'autres plantes cultivées de domestication plus ancienne et dont les centres de diversifications sont frappés d'érosion génétique. Pour les *Coffea*, la diversité génétique, garante des possibilités de perfectionnement variétal, reste un atout majeur de l'avenir de la caféiculture. Les précieuses ressources génétiques que la nature abrite encore dans ce domaine doivent être soigneusement sauvegardées, décrites et conservées pendant qu'il en est temps.

En effet, le défrichement des forêts africaines et malgaches, qui a pris une ampleur alarmante, conduira inéluctablement à l'extinction de la plupart des stations de caféiers sauvages qui ont pu jusqu'à présent échapper à la destruction. La sauvegarde d'un patrimoine végétal aussi important pour l'humanité est un devoir primordial de notre génération, dans l'accomplissement duquel un renforcement de la coopération internationale apparaît souhaitable.

structurization of the genus *Coffea* thus confers a very great apparent or latent variability to diploid coffee trees, from which considerable benefit can be derived in the improvement of the plants by making use of the wild populations by intra and interpopulation breeding and hybridization, the economically more favourable genotypes being propagated vegetatively.

In addition, the tendency for the chromosomal number to rise has crystallized out in the genus *Coffea* in the natural form of a single tetraploid *C. arabica* species with new traits : adaptation to altitude and reproduction preponderantly by autogamy, while preserving its adaptative capability by genetic homeostasis. Nevertheless, the variability possessed by the primitive Ethiopian forms of the Arabian coffee tree is not at all comparable with that of the material used in tropical America, the uniform nature of which being the consequence of the very small genetic diversity in the representatives of the species which constituted the founder nucleus in the XVIIIth century.

An analysis of the populations of the area of origin, made possible by recent surveys, has already benefited coffee culture by contributing new useful genes to it, which in particular has enabled cultivars of *C. arabica* resistant to orange rust and coffee berry disease to be created. Beside making use of the variability within the species, the homeology of a part of the chromosomal complement as regards the genome common to all diploid coffee trees could also be used in *C. arabica* for the improvement of coffee tree. Among the numerous possibilities offered by crossing species in *Coffea*, the very remarkable capability of *C. arabica* and the autotetraploids to combine which can be achieved starting from other species, is a phenomenon which has a great future in the improvement of plants. Already now the synthetic tetraploid *C. arabica* x *C. canephora* 4n has gone beyond the laboratory stage and has been used in one application in agronomy in the form of Arabusta in Ivory Coast and Icatu in Brazil. The extent of the variations on this theme, which could be obtained by replacing *C. canephora* in such assemblies by any other diploid coffee tree is unlimited.

Although some obscure points still remain, the knowledge of the genus *Coffea* has progressed recently to such a point that the total of its genetic resources can henceforth be exploited for the improvement of the coffee tree, which until now had been based only on a fraction of the variability of two species. The coffee tree, despite appearances, runs very much less risk of becoming genetically uniform than other earlier domesticated cultivated plants and whose diversification centres were affected by genetic erosion. As regards *Coffea*, genetic diversity, which provides the possibilities of varietal improvement is a major trump card in coffee culture of the future. The valuable genetic resources which nature still harbours in this field must be carefully safeguarded, described and preserved while there is still time.

Thus, the clearance of African and Malagasy forests which has taken on alarming proportions, will inevitably lead to the extinction of most of the wild coffee tree areas which so far have escaped destruction. Safeguarding a plant heritage, which is so important to humanity, is a paramount duty of our generation, but this requires international cooperation to be strengthened.

LES CAFÉIERS SPONTANÉS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

L. AKÉ ASSI

Centre National de Floristique
Université d'Abidjan

Dans l'état actuel de nos connaissances, à la suite des recherches effectuées ces dernières années sur le terrain et dans les grands herbiers (au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, France, au British Museum de Londres et à l'Herbarium du Royal Botanic Gardens de Kew, Angleterre), le genre *Coffea* Linn. « *sensu lato* » comprend cinquante-quatre espèces*, réparties dans le monde comme suit :

Afrique intertropicale	32
Madagascar et îles adjacentes	9
Indonésie	7
Inde et Sri Lanka (Ceylan)	3
Asie du Sud-Est	3
	<hr/>
	54

Ce sont des plantes ligneuses, arbustes ou lianes, toutes paléotropicales.

Le continent africain, avec ses trente-deux espèces, dépassant de loin les autres parties de l'ancien monde, paraît être le berceau du genre *Coffea*.

En effet, le premier caféier décrit, *Coffea arabica* Linn. est originaire d'Éthiopie où il croît spontanément sur les hauts plateaux, entre 1.500 et 2.000 m d'altitude. C'est donc à tort et paradoxalement que l'auteur de l'identification de cette espèce lui a attribué le nom de *Coffea arabica*.

Il est pourtant incontestable que dans les débuts de l'histoire de l'humanité, le caféier a été introduit en Arabie (peut-être en même temps que les esclaves). Il a d'ailleurs été décrit plus tard comme étant originaire du pays (caféier d'Arabie).

La première description du caféier est due à Antoine de Jussieu. Il le décrit en 1713 comme un Jasmin, sans doute à cause de l'aspect extérieur de la fleur et de son parfum similaires à ceux de cette Oléacée. Il l'appela alors *Jasminum Arabicum, Lauri folio, cujus semen apud nos café dicitur*, ce qui signifie littéralement : Jasmin d'Arabie à feuilles de Laurier et dont la graine nous est connue sous le nom de café.

En réalité, les spécimens-types qui servirent à la diagnose d'Antoine de Jussieu étaient originaires

d'Arabie Saoudite, mais issus de caféiers cultivés, provenant des plantations de la région de Jabal Faïfa situées entre 500 et 2.000 m d'altitude.

En 1735, observant de près le Jasmin d'Antoine de Jussieu, P. Linné constata que celui-ci possédait cinq étamines au lieu de deux comme les vrais jasmins et que bien d'autres caractères propres à la famille des Oléacées lui faisaient défaut. Il créa le genre *Coffea* (Rubiacees) dans lequel il classa l'unique espèce d'alors, *Coffea arabica* Linn., à présent cultivée dans toutes les régions humides et chaudes du monde et devenue de ce fait pantropicale.

Parmi les autres caféiers sauvages africains, seul *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, plus communément appelé « caféier robusta » a pu, grâce aux efforts des chercheurs, être sélectionné, amélioré et largement vulgarisé. En effet, c'est actuellement le caféier le plus répandu en Afrique occidentale et ailleurs sur le continent. On le rencontre dans toutes les plantations, traditionnelles ou industrielles, à travers toutes les zones productrices de café.

En Côte d'Ivoire, dans le cadre de l'amélioration de la production caféière, et dans celui des préoccupations du Ministère de la Recherche Scientifique, l'équipe de chercheurs que dirige J. Capot (IFCC) a mis au point, conjointement avec l'ORSTOM et la Faculté des Sciences d'Abidjan, une technique qui a permis la création d'un nouvel hybride de caféier : *Coffea* × *arabica* Capot et Aké Assi. Issu du croisement entre *Coffea arabica* Linn. et *C. canephora* Pierre ex Froehner (*C. robusta*), ce caféier, plus gros producteur, est en voie d'expansion, grâce à la SATMACI**, en Côte d'Ivoire et au-delà de nos frontières.

Les autres caféiers, tels *Coffea humilis*, *C. liberica*, *C. stenophylla* et *C. togoensis*, respectivement originaires de Côte d'Ivoire, du Libéria, de la Sierra Leone et du Togo, susceptibles d'être améliorés sont actuellement étudiés par l'IFCC à Bingerville et à Divo. Dans la même optique, des prospections ont été effectuées par l'IFCC et l'ORSTOM, en Éthiopie en 1966, en Empire Centrafricain en 1975 et en Afrique de l'Est en 1976. Les plants rapportés au cours de ces différentes explorations, notamment ceux de *Coffea congensis*, *C.*

(*) Ces chiffres, émanant en partie des relevés d'herbiers, ne présentent qu'une estimation approximative.

(**) Société d'Assistance Technique pour la Modernisation Agricole de la Côte d'Ivoire.

Tableau I. — Répartition de caféiers dans l'Ouest africain

Espèces	Afrique de l'Ouest											Autres Pays d'Afrique				
	Ile Cap Vert	Sénégal	Guinée	Sierra Leone	Libéria	Côte d'Ivoire	Haute Volta	Ghana	Togo	Bénin	Nigeria		Cameroon	Fernando Po		
<i>Coffea afzeli</i> Hiern					●	+										Zaïre
<i>Coffea arabica</i> Linn.					C	C										●
<i>Coffea x arabusta</i> Capot et Aké Assi						●										
<i>Coffea brevipes</i> Hiern																
<i>Coffea canephora</i> Pierre ex. Froehner					+											Zaïre
<i>Coffea carriassoi</i> A. Chev.																+ , C
<i>Coffea congensis</i> Froehner																Angola
<i>Coffea ebracteolata</i> (Hiern) Brenan					+											ECA, Zaïre
<i>Coffea eketensis</i> Wenham					+											+
<i>Coffea eugenioides</i> S. Moore																+
<i>Coffea gilgiana</i> Froehner																+
<i>Coffea humilis</i> A. Chev.																Angola
<i>Coffea kivuensis</i> Lebrun																
<i>Coffea lebruniana</i> Germain et Kesler																Zaïre
<i>Coffea lembini</i> (A. Chev.) Keay																Zaïre
<i>Coffea liberica</i> Bull ex Hiern																
<i>Coffea ligustroides</i> S. Moore																+ , C
<i>Coffea macrochlamys</i> K. Schum.																+
<i>Coffea mayumbensis</i> A. Chev.																
<i>Coffea melanocarpa</i> Welw. ex Hiern																
<i>Coffea nufindensis</i> Hutch. ex A. Chev																Angola
<i>Coffea oyemensis</i> A. Chev.																Angola
<i>Coffea pulchella</i> K. Schum.																+
<i>Coffea racemosa</i> Lour.																●
<i>Coffea rupestris</i> Hiern																+
<i>Coffea spathicalyx</i> K. Schum.																Zaïre
<i>Coffea stenophylla</i> G. Don																+
<i>Coffea subcordata</i> Hiern																+ , C
<i>Coffea swynnertonii</i> S. Moore																Zaïre
<i>Coffea togoensis</i> A. Chev.																+
<i>Coffea welwitschii</i> Pierre ex de Wild.																
<i>Coffea zanguebariae</i> Lour.																Angola

C = Cultivé ; ● = Pays d'origine des spécimens-types observés ; + = Présent.

eugenioides, *C. racemosa*, etc..., sont en cours de domestication à la station de l'IFCC de Divo.

Les trente-deux espèces de caféiers que compte l'Afrique sont le plus souvent localisées dans le massif forestier. Toutefois, *Coffea eketensis* est le seul caféier sauvage qui se développe dans la savane et que l'on rencontre souvent dans les boqueteaux et autour des dômes rocheux. La plante est quelquefois saxicole ou orophile et alors xérophytique.

En Afrique occidentale, dix-sept espèces sont réparties de la Guinée au Cameroun de l'Ouest.

On ne signale la présence de caféiers spontanés ni au Sénégal ni au Mali. Mais il est probable que des

prospections futures permettront de découvrir dans ces pays la présence de *Coffea eketensis*.

Les onze espèces existant en Côte d'Ivoire sont réparties dans les divers types forestiers ; elles sont surtout concentrées en forêt dense humide semi-décidue où on les rencontre soit isolément soit par petits peuplements, comme *Coffea canephora*.

Bien que les Etats de l'Amérique tropicale soient de grands producteurs de café, aucun manuel de floristique ne mentionne la présence de caféiers spontanés. De même, les ouvrages de botanique ne font état d'aucune présence de caféiers sauvages en Océanie.

Tableau II. — Répartition écologique des caféiers présents en Côte d'Ivoire

Espèces	Stations						
	1	2		3	4	5	6
		a	b				
<i>Coffea afzelii</i> Hiern	+						
<i>Coffea arabusta</i> Capot et Aké Assi							+
<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner		+		+	+		
<i>Coffea ebracteolata</i> (Hiern) Brenan					+		
<i>Coffea eketensis</i> Wernham						+	
<i>Coffea humilis</i> A. Chev.			+		+		
<i>Coffea lemblini</i> (A. Chev.) Keay				+			
<i>Coffea liberica</i> Bull. ex Hiern			+		+		
<i>Coffea rupestris</i> Hiern	+	+	+	+			
<i>Coffea spathicalyx</i> K. Schum.				+			
<i>Coffea stenophylla</i> G. Don				+			

1 - Forêt dense humide sempervirente

2 - Forêt dense humide à *Eremospatha* et à *Diospyros manni* :

a - Secteur de Grand-Lahou (= Conopharyngion)

b - Secteur Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire

3 - Forêt dense humide semi-décidue

4 - Forêts submontagnardes de la région de Man-Danané

5 - Espèce saxicole ou orophile

6 - Hybride artificiel

BIBLIOGRAPHIE

1. A. AUBRÉVILLE. — 1959. Les *Coffea*, Flore Forestière de la Côte d'Ivoire : tome III, p. 290.
2. J. CAPOT. — 1972. L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire : les hybrides « Arabusta ». *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVI, janv.-mars, n° 1, p. 3-18.
3. J. CAPOT, B. DUPAUTEX, A. DURANDEAU. — 1968. L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire : duplication chromosomique et hybridation. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XII, avril-juin, n° 2, p. 114-126.
4. J. CAPOT, L. AKE ASSI. — 1974. Un nouveau caféier hybride de Côte d'Ivoire. *Bull. de l'I.F.A.N.*, tome XXXVI, sér. A, n° 4, p. 900.
5. J. CAPOT, L. AKE ASSI. — 1975. Un nouveau caféier hybride de Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIX, janv.-mars, n° 1, p. 3-4.
6. A. CHEVALIER. — 1943. Le café de nos colonies. Conférence du 24 mai 1943, Publication de l'O.R.S.C., p. 41.
7. A. CHEVALIER. — 1947. Les caféiers du globe. Encyclopédie Biologique, fasc. III, Lechevalier (Paris), 357 p.

8. R. COSTE. — 1955. Botanique et systématique du caféier. In : Les Caféiers et les Cafés dans le Monde, tome I, p. 15. Ed. Larose (Paris).
9. R. COSTE. — 1968. Le caféier. Techniques Agricoles et Productions Tropicales, XIV, Ed. Maisonneuve et Larose (Paris), 310 p.
10. J. L. GUILLAUMET. — 1975. Position systématique et nomenclature du genre *Coffea* et des genres voisins. Mise au point bibliographique. Document de travail, Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.
11. F. N. HEPPER. — 1963. Hutchinson et Dalziel. Flora of West Tropical Africa, Ed. 2, vol. II, p. 152.
12. J. LEBRUN. — 1941. Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo. *Mémoires de l'Institut Royal Colonial Belge*, Section des Sciences Naturelles et Médicales, tome XI.

Tableau III. — Liste alphabétique des caféiers (*Coffea* spp.) du monde

Espèces	Pays					
	Afrique intertropicale	Madagascar et îles adjacentes	Indonésie	Inde et Sri Lanka	Asie du Sud-Est	Amérique tropicale
<i>Coffea afzelii</i> Hiern	•					
<i>Coffea arabica</i> Linn.	•	C	C	C	C	C
<i>Coffea</i> x <i>arabusta</i> Capot et Aké Assi	Hybride art.					
<i>Coffea baviensis</i> Drake					+	
<i>Coffea bengalensis</i> Roxb.			•	+	+	
<i>Coffea brachyphylla</i> Radlk.		+				
<i>Coffea brevipes</i> Hiern	•					
<i>Coffea campaniensis</i> J.F. Ler.		+				
<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner	•	C	C	C		C
<i>Coffea capuronii</i> J.F. Ler.		+				
<i>Coffea carrissol</i> A. Chev.	+					
<i>Coffea congensis</i> Froehner	+					
<i>Coffea crassifolia</i> Gamble				+		
<i>Coffea ebracteolata</i> (Hiern) Brenan	•					
<i>Coffea eketensis</i> Wernham	•					
<i>Coffea eugenioides</i> S. Moore	+					
<i>Coffea fragrans</i> Wall. ex Hook. f.				+	+	
<i>Coffea gilgiana</i> Froehner	+					
<i>Coffea humblotiana</i> Baill.			+			
<i>Coffea humilis</i> A. Chev.	•					
<i>Coffea jenkinsii</i> Hook. f.			+	+		
<i>Coffea khasiana</i> Hook. f.			+	+		
<i>Coffea kivuensis</i> Lebrun	+					
<i>Coffea lebruniana</i> Germain et Kesler	+					
<i>Coffea lemblini</i> (A. Chev.) Keay	•					
<i>Coffea liberica</i> Bull ex Hiern	•	C	C	C	C	C
<i>Coffea ligustroides</i> S. Moore	+					
<i>Coffea macrocarpa</i> A. Rich.		+				
<i>Coffea macrochlamys</i> K. Schum.	•					
<i>Coffea madurensis</i> Teijsm. et Binn.			+		+	
<i>Coffea malayana</i> Ridley			+			
<i>Coffea mauritiana</i> Lam.		+				
<i>Coffea mayumbensis</i> A. Chev.	+					
<i>Coffea melanocarpa</i> Welw. ex Hiern	+					
<i>Coffea merguensis</i> Ridley					+	
<i>Coffea nufindiensis</i> Hutch. ex A. Chev.	+					
<i>Coffea oyemensis</i> A. Chev.	+					
<i>Coffea perrieri</i> Drake ex Jumelle et Pierre		+				
<i>Coffea pervilleana</i> Drake		+				
<i>Coffea pulchella</i> K. Schum.	•					
<i>Coffea racemosa</i> Lour.	+					
<i>Coffea rupestris</i> Hiern	•					
<i>Coffea spathicalyx</i> K. Schum.	•					
<i>Coffea stenophylla</i> G. Don	•		C			
<i>Coffea subcordata</i> Hiern	•					
<i>Coffea sundana</i> Miq.			+			
<i>Coffea swynnertonii</i> S. Moore	+					
<i>Coffea tetragona</i> Jumelle et Perrier		+				
<i>Coffea togoensis</i> A. Cherv.	•					
<i>Coffea travancorensis</i> Wight et Arn.				+		
<i>Coffea uniflora</i> K. Schum.			+			
<i>Coffea welwitschii</i> Pierre ex de Wild.	+					
<i>Coffea wightiana</i> Wall.				+		
<i>Coffea zanguebariae</i> Lour.	+					

C = Cultivé ; • = Pays d'origine des spécimens-types observés ; + = Présent.

AKÉ ASSI (L.). — **Les caféiers spontanés de l'Afrique de l'Ouest.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 359-363, tabl., réf.

Le genre *Coffea* Linn., paléotropical, comprend dans le monde, environ cinquante-quatre espèces qui sont des plantes ligneuses, arbustes ou lianes.

Le continent africain, avec ses trente-deux espèces, dépassant de loin les autres parties de l'ancien monde, paraît être la patrie de ce genre de Rubiacée, où les différentes espèces se partagent le massif forestier qu'elles débordent rarement, exceptée *Coffea eketensis* Wernham.

L'Afrique occidentale abrite dix-sept espèces réparties de la République de Guinée au Cameroun.

Quant à la Côte d'Ivoire, il existe dans ses différents types forestiers, onze espèces de caféiers, surtout concentrées en forêt dense humide semi-décidue, où on les rencontre soit isolément, soit par petits peuplements, comme *Coffea canephora* Pierre ex Froehner.

Il n'existe de caféiers sauvages, ni dans les Etats d'Amérique tropicale, ni en Océanie.

AKÉ ASSI (L.). — **Spontaneous coffees in West Africa.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 359-363, tabl., réf.

Coffea Linn., a paleotropical genus, includes in the world about fifty-four species which are ligneous plants, shrubs or lianas.

The African continent, with thirty-two species, outnumbered the other parts of the old world, and seems to be the home-land of this genus of Rubiaceae. The different species share out the forest mountain and rarely spread out, except *Coffea eketensis* Wernham.

Western Africa includes seventeen species which are distributed from Guinea to Cameroons.

Ivory Coast counts in its different forest types, eleven species of coffees, most often concentrated in rain semi-deciduous forest. They are found either separately or in little stands, as *Coffea canephora* Pierre ex Froehner.

There is no wild coffees, either in tropical America or in Oceania.

LES PROSPECTIONS DES CAFÉIERS SAUVAGES ET LEUR MISE EN COLLECTION

J. BERTHAUD, J.-L. GUILLAUMET, D. LE PIERRES, M. LOURD

ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire*

INTRODUCTION

Le genre *Coffea*, au sens de J.-F. Leroy (**), comprend actuellement une soixantaine d'espèces plus ou moins bien connues et de valeurs inégales exclusivement représentées en Afrique (20), à Madagascar (41), aux Comores (1) et Mascareignes (5). Les genres voisins présentant entre autres caractères la même placentation cofféenne sont africains (*Psilanthus* avec trois, quatre espèces et *Psilanthopsis*, une espèce) ou paléotropical (*Paracoffea*, dix-neuf espèces nommées d'Afrique, de Madagascar et d'Asie).

Les espèces du genre *Coffea*, qui semblent offrir le plus d'intérêt pratique, se classent en deux grands ensembles établis sur des caractères morphologiques et biogéographiques : *Mascarocoffea* de la Région floristique malgache et pratiquement dépourvu de caféine et *Eucoffea* en Afrique tropicale avec des teneurs en

caféine de 0,5 à plus de 4 %. Ce dernier sous-genre est lui-même scindé en cinq groupes basés sur des caractères du même ordre par A. Chevalier. Cette systématique ne présente pas qu'un aspect nomenclatural, mais met en évidence la réalité de la richesse génétique du genre *Coffea* aux caractéristiques d'adaptation et aux propriétés très variables d'une espèce à l'autre.

Les caféiers sauvages sont rigoureusement inféodés aux formations forestières des plus humides aux plus sèches, des basses altitudes aux formations de montagnes ; à Madagascar, où le genre a atteint le maximum de diversification, chaque type de forêt a son espèce de *Coffea*.

L'utilisation par l'homme des espèces de *Coffea* a varié de l'une à l'autre. Certaines furent et sont encore quelquefois récoltées à l'état sauvage : *C. congensis*, *C. liberica*, *C. racemosa*. Quelques autres ont été mises en cultures localement et, le plus souvent, à partir de plantes récoltées à l'état naturel, comme il est de règle dans le sud-ouest de l'Éthiopie pour *C. arabica* : ce sont *C. racemosa*, qui connaît un certain succès au Mozambique, le caféier de la Nana en Centrafrique ou d'autres maintenant abandonnées : *C. stenophylla*, *C.*

(*) B.P. V51, Abidjan.

(**) Leroy (J. F.), 1967. — Recherches sur les caféiers, sur la classification biologique des caféiers et sur l'origine et l'aire du genre *Coffea*. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 265, 1043-1045.

humilis, *C. congensis*, *C. liberica*. Vers la fin du siècle dernier et au début du vingtième, des essais multiples de mise en culture d'espèces africaines ont été faits : *C. liberica*, *C. stenophylla*, *C. canephora* et de leurs formes et variétés. Elles connurent des fortunes diverses, seul *C. canephora* (le « robusta ») subsistait et pouvait entrer en concurrence avec le *C. arabica*. Celui-ci, originaire d'une zone restreinte d'Ethiopie, cultivé depuis des temps très anciens, a connu un succès foudroyant et son extension actuelle recouvre pratiquement toute la zone intertropicale de moyenne altitude. Seuls *C. arabica* et *C. canephora* ont réellement atteints le statut de plantes domestiques avec leur mise en culture de type intensif et une sélection répondant à des besoins précis.

Cette sélection sévère a entraîné un appauvrissement génétique, d'autant plus rapide et intense que le stock de départ est généralement réduit ; la situation extrême

se trouve dans l'espèce *C. arabica* dont toute la culture en Amérique du sud est établie à partir de quelques graines parvenues dans ces pays après un transport qui ne fut pas sans péripéties.

Pour augmenter les potentialités génétiques d'espèces cultivées ou pour s'approprier des potentialités nouvelles dans le cas d'espèces non exploitées, il est nécessaire de récolter du matériel dans les aires de dispersion naturelle. Disposant d'un capital de départ important, les formes à retenir pourront être plus librement choisies et la création de types nouveaux encore possible.

C'est ainsi que depuis plusieurs années IFCC et ORSTOM, en liaison avec d'autres structures scientifiques, tel le Muséum national d'histoire naturelle de Paris, et en accord avec les autorités gouvernementales intéressées, ont mené des prospections de différentes espèces de *Coffea* dans leur aire d'origine.

MÉTHODOLOGIE

La préparation de la prospection et sa conduite tiennent à la nature du matériel : il s'agit de plantes pérennes de sous-bois en populations généralement dispersées et de taille souvent réduite ; la principale difficulté reste le repérage des populations naturelles en forêt.

Les herbiers internationaux (Kew, Meise, Paris) aussi bien que nationaux (Nairobi, Abidjan, Tananarive) fournissent des renseignements de premier ordre : lieux de récolte, habitat, phénologie, etc. A partir de ces premières informations il est possible de dresser un itinéraire général, où les localités connues ne sont que des points de repère puisque d'une façon très générale seuls des échantillons en fleurs ou portant des fruits ont été collectés par les botanistes et que beaucoup de stations ont disparu ou ont été transformées.

Les prospections tendent d'abord à explorer toute l'aire de répartition potentielle des différentes espèces dans un même pays selon un réseau à mailles lâches de façon à déterminer ensuite, en collection, les « nœuds de variabilité » et refaire des recherches plus intensives dans les zones retenues pour leur intérêt essentiel.

L'échantillonnage à l'intérieur des populations suit un schéma constant afin de posséder en collection une image aussi exacte que possible de la population prospectée. Le matériel comprend une représentation des arbres adultes (boutures), des jeunes arbres (boutures, plants) et des plantules. Dans la mesure du

possible, des graines sont récoltées. Le sauvetage et la multiplication du matériel font appel aux différentes techniques de la multiplication végétative, greffage et bouturage. Des méthodes plus classiques de collecte, herbier, fruits, graines, sont évidemment pratiquées.

Les notations faites lors de la prospection doivent porter sur le maximum de caractéristiques de l'arbre en place et sur ses relations avec le milieu : végétation environnante, données écologiques, parasites observés sur la plante considérée et les espèces voisines, structure de la population, variabilité apparente. Ces informations, si elles ne peuvent donner qu'une image instantanée des populations et de leurs relations avec le milieu, n'en sont pas moins très utiles et demandent le plus grand soin.

Cependant, pour mieux connaître ces populations, leurs dynamiques, les contraintes écologiques et les équilibres hôtes-parasites, des populations monospécifiques (*C. humilis*) ou plurispécifiques (*C. stenophylla*, *C. canephora*, *C. liberica*) soigneusement repérées en Côte d'Ivoire (Man, Taï, Divo) sont suivies régulièrement. Enfin on notera tout particulièrement l'intérêt apporté aux genres voisins de *Coffea*.

L'expérience acquise au cours des missions successives nous amène à préconiser, comme valorisant au maximum le travail de prospection, une équipe réunissant un botaniste, un généticien et un phytopathologiste.

Tableau I. — Nombre d'espèces du genre *Coffea* et des genres voisins par pays (Afrique et Région malgache)

	Guinée	Sierra Leone	Libéria	Côte d'Ivoire	Ghana	Togo	Dahomey	Nigeria	Cameroon	Fernando Pô	Gabon	Congo	Zaire	Centrafrique	Cabinda	Soudan	Angola	Ouganda	Ethiopie	Tanzanie	Zanzibar	Kenya	Rwanda	Mozambique	Afrique du Sud	Rhodésie
<u>Coffea</u>																										
<u>C. canephora</u>	+			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+				
<u>C. arabica</u>																										
<u>C. congensis</u>																										
<u>C. liberica</u>																										
<u>C. klainii</u>																										
<u>C. oyemensis</u>																										
<u>C. stenophylla</u>																										
<u>C. carissol</u>																										
<u>C. mayombensis</u>																										
<u>C. humilis</u>																										
<u>C. brevipes</u>																										
<u>C. togoensis</u>																										
<u>C. schumanniana</u>																										
<u>C. eugenioides</u>																										
<u>C. kivuensis</u>																										
<u>C. van rochoudtii</u>																										
<u>C. nufdiensis</u>																										
<u>C. zanguebariae</u>																										
<u>C. racemosa</u>																										
<u>C. ligustroides</u>																										
<u>C. salvatrix</u>																										
<u>Paracoffea</u>																										
<u>P. ebracteolata</u>																										
<u>P. lebruniana</u>																										
<u>P. melanocarpa</u>																										
<u>Psilanthopsis</u>																										
<u>P. kapakata</u>																										
<u>Psilanthus</u>																										
<u>P. manni</u>																										
<u>P. ledermannii</u>																										
<u>P. minor</u>																										
<u>P. ? sapini</u>																										

RÉSULTATS

Mascarocoffea: Madagascar, Mascareignes et Comores (1969-1973)

La connaissance des espèces du sous-genre *Mascarocoffea* a considérablement progressé dans ces dix dernières années. Presque tous les taxons décrits ont été mis en collection dans les stations d'Ilaka et de Kianjavato. Le nombre de génotypes ou de descendants est généralement restreint à quelques dizaines d'individus, parfois il ne s'agit que d'un clone. Exceptionnellement, ont été rassemblées des descendances importantes d'espèces présentant un intérêt certain : *C. homollei*, *C. mauritiana*, *C. humblottiana*.

Le travail d'A. Charrier « La structure génétique des caféiers spontanés de la région malgache (*Mascarocoffea*) ; leurs relations avec les caféiers d'origine africaine (*Eucoffea*) » fait le point de la connaissance actuelle.

L'inventaire systématique général est en cours de réalisation par J.-F. Leroy, Professeur au laboratoire de Phanérogamie du Muséum national d'histoire naturelle de Paris.

L'entretien des collections, leur étude et leur utilisation sont assurés par les organismes malgaches compétents.

Eucoffea: Afrique tropicale

Ethiopie (1966)

Objectifs

Coffea arabica essentiellement adapté aux conditions d'altitude était peu représenté en collections. Il s'agissait d'élargir la base génétique et de rechercher une meilleure adaptation de cette espèce en basse altitude.

La prospection s'est faite avec l'aide des spécialistes de l'Ethiopian Coffee Board délégués par le Ministère de l'Agriculture d'Ethiopie.

Résultats

Soixante lots de semences de *C. arabica* des provinces de Kaffa et d'Illubabor ont été récoltés et ensuite implantés en collection au Cameroun, à Madagascar et en Côte d'Ivoire (totalité de la collection réunie depuis 1968 à la Station de Man). Un double de la collection fut laissé à l'Ethiopian Coffee Board de Djimma. Quelques échantillons d'herbier ont été déposés au laboratoire de Phanérogamie du Muséum national d'histoire naturelle de Paris.

Centrafrique (1975)

Objectifs

Coffea congensis, parent putatif de *C. arabica* et un des géniteurs des hybrides « *congusta* ». Cette espèce, qui n'avait plus été récoltée depuis le début du siècle, était mal représentée en collection vivante.

On pouvait d'autre part s'attendre à trouver d'autres espèces du genre *Coffea* et des genres voisins ; la Centrafrique occupe en effet une place de choix, carrefour entre les éléments floristiques centre, est et ouest africains.

La prospection, accompagnée d'un spécialiste du Ministère de l'Agriculture Centrafricain, a porté essentiellement sur l'Oubangui de la frontière congolaise à Bangassou et sur le sud-ouest du pays.

Résultats

Coffea congensis, cent vingt-trois numéros en plusieurs populations de l'extrême sud du pays à Bangassou.

Coffea excelsa, différenciation orientale dans le groupe *liberica*, il pourrait être selon certains un progéniteur de *C. arabica* et quelques individus en rappellent le goût. Deux cent quatre-vingt-neuf numéros.

Coffea canephora, dix-huit numéros de l'extrême sud du pays.

Caféier de la Nana, « forme » particulière à caractère de *congensis* et de *canephora*. Vingt-sept numéros de la seule station de Ndongué.

Hybrides présumés, quatre numéros provenant de stations multispécifiques.

Genres voisins, trois numéros de *Psilanthus* et *Argocoffea*.

Implantation

Quatre cent soixante-quatorze numéros ont été rapportés en Côte d'Ivoire (Station IFCC de Divo) et un double laissé à la Station Agricole Centrafricaine de Boukoko. Echantillons d'herbier déposés à Paris.

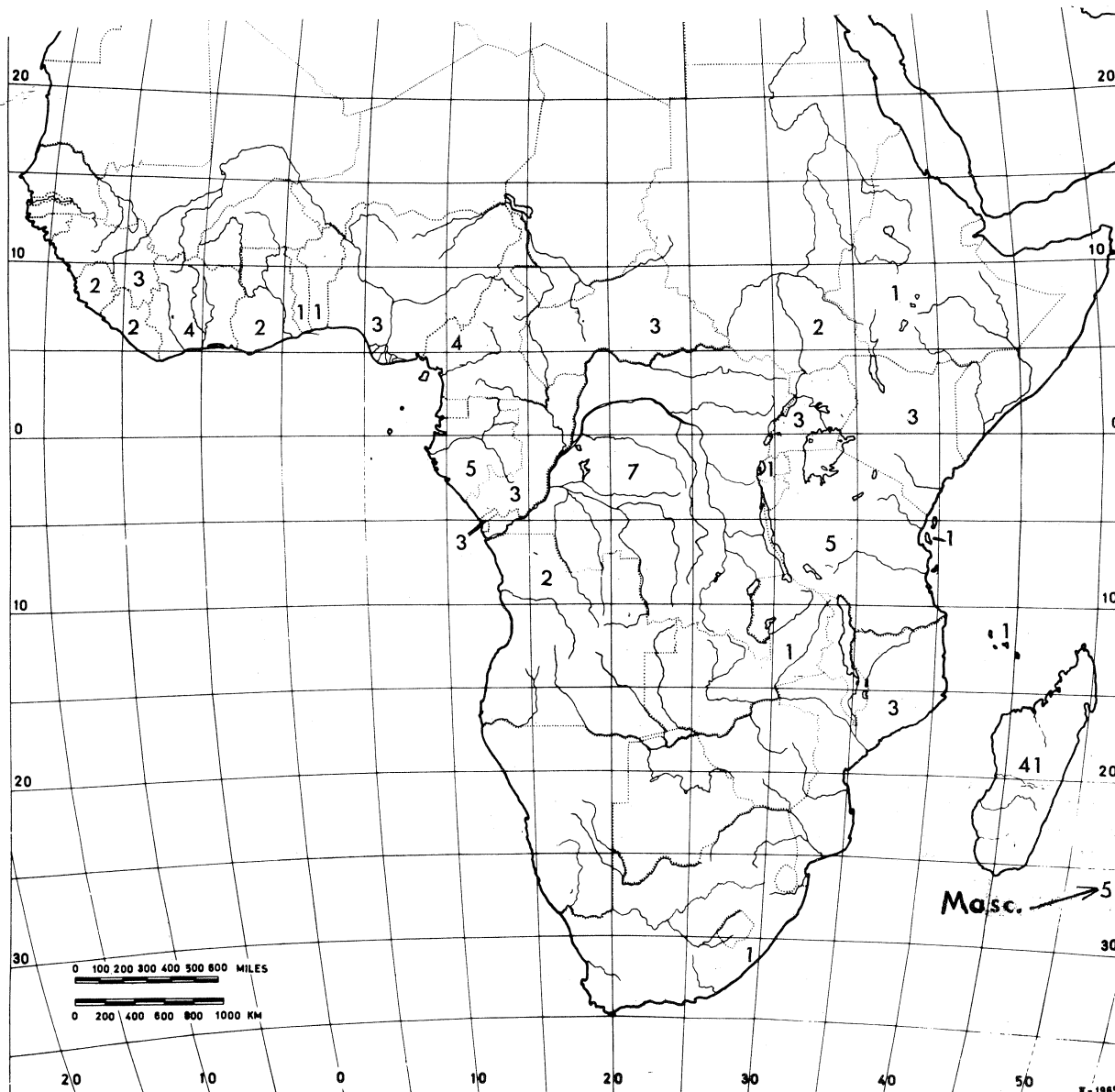
Les premières études ont été entreprises : analyse de la teneur en caféine des lots de graines, analyse numérique et électrophorèse.

Kenya (1977)

Objectifs

Recherche de la plus grande variabilité possible de *Coffea eugenioides*, espèce à faible teneur en caféine et occupant une place importante entre *C. arabica*, caféiers de l'ouest africain, et le groupe *Mozambicoffea*.

Fig. 1. — Nombre d'espèces de *Coffea* (sensu J.-F. Leroy) par pays.



D'autres espèces pouvaient être rencontrées, en particulier de la côte orientale, des espèces de *Mozambicoffea* très mal connues et présentant des affinités apparentes avec les *Mascarocoffea*.

Résultats

Coffea eugenioides, soixante-deux numéros provenant de plusieurs populations situées à l'est du lac Victoria entre 1.600 et 2.000 m d'altitude. L'espèce semble assez variable dans les conditions naturelles et liée à un type de forêt. Une population était fortement parasitée par *Hemileia vastatrix*. Il s'agit vraisemblablement de la première observation du complexe C.

eugenioides - *H. vastatrix* dans des conditions naturelles.

Plusieurs cas de pourriture de baies d'origine parasitaire ont également été relevés. Les échantillons récoltés ont été confiés au laboratoire de Phytopathologie de la Station de Ruiru, (Kenya).

Coffea arabica, six numéros du Mont Marsabit, où l'espèce était déjà connue, mais qui représente peut-être la seule localité où cette espèce est sauvage. C'est aussi le point le plus méridional de l'aire.

Coffea zanguebariae, cinquante-sept numéros de la forêt sèche sur la côte de l'océan Indien, de la frontière tanzanienne au sud de Malindi.

Coffea sp. nov. - L'herbier de Nairobi possède des échantillons d'un caféier incontestablement nouveau, qui a pu être retrouvé et fournir du matériel vivant (quatorze numéros). Très belle station, population très vigoureuse et parfaitement saine dans une localité très isolée et unique.

Par ailleurs, de nombreux échantillons de rouille affectant plus particulièrement les Rubiacées ont été collectés dans les différentes stations. On relève notamment la présence de plusieurs espèces d'*Hemileia* sur *Psychotria*, *Rytigynia*, etc.

Implantation

Collection mise en quarantaine dans les serres du GERDAT à Montpellier (France) avant d'être installée

en Côte d'Ivoire ; double à la station de recherches de Ruiru (Kenya). Echantillons d'herbier à Paris et à Nairobi.

Côte d'Ivoire (depuis 1975)

Dans ce pays, les prospections prennent un autre aspect et sont orientées essentiellement sur l'étude des populations (*C. canephora*, *C. humilis*, *C. Liberica*, *C. stenophylla*) bien que du matériel soit mis en collection (Man et Divo).

Deux espèces appartenant à des genres voisins, *Paracoffea ebracteolata* et *Psilanthus manni*, sont suivies avec attention depuis que l'on a observé qu'elles étaient des hôtes de la rouille farineuse (*Hemileia coffeicola*).

UTILISATION

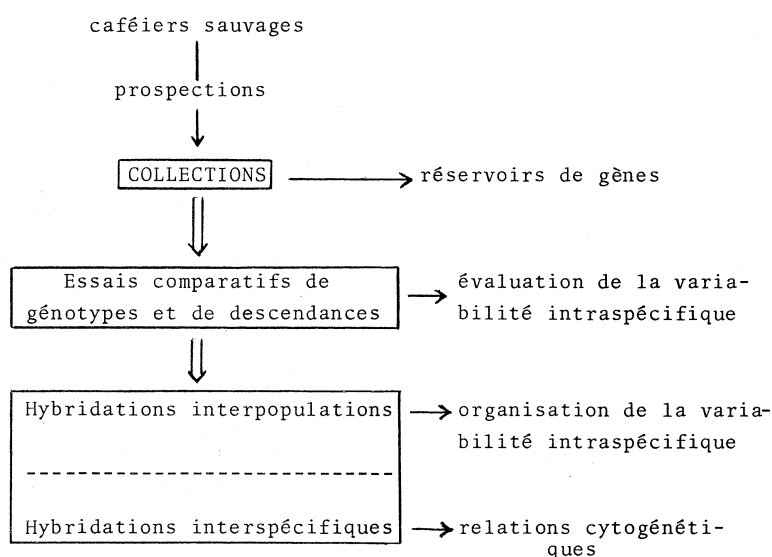
Le matériel prospecté est mis en collection ; pour les *Mascarocoffea* ce furent les stations de l'IFCC, Ilaka et Kianjavato, situées à Madagascar, pour les caféiers africains la station centrale de l'IFCC à Divo et les organismes de recherches sur le caféier dans les pays visités.

Ces collections ont pour objet premier de conserver le matériel vivant comme réserve génétique à la disposition des améliorateurs ; elles apparaissent comme des « banques de population » dans le cadre de la conservation générale des ressources génétiques naturelles.

La première phase d'utilisation de ce matériel est l'analyse de la variabilité spécifique, analyse possible sur des arbres installés dans des parcelles selon un schéma de plantation permettant des études statistiques. Les études biométriques sont complétées, en Côte d'Ivoire, par des analyses du polymorphisme enzymatique.

Ainsi l'analyse de la variabilité phénotypique et génotypique des *C. arabica* éthiopiens mis en collection à Madagascar, au Cameroun et en Côte d'Ivoire en 1967 a été poursuivie pendant une dizaine d'années ;

Fig. 2. — Schéma d'utilisation des caféiers spontanés.



les résultats acquis ont fait l'objet d'une publication de synthèse en 1978.

L'étape suivante sera l'analyse de la variabilité et des relations interspécifiques, en fait de la nature du pool génétique : il s'agira d'étudier les possibilités de transfert des caractéristiques d'une espèce à une autre. Les

hybrides obtenus devraient permettre, par le jeu des recombinaisons et de nouvelles pressions de sélection, la création d'un matériel nouveau extraordinairement variable, à partir duquel des choix judicieux permettraient d'introduire de nouveaux types de caféiers en culture.

CONCLUSION

Les caféiers ne se trouvent, à l'état naturel, que dans des formations forestières climaciques ou peu perturbées.

La pression démographique, les besoins économiques nouveaux tendent à utiliser et à transformer ces milieux dont les superficies ne peuvent qu'aller en diminuant.

Beaucoup de localités anciennes ont disparu et il n'est plus possible de retrouver des stations de caféiers signalées en Côte d'Ivoire par A. Chevalier ou R. Portères il y a soixante-dix ans où même trente ans, encore moins celles des botanistes allemands de la dernière moitié du XIX^e siècle au Cameroun. Si de nouvelles régions sont accessibles plus aisément de nos jours, il n'en reste pas moins que les populations de caféiers tendent inexorablement à s'amenuiser, voire à disparaître, amenant peut-être l'extinction de types intéressants, et même d'espèces à distribution restreinte.

Il apparaît urgent de prévoir le recueil et la conservation de ce matériel vivant pour les besoins actuels et futurs de la caféiculture. On a vu les résultats acquis grâce à un ensemble de techniques qui depuis la forêt jusqu'à la mise en collection a fait ses preuves ; cependant il reste encore à faire et le matériel doit être augmenté.

Il semble nécessaire de poursuivre l'effort sur des régions présentant une richesse spécifique particulière (Zaire) où des conjonctions originales entre espèces et groupes d'espèces (Tanzanie), comme sur des complexes spécifiques n'ayant pas donné toutes leurs possibilités (*C. canephora* et espèces « satellites ») ; cet effort devant contribuer utilement à la conservation générale des ressources génétiques naturelles en vue de leur utilisation par l'Homme.

BIBLIOGRAPHIE

Les différentes missions de prospection auxquelles il est fait référence dans cette communication ont donné lieu à des rapports de mission à usage interne. Nous citerons seulement les principales publications à paraître prochainement sur le sujet :

1. J. BERTHAUD, J.-L. GUILLAUMET. — Les caféiers sauvages en Centrafrique : résultats d'une mission de prospection (janvier-février 1975). *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 22, n° 3, juil.-sept. 1978, p. 171-186.
2. A. CHARRIER. — La structure génétique des caféiers

spontanés de la région malgache (*Mascarocoffea*). Leurs relations avec les caféiers africains (*Eucoffea*). Paris, ORSTOM, 1976. 340 p., 22 fig., 54 tabl., 15 pl. photos, multigr. Thèse Doctorat ès Sci., Paris-Sud, Centre d'Orsay, 1976, parue : Mémoires ORSTOM, n° 87, 1978, 223 p.

Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers : résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce *Coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966. Opération conjointe ORSTOM-IFCC. IFCC, Paris, Bulletin n° 14, sept. 1978, 100 p.

BERTHAUD (J.), GUILLAUMET (J.-L.), LE PIERRES (D.), LOURD (M.). — Les prospections des caféiers sauvages et leur mise en collection. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 365-372, fig., tabl., réf.

BERTHAUD (J.), GUILLAUMET (J.-L.), LE PIERRES (D.), LOURD (M.). — Survey and collection of wild coffee trees. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 365-372, fig., tabl., réf.

Depuis quelques années un effort de prospection et de mise en collection des caféiers sauvages en vue de constituer des « réservoirs de variabilité » à des fins d'amélioration a été

The IFCC and ORSTOM have for several years now been expanding effort on surveying and collecting wild coffee trees to constitute « variability reservoirs » for the purposes of

entrepris par l'IFCC et par l'ORSTOM. Les prospections ont pour but l'analyse succincte des caféiers en conditions naturelles (écologie, populations, état sanitaire) et surtout le prélèvement du matériel végétal vivant essentiellement végétatif (multiplication par greffage et bouturage). L'expérience a montré que la prospection devait réunir botaniste, généticien et phytopathologiste. Actuellement les prospections dans plusieurs pays (Ethiopie, Madagascar et îles avoisinantes, Centrafrique, Kenya) ont donné du matériel intéressant (*C. arabica*, *Mascarocoffea*, *C. congensis*, *C. liberica*, *C. eugenioides*, *C. zanguebariae*, etc.); les populations de Côte d'Ivoire (*C. canephora*, *C. humilis*, *C. liberica*, *C. stenophylla* et deux espèces des genres *Paracoffea* et *Psilanthus*) font l'objet d'études plus suivies. Le matériel mis en collection vivante est alors susceptible d'être utilisé pour la création de nouveaux types de caféiers.

improvement. The object of the surveys was to make a brief examination of the coffee trees under natural conditions (ecology, populations, state of health) and especially taking samples of living plant material basically vegetative (propagation by grafting and cuttings). The experiment showed that the surveys required the collaboration of botanists, geneticists and phytopathologists. So far, surveys have been made in several countries (Ethiopia, Madagascar and neighbouring islands, Central Africa, Kenya) and these yielded interesting material (*C. arabica*, *Mascarocoffea*, *C. congensis*, *C. liberica*, *C. eugenioides*, *C. zanguebariae*, etc.); the populations in Ivory Coast (*C. canephora*, *C. humilis*, *C. liberica*, *C. stenophylla* and two species of the genera *Paracoffea* and *Psilanthus*) are being studied more extensively. The material collected and included in the living collection may thus be used in the creation of new types of coffee trees.

L'ANALYSE DU POLYMORPHISME ENZYMATIQUE DANS LE GENRE *COFFEA* : ADAPTATION D'UNE MÉTHODE D'ÉLECTROPHORÈSE EN SÉRIE PREMIERS RÉSULTATS

F. BERTHOU, P. TROUSLOT

ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire

L'analyse du polymorphisme des organismes vivants consiste dans « la séparation de plusieurs catégories d'individus sur la base de caractères repérables visuellement et obéissant à un déterminisme mendélien simple » (Lamotte, 1974). Grâce aux progrès de la biologie moléculaire, l'estimation de la variabilité génétique a pris un nouvel essor depuis dix ans, lié à l'emploi de la technique d'électrophorèse. Celle-ci permet d'observer les différentes formes multiples qu'une protéine peut revêtir. C'est cette méthode d'étude du polymorphisme biochimique que nous avons appliquée à l'étude de la variabilité génétique des caféiers.

Nous avons d'abord mis au point une méthode d'électrophorèse en série adaptée à la caractérisation de trois enzymes différents : Phosphatase acide (Phos. A), Malate déhydrogénase (Mdh), Estérase (Est. A et

B). Ces analyses ont porté sur cinq espèces de caféiers (*Coffea arabica*, *C. liberica*, *C. canephora*, *C. congensis* et *C. eugenioides*) et sur une espèce voisine (*Paracoffea ebracteolata*). L'analyse du déterminisme génétique de la bande électrophorétique Phos. A 1,05 chez l'espèce *C. arabica* nous fournira le premier exemple d'un caractère isoenzymatique. Comme la nature génétique des variants électrophorétiques observés est en cours d'analyse, notre étude préliminaire du polymorphisme et des affinités enzymatiques se fonde sur la comparaison des bandes électrophorétiques (ou électromorphes), c'est-à-dire des formes multiples lues pour les trois enzymes analysés.

Nous présenterons d'abord la méthode d'électrophorèse en série utilisée, puis nous donnerons les premiers résultats acquis sur le polymorphisme électrophorétique des caféiers.

ADAPTATION D'UNE MÉTHODE D'ÉLECTROPHORÈSE EN SÉRIE DES CAFÉIERS

L'analyse en électrophorèse des caféiers se heurte à une difficulté essentielle : la présence chez cette plante de tannins inhibiteurs d'enzymes. Dans les premières tentatives d'analyse en électrophorèse des caféiers, Guedes en 1974 et Payne en 1976 ont travaillé en gel de polyacrylamide à partir d'extraits purifiés. Pour notre part, nous avons opté pour la technique d'électrophorèse en gel d'amidon à partir d'extraits bruts. Ce support de migration se prête à l'incorporation de Polyvinylpyrrolidone insoluble (P.V.P.) qui absorbe les polyphénols (Andersen, 1968). Cette méthode est aussi plus rapide parce qu'elle ne nécessite pas la purification préalable de l'extrait. Elle présente enfin l'avantage d'être applicable à des quantités infimes de matériel végétal, de l'ordre de 0,1 à 0,5 g.

Mode de prélèvement

Pour caractériser un caféier, arbre pérenne, la feuille est l'organe le plus intéressant, analysable en toutes saisons et à tous les stades du développement de la plante. Nous récoltons les feuilles nouvellement formées à l'extrémité des rameaux [rang n et $(n-1)$], en plantation ou en pépinière. Nous avons aussi employé les jeunes plantules extraites de graines mises en germination pendant quinze jours. Celles-ci appartiennent à la génération suivante et la variabilité génétique de la descendance dépend alors de la structure génétique du pied-mère et de son mode de reproduction. Nous réserverons donc l'utilisation de ces jeunes plantules à l'étude électrophorétique de l'espèce auto-

game *C. arabica* et à l'analyse des disjonctions dans les descendances.

Chez *C. arabica*, sur les vingt-trois électromorphes séparés soit avec des feuilles en élongation, soit avec des jeunes plantules, dix-neuf sont identiques. Ce résultat est illustré par la figure III (p. 376) pour l'enzyme Phos A. : le zymogramme du témoin obtenu à partir d'extrait foliaire ne diffère des zymogrammes d'extraits de plantules que par l'absence de deux électromorphes bien localisés.

Les bandes électrophorétiques mises en évidence à partir des extraits foliaires d'une souche donnée de l'espèce *C. canephora* sont parfaitement stables quel que soit l'âge de l'arbre, la position altitudinale de la feuille ou le géotropisme, orthotrope ou plagiotrope, de l'axe qui la porte. De même, les types de séparation obtenus pour une feuille de rang (n) en début de croissance et une feuille de rang (n-1) en fin de croissance sont presque équivalents : sur seize à vingt-quatre électromorphes séparés dans cette espèce à partir de trente clones différents, quatorze à vingt-deux sont stables. Afin d'obtenir le maximum de sécurité pour la reproductibilité des analyses, nous utilisons uniquement les jeunes feuilles terminales en pleine croissance, et nous ne retenons que les bandes électrophorétiques dont la stabilité, d'un stade à l'autre, est bien établie.

Méthodes d'extraction, de séparation en électrophorèse et lecture des résultats

Dans notre méthode simplifiée d'électrophorèse en gel d'amidon, dans lequel a été incorporé le P.V.P., la

succession de manipulations simples à effectuer s'échelonne sur 24 h ; celles-ci rendent en effet inutiles des opérations plus complexes telles que la pesée de matière verte, le broyage mécanique, la centrifugation ou la dialyse.

Les feuilles ou les jeunes plantules extraites des graines sont broyées dans un poids égal de P.V.P. humecté d'une solution réductrice tamponnée à pH 6,0 (Loomis et Bataille, 1965) ; le broyat est ensuite pressé dans une seringue à travers un tamis pour extraire l'échantillon qui est immédiatement inséré dans le gel d'électrophorèse. Ces deux opérations s'effectuent manuellement à 10 °C.

L'électrophorèse utilise un support horizontal solide constitué de 14 % d'amidon gélinifié et de 1,5 % de P.V.P., incorporé dans le gel avant gélification. En ce qui concerne les systèmes de tampon de gel et de bacs utilisés, le procédé Spencer (1964) convient à la séparation électrophorétique des enzymes Phos. A et Est. (in : Smith, 1968) ; le procédé Brewer (1970) convient à la séparation des formes multiples de l'enzyme Mdh. L'électrophorèse dure 20 h sous 6 volts/cm à 4 °C. La révélation des enzymes est réalisée suivant Shaw et Prasad (1970).

La lecture des mobilités électrophorétiques s'effectue par référence à l'échelonnement des bandes électrophorétiques d'un témoin obtenues dans les mêmes conditions. Nous avons utilisé comme témoin la souche 632-2 de l'espèce *C. arabica*. La position de chaque bande électrophorétique est désignée par le rapport de sa mobilité à la mobilité de la bande du témoin choisie comme référence.

Avec cette méthode d'électrophorèse, la capacité d'analyse est de vingt-cinq échantillons par jour et par expérimentateur pour l'étude simultanée des trois enzymes : Phos. A, Mdh et Est. A et B.

COMPARAISON DU POLYMORPHISME ENZYMATIQUE DES ESPÈCES *C. ARABICA*, *C. CANEPHORA*, *C. CONGENSIS* ET *C. LIBERICA*

L'échantillonnage des espèces étudiées est le suivant (Berthaud, 1977) :

C. arabica : dix origines éthiopiennes représentées par dix plantes chacune.

C. canephora : cent vingt-cinq clones originaires de Côte d'Ivoire, de Centrafrique et du Zaïre.

C. congensis : trois populations de Centrafrique représentées par deux cent trente-sept individus au total.

C. liberica : douze populations de Centrafrique représentées par deux cent quarante individus au total.

L'analyse d'un échantillon de n individus par espèce permet de repérer sur les trois enzymes étudiés N bandes électrophorétiques au total. Leurs fréquences x_i pour chaque espèce figurent dans l'annexe A. Ces

données permettent l'estimation d'un index de polymorphisme (I.P.) calculé d'après la formule de Marshall et Allard (1970) :

$$I.P. = \frac{\sum x_i(1 - x_i)}{N}$$

L'ensemble des valeurs n, N et I.P. est présenté dans la figure I.

A la lecture de cette figure, il ressort que les valeurs de l'index de polymorphisme des espèces allogames *C. canephora*, *C. congensis* et *C. liberica* sont équivalentes (I.P. = 0,043 à 0,055) et nettement supérieures à la valeur de l'index de l'espèce autogame *C. arabica* (I.P. = 0,003). Le polymorphisme électrophorétique

FIGURE I Index de polymorphisme

$$I.P. = \frac{\sum x(1-x)}{N}$$

x désigne les fréquences des bandes électrophorétiques dans l'espèce,

N le nombre total des différentes bandes : 50.

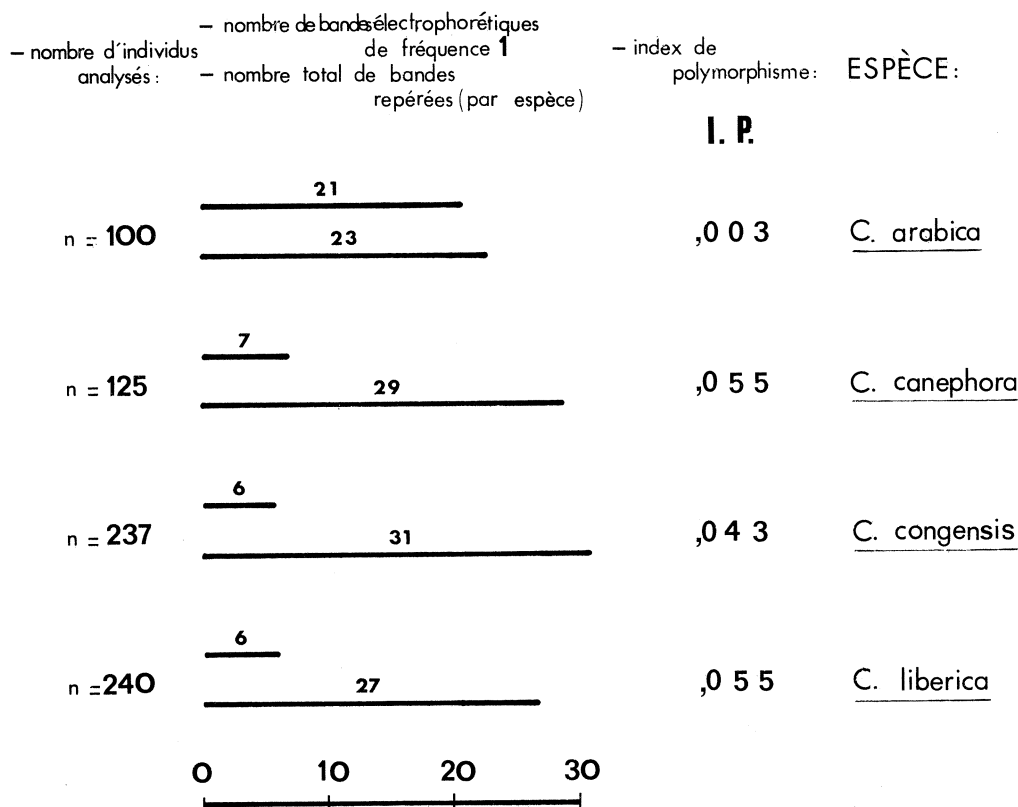


Fig. I. — Index de polymorphisme des espèces *C. arabica*, *C. canephora*, *C. congensis* et *C. liberica*

des caféiers diploïdes est lié à vingt-et-un ou vingt-deux électromorphes sur un total de vingt-sept à trente-et-un ; seules six à sept bandes électrophorétiques se retrouvent présentes uniformément dans le matériel analysé. Les vingt-et-un et vingt-deux variants électrophorétiques sont diversement répartis dans les populations et permettent d'identifier la plupart des génotypes. Au contraire, dans l'espèce *C. arabica*, vingt-et-une bandes électrophorétiques sur un total de vingt-trois sont uniformément présentes. Les deux variants Phos A. 1,05 et Phos A. 0,9 permettent de distinguer les origines Ar. 8 et Ar. 23 par l'absence de l'une et l'autre de ces bandes.

Rappelons que ces estimations de l'index de polymorphisme impliquent normalement l'existence d'une correspondance biunivoque entre bande électrophorétique et déterminant génétique, ce qui n'est pas toujours le cas (Mosse, 1973).

Une telle analyse du déterminisme génétique des bandes électrophorétiques obtenues chez les caféiers est en cours. Présentons l'exemple de la bande électrophorétique Phos A. 1,05 chez l'espèce *C. arabica* : la figure II (p. 376) montre la différence de type électrophorétique entre Ar. 8 et Ar. 36b : l'électromorphe Phos A.1,05 est présent chez Ar. 36b et absent chez Ar. 8. La descendance F_1 du croisement $36b \times 8$ le possède. Les « back-crosses » par les géniteurs parentaux donnent les résultats suivants :

— d'une part, les quatre hybrides F_1 recroisés par Ar. 8 ont pour descendance F_2 cinquante individus : vingt-huit possèdent l'électromorphe considéré, vingt-deux ne le possèdent pas (figure III) ; une telle répartition s'apparente à la disjonction théorique 1 : 1 attendue dans l'hypothèse d'un déterminisme mendélien monofactoriel ;

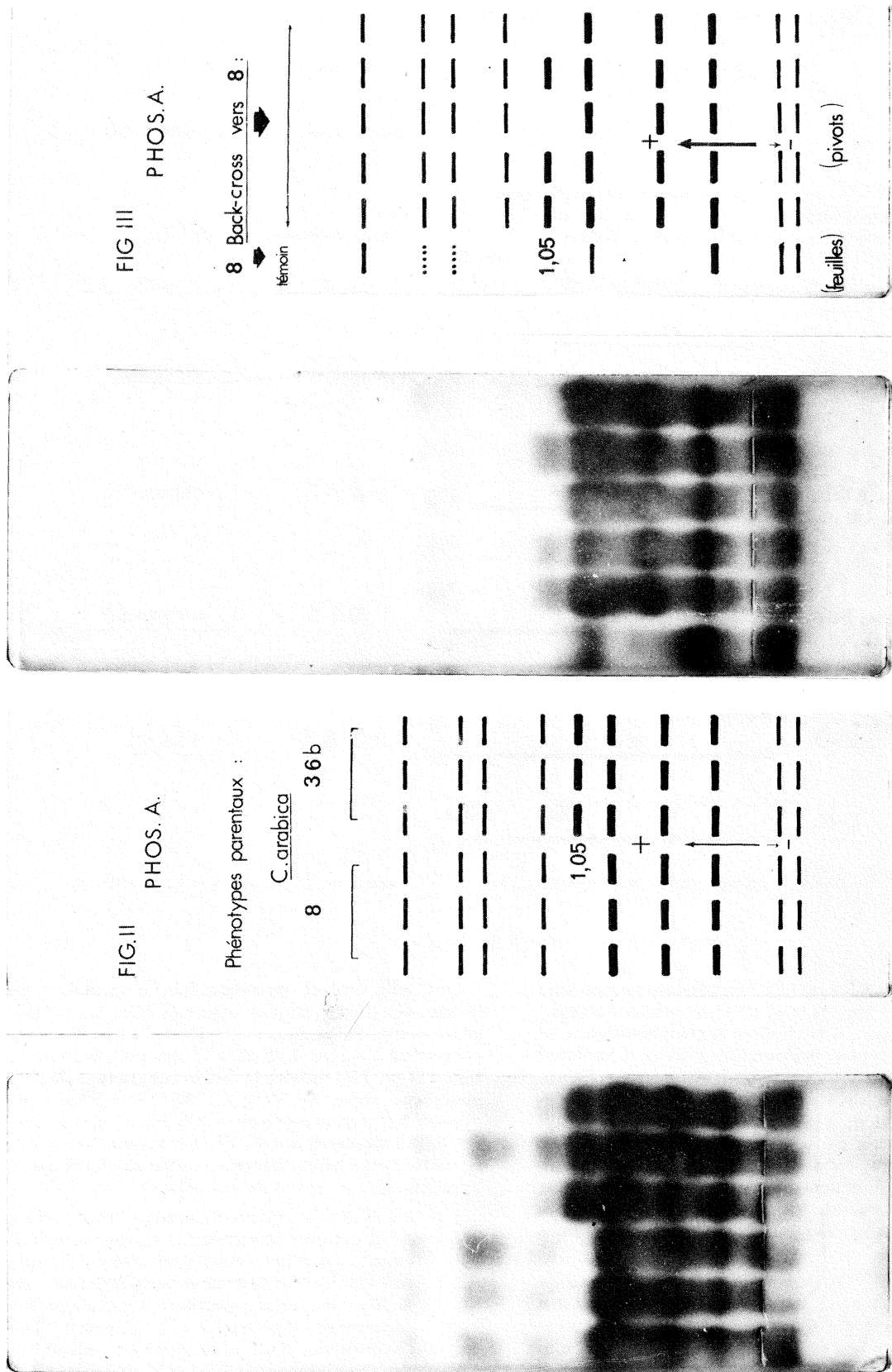


Fig. II. — Types électrophorétiques Phos. A. des origines *C. arabica* Ar. 8 et Ar. 36b (électrophorégramme obtenu par analyse d'extraits de jeunes plantules)

Fig. III. — Types électrophorétiques Phos. A. de cinq individus (F_2) issus du « back-cross » de l'hybride (36b \times 8) vers Ar. 8 (même remarque que pour la figure II, pour tous les zymogrammes à l'exception du premier (témoin Ar. 8), obtenu par l'analyse d'extraits foliaires)

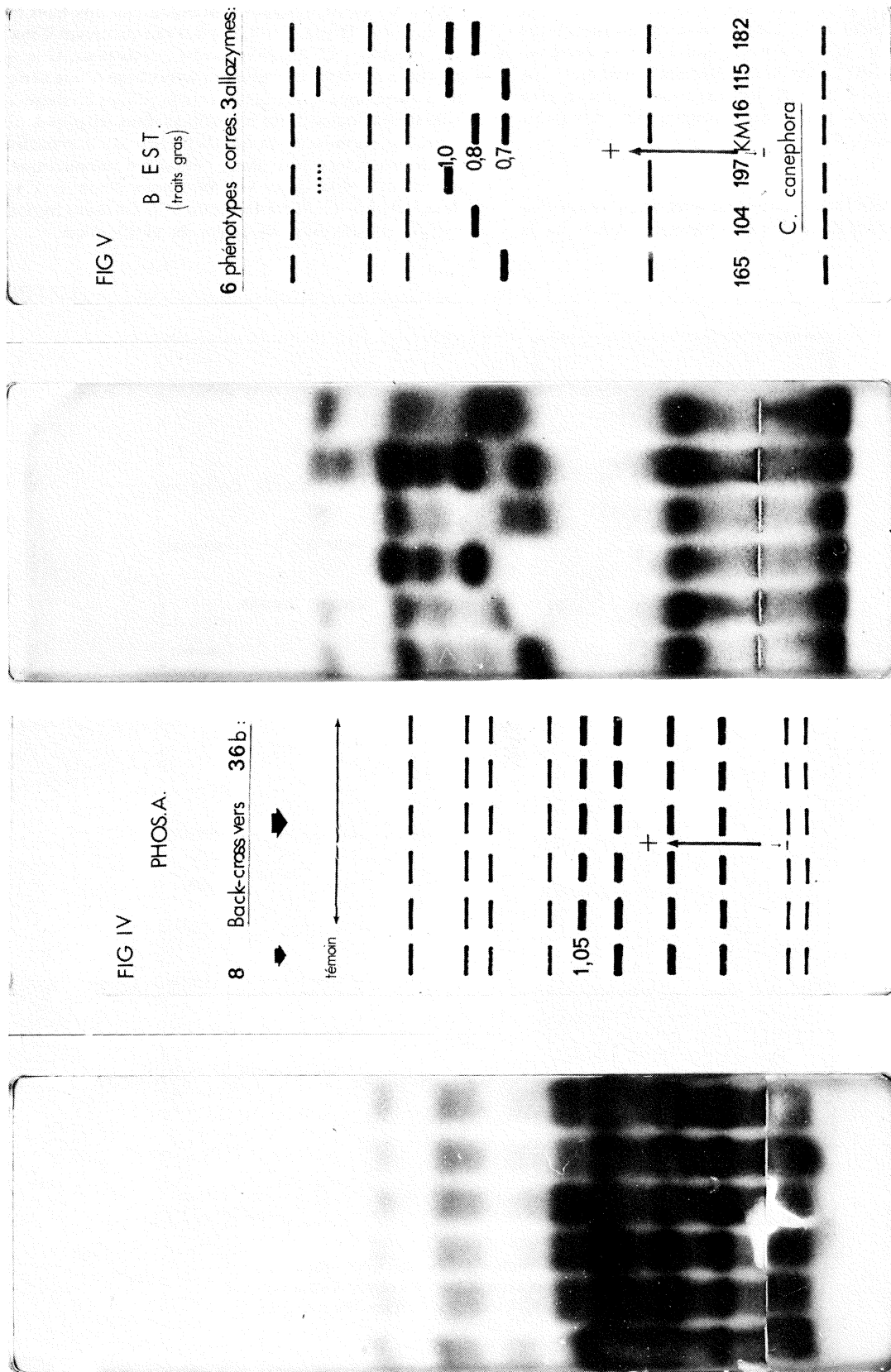


Fig. IV. — Types électrophorétiques Phos. A de cinq individus (F_2) issus du back-cross de l'hybride (36b \times 8) vers Ar. 36b (même remarque que pour la figure II)

Fig. V. — Types électrophorétiques de six clones *C. canephora* montrant les six types Est. B correspondant aux trois allozymes Est. B. 0,7-0,8 et 1,0 (électrophorogramme obtenu par analyse d'extraits foliaires)

— d'autre part, les deux hybrides F_1 ont pour descendance F_2 vingt individus qui présentent tous la bande électrophorétique considérée. L'ensemble de ces résultats démontre que l'isozyme Phos A. 1,05 est contrôlé par un gène dominant porté par l'origine Ar. 36b (figure IV, p. 377).

De telles relations d'allélisme sont aussi observées chez les espèces diploïdes et allogames. Ainsi, sur la

figure V, les phénotypes correspondant aux trois électromorphes B Est. 0,7-0,8 et 1,0 se retrouvent dans les deux espèces *C. canephora* et *C. congensis*. Une telle situation s'interprète suivant l'hypothèse d'une série de trois allozymes, contrôlés par trois allèles codominants à un même locus. Leur répartition dans les populations n'est pas significativement différente de la répartition idéale des fréquences dans l'équilibre panmictique. Il en est de même pour les allozymes Phos A. 1,4-1,5 dans l'espèce *C. liberica* (figure VI). De telles hypothèses génétiques sont en cours de vérification.

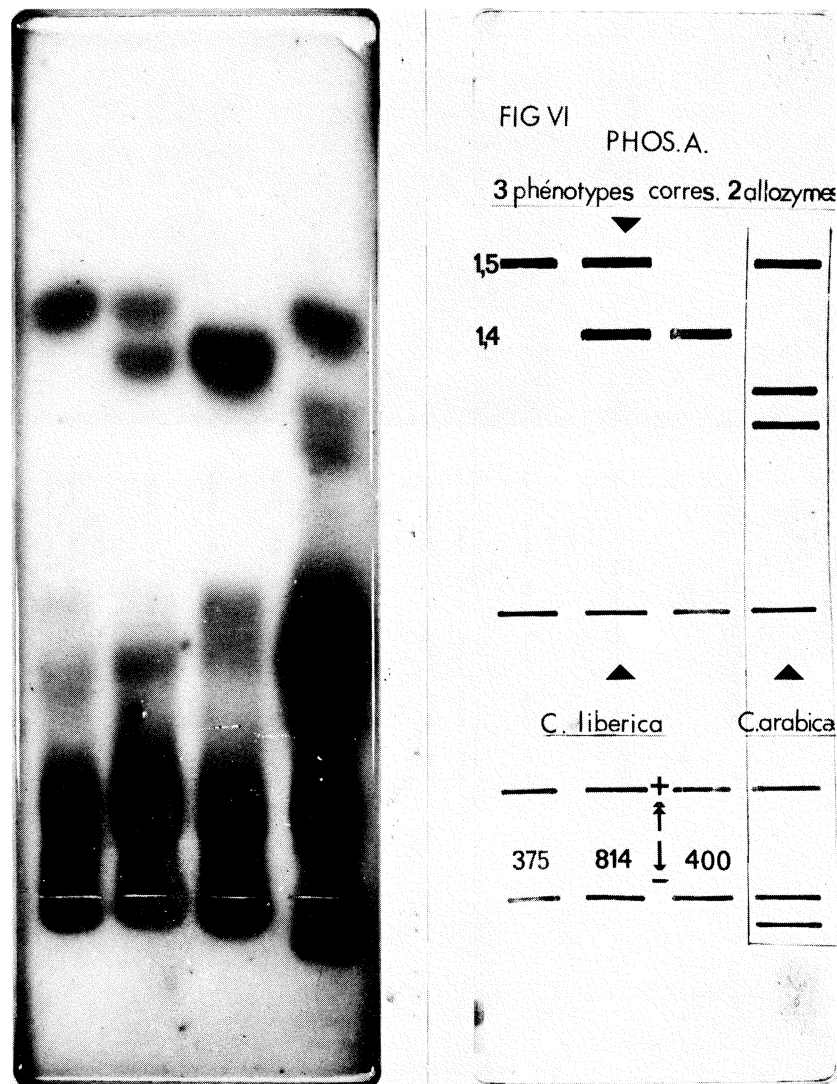


Fig. VI. — Types électrophorétiques de trois clones *C. liberica* montrant les trois types Phos. A correspondant aux deux allozymes Phos. A 1,4 et 1,5 (même remarque que pour la figure V)

ANALYSE DES AFFINITÉS ENZYMATIQUES ENTRE LES PRINCIPALES ESPÈCES DE CAFÉIERS AFRICAINS

Cette étude des affinités interspécifiques concerne les quatre espèces précédemment utilisées auxquelles nous avons ajouté *C. eugenioides* et une espèce affine des *Coffea*, *Paracoffea ebracteolata*, représentées l'une et l'autre par trente-six individus. La première a été collectée dans les populations naturelles du Kenya et la seconde provient du massif Dan-Guéoulé en Côte d'Ivoire.

L'affinité de deux espèces x et y peut être estimée d'après la formule utilisée pour le calcul de l'identité génétique de Nei (1970), où x_i et y_i désignent le plus souvent les fréquences des allèles contrôlant des allozymes :

$$I = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i^2}}$$

Pour calculer l'index d'affinité (I.A.) nous avons utilisé en première approximation les fréquences x_i et y_i des bandes électrophorétiques des espèces étudiées (Annexe A, p. 382).

Les valeurs des index d'affinité présentés dans la figure VII permettent de dégager les informations suivantes :

1. les espèces *C. canephora* et *C. congensis* paraissent très proches et la valeur de l'index (I.A. = 0,88) est voisine de celle que l'on obtient entre populations au

sein d'une même espèce. Observons que vingt-quatre des trente-sept électromorphes séparés sont communs aux deux espèces (Annexe A).

2. entre les espèces diploïdes *C. canephora*, *C. liberica* et *C. eugenioides* les index d'affinité se situent à un niveau inférieur et sensiblement équivalent (I.A. = 0,63 à 0,77). Par exemple *C. canephora* et *C. liberica* n'ont plus en commun que dix-sept des quarante électromorphes séparés.
3. des valeurs d'index nettement plus faibles caractérisent les affinités entre *Paracoffea ebracteolata* et les principales espèces du genre *Coffea*, y compris *C. arabica* (I.A. = 0,37 à 0,47).
4. l'index d'affinité de l'espèce tétraploïde *C. arabica* vis-à-vis des quatre espèces de *Coffea* est pratiquement constant (I.A. = 0,67 à 0,68). Il ressort de l'examen des électrophorogrammes Phos. A et Est. A et B que l'ensemble des bandes électrophorétiques de *C. arabica* apparaît comme la somme des bandes complémentaires les plus fréquentes dans l'espèce *C. eugenioides* d'une part et dans le groupe *C. canephora*, *C. congensis*, d'autre part (figures VIII et IX). Ainsi la richesse en formes enzymatiques de l'espèce tétraploïde proviendrait de la juxtaposition des formes les plus caractéristiques de ces deux groupes de caféiers africains diploïdes.

FIGURE VII : Index d'affinité en électrophorèse.

$$I.A. = \frac{\sum x y}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad x, y \text{ désignent les fréquences des bandes électrophorétiques dans chacune des espèces.}$$

<u>C. congensis</u> effectifs: 236	<u>C. liberica</u> 240	<u>C. eugenioides</u> 36	<u>C. arabica</u> 100	<u>Paracoffea</u> <u>ebracteolata</u> 36	
,88	,70	,64	,68	,39	<u>C. canephora</u> 125
1	,70	,63	,67	,37	<u>C. congensis</u>
	1	,77	,67	,37	<u>C. liberica</u>
		1	,67	,47	<u>C. eugenioides</u>
			1	,41	<u>C. arabica</u>

Fig. VII. — Index d'affinité entre cinq espèces du genre *Coffea* et *Paracoffea ebracteolata*.

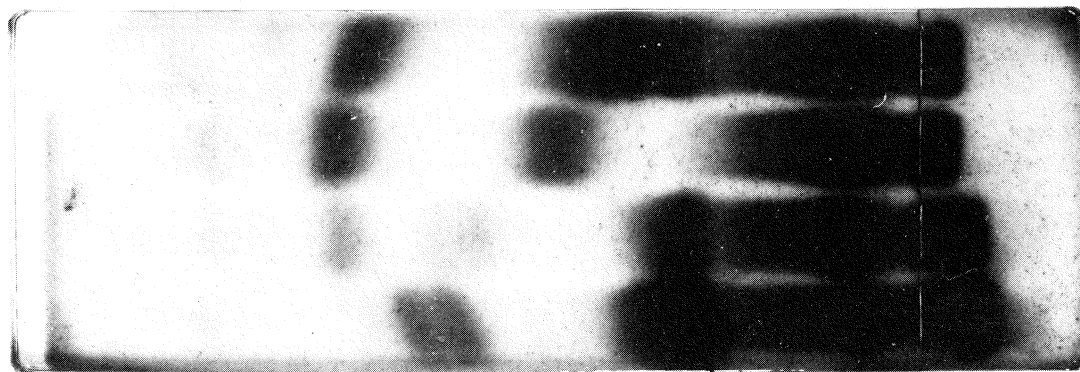


FIG VIII

Phosphatase
acide:

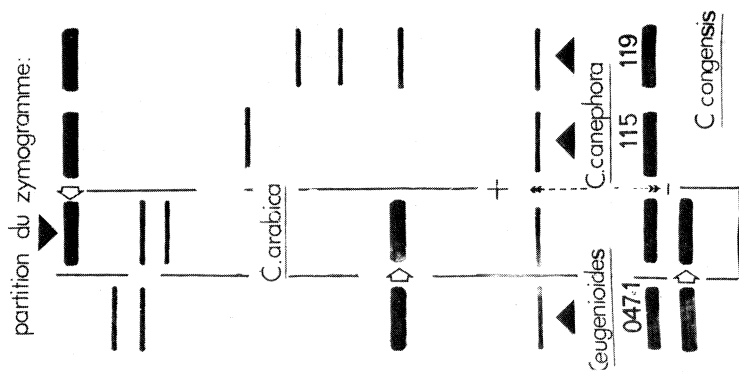


Fig. VIII. — Types électrophorétiques Phos. A de quatre espèces *C. eugenioides*, *C. arabica*, *C. canephora* et *C. congensis* (même remarque que pour la figure V)

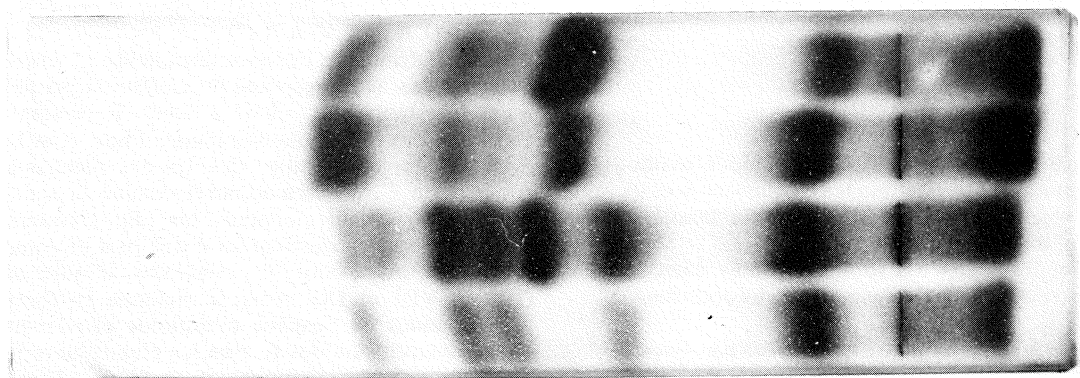


FIG IX

A+B Esterases

partition du zymogramme:

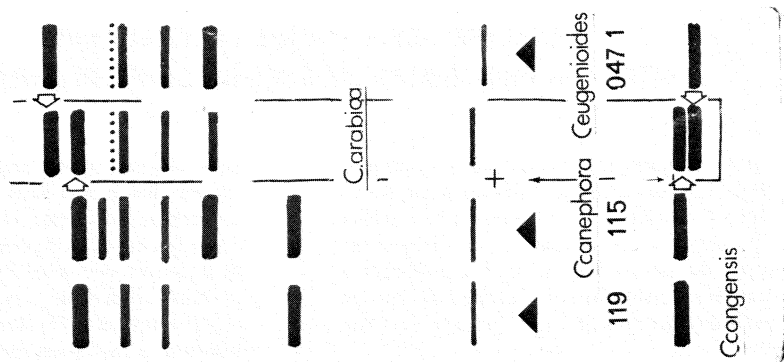


Fig. IX. — Types électrophorétiques Est. A et B de quatre espèces *C. congensis*, *C. canephora*, *C. arabica* et *C. eugenioides* (même remarque que pour la figure V)

DISCUSSION-CONCLUSION

La méthode d'électrophorèse en série que nous avons mise au point permet de révéler les bandes électrophorétiques des enzymes Phos. A, Mdh et Est. A et B extraites de jeunes feuilles en croissance ou de jeunes plantules de caféiers. Cette technique est valable pour d'autres organes de la plante (bourgeons végétatifs, pollens) ; elle a déjà permis de caractériser une douzaine d'espèces de caféiers variés. Il serait maintenant souhaitable d'étendre cette méthode à d'autres enzymes.

Les premiers résultats d'analyse du polymorphisme électrophorétique que nous présentons démontrent bien l'intérêt de cette méthode d'étude de la variabilité et de la structure génétique des espèces du genre *Coffea*. Ainsi les indices de polymorphisme calculés caractérisent bien les différences fondamentales de variabilité d'une espèce autogame (*C. arabica*) par rapport aux espèces allogames (*C. congensis*, *C. canephora* et *C. liberica*). Nous avons aussi envisagé les possibilités d'analyse du polymorphisme électrophorétique inter et intrapopulation de quelques espèces spontanées (Berthaud et Berthou, 1977). De telles études de génétique nécessitent que nous développiions l'analyse du déterminisme des bandes électrophoréti-

ques. L'étude de l'isozyme Phos. A 1,05 chez *C. arabica* illustre la situation génétique la plus simple que nous avons rencontrée.

Notre estimation des affinités électrophorétiques des espèces de caféiers fournissent des informations qui sont en accord avec les hypothèses les plus récentes sur la structure génétique du genre *Coffea* (Charrier, 1977). C'est ainsi que se trouvent confirmées :

- la proximité des espèces *C. canephora* et *C. congensis*,
- l'existence d'affinités équivalentes entre les trois principaux sous-ensembles de caféiers diploïdes d'Afrique (*Eucoffea*),
- l'équivalence de ces derniers dans leurs rapports avec *C. arabica*.

L'hypothèse sur la synthèse de l'amphidiploïde naturel *C. arabica* à partir de deux *Coffeae* diploïdes se trouve confortée par la présence chez *C. arabica* de caractères électrophorétiques complémentaires des espèces diploïdes : *C. congensis*, *C. canephora* d'une part et *C. eugenioides* de l'autre.

Enfin les caractères électrophorétiques de *Paracoffea ebracteolata* tendent à montrer une séparation nette avec les *Coffeae* y compris *C. arabica*.

BIBLIOGRAPHIE

1. A.A. ANDERSEN, J.A. SOWER, 1968. — Optimum conditions for bounding of plant phenols to insoluble polyvinylpyrrolidone. *Phytochemistry* (Oxford), vol. 7, p. 293-301.
2. J. BERTHAUD, F. BERTHOU, 1977. — Analyse de la variabilité des populations naturelles de caféiers diploïdes (*Coffea* sp). Observations sur les teneurs en caféine et sur le polymorphisme enzymatique. 8^e Coll. Scientifique International sur le Café (Abidjan) 28 nov.-3 déc., ASIC (Paris), 1979, p. 385-391.
3. G.J. BREWER, 1970. — An introduction to isozyme techniques, 1 vol., Acad. Press, New York.
4. A. CHARRIER, 1977. — La structure génétique du genre *Coffea* ; ses conséquences pour l'amélioration des caféiers cultivés. 8^e Coll. Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc., ASIC (Paris), 1979, p. 399-405.
5. M.E.M. GUEDES, J.R. RODRIGUES, 1974. — Disc electrophoretic patterns of phenoloxydase from leaves of *Coffea* cultivar. *Portugaliae Actae Biologia* (Lisbonne), Série A, vol. XIII.
6. M. LAMOTTE, 1974. — Le polymorphisme dans le règne animal. Mémoire de la société zoologique de France, n° 37, Paris.
7. W.D. LOOMIS, J. BATAILLE, 1966. — Plant phenolic compounds and the isolation of plant enzymes. *Phytochemistry* (Oxford), vol. 5, p. 423-438.
8. J. MOSSÉ, 1973. — Hétérogénéité et polymorphisme des protéines et isoenzymes végétales : aspects moléculaires et évolutifs. *Physiologie végétale* (Paris), vol. 11, n° 2, p. 361-384.
9. D.R. MARSCHALL, R.W. ALLARD, 1970. — Isoenzyme polymorphisms in natural populations of *Avena fatua* et *Avena barbata*. *Heredity* (Edinburgh), 25, p. 373-382.
10. M. NEI, 1972. — Genetic distance between populations. *Amer. Nat.* (Lancaster), vol. 106, p. 283.
11. R.C. PAYNE, D.E. FAIRBROTHERS, 1976. — Disc electrophoretic evidence for heterozygosity and phenotypic plasticity in selected lines of *Coffea arabica* L. *Bot. Gaz.* (Chicago), vol. 137, n° 1, p. 1-6.
12. C.R. SHAW, R. PRASAD, 1970. — Starch gel electrophoresis of enzymes : a compilation of recipes. *Biochemical Genetics* (New York), 4, p. 297-320.
13. I. SMITH, 1968. — Electrophoretic techniques.

Annexe A. — Fréquence des bandes électrophorétiques de cinq espèces du genre *Coffea* et de *Paracoffea ebracteolata*

Electromorphes	Espèces et effectifs					
	<u>C. canephora</u> 125	<u>C. congensis</u> 237	<u>C. liberica</u> 240	<u>C. eugenioides</u> 36	<u>C. arabica</u> 100	<u>P. ebracteolata</u> 36
<u>Phosphatase Acide</u>						
1,55	0,144					
1,50	0,991	0,966	0,187		1,000	0,278
1,47			0,421			
1,45		0,101				0,250
1,42			0,621			
1,40				0,640		0,111
1,35				0,143	1,000	0,361
1,32		0,038	0,300	0,217		
1,30					1,000	0,444
1,25	0,216					0,056
1,22	0,952					
1,20						0,139
1,15						1,000
1,10	0,256	0,987				
1,05					0,900	
1,00		0,008	0,886	0,970	1,000	
0,97	0,496	0,992				
0,95		0,013				
0,90					0,950	
0,72	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,67	1,000	1,000			1,000	
-0,50	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
-1,00				1,000	1,000	1,000
<u>Malate Déhydrogénase</u>						
1,40		0,075				
1,35		0,025				
1,30	0,008	0,198	0,034			
1,25		0,114	0,194			
1,20	0,272	0,895	0,979	1,000	1,000	
1,15	0,040	0,346	0,042		1,000	
1,10	1,000	0,928	1,000	1,000	1,000	
1,07						1,000
1,05	0,040	0,207	0,069		1,000	
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,95			0,042			
0,92						1,000
0,90	0,428		0,042			
0,80	0,068					
0,60	0,051					
<u>Estérasas A et B</u>						
1,65			0,479	0,273	1,000	
1,60	0,896	0,945	0,712	0,666	1,000	
1,55	0,184	0,084				0,021
1,50						0,055
1,45				0,394		0,500
1,40	0,896	0,831	0,954	0,485	1,000	0,038
1,35	0,136	0,169		0,212		0,500
1,30						0,225
1,25			0,762			
1,20	0,432	0,211		0,300	1,000	0,500
1,15						0,830
1,10	0,040	0,034	0,046			1,000
1,05			0,375			0,250
1,00	0,760	0,224	0,321	0,457	1,000	
0,95				0,833		
0,90			0,696	0,014		
0,80	0,224	0,219	0,029			0,222
0,70	0,304	0,848				
0,65	0,008	0,008				
0,20	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,10						0,330
-0,20						0,750
-0,40						0,277
-0,60						0,472
-0,80	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,055
-1,00				1,000	1,000	0,083

BERTHOU (F.), TROUSLOT (P.). — **L'analyse du polymorphisme enzymatique dans le genre *Coffea* : adaptation d'une méthode d'électrophorèse en série ; premiers résultats.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris) 1979, p. 373-383, fig., réf.

Depuis une dizaine d'années, l'analyse du polymorphisme biochimique chez les organismes vivants est en développement constant. En adaptant une méthode d'électrophorèse en série, nous cherchons à établir dans le genre *Coffea* des systèmes de groupes isoenzymatiques sur la base de caractères qualitatifs à déterminisme génétique simple.

Chez les caféiers, les substances du métabolisme secondaire, alcaloïdes et tannins, font obstacle à l'analyse enzymatique. La combinaison de deux techniques déjà connues, l'extraction en milieu acide et l'électrophorèse sur gel d'amidon en présence de polyvinylpyrrolidone insoluble (P.V.P.), nous permet d'analyser la plupart des caféiers sur trois enzymes : Phosphatase acide (**Phos. A**), Malate déshydrogénase (**Mdh**), Estérase (**Est**).

L'intérêt de la technique pour mettre en évidence des caractères génétiques simples est illustrée par l'analyse de l'allozyme **Phos. A** 1,05 dans l'espèce *C. arabica*. Quatre espèces diploïdes et allogames — *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica* et *C. eugenioides* sont caractérisées par leurs fréquences isoenzymatiques. Les deux premières ont plus d'affinités enzymatiques entre elles qu'elles n'en ont avec les autres. Vis-à-vis de l'espèce *C. arabica*, les taxons *C. canephora*, *C. congensis*, d'une part, et *C. eugenioides* d'autre part ont des affinités qui impliquent des isozymes différents. Ces deux groupes sont complémentaires pour la reconstitution des zymogrammes **Phos. A** et **Est** de l'espèce *C. arabica*.

BERTHOU (F.), TROUSLOT (P.). — **Analysis of enzymatic polymorphism in the genus *Coffea* : adaptation of an electrophoresis method in series : first results.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 373-383, fig., réf.

Investigation of biochemical polymorphism in living organisms has been increasing constantly over the last ten years. By adapting a method of electrophoresis in series, the authors sought to identify systems of isoenzymatic groups in the genus *Coffea* on the basis of qualitative characters of simple genetic determinism.

In coffee trees, the secondary metabolism substances, alkaloids and tanins, are obstacles in the way of enzymatic analysis. A combination of two already known techniques, extraction in acid medium and electrophoresis on starch gel in the presence of insoluble polyvinyl-pyrrolidone (P.V.P.) enabled the authors to determine three enzymes in most of the coffee trees : acid Phosphatase (**Phos. A**), dehydrogenase Malate (**Mdh**), and Esterase (**Est**).

The interest of the technique to reveal simple genetic characters is illustrated by the determination of allozyme **Phos. A** 1.05 in the species *C. arabica*. Four diploid, allogamous species — *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica* and *C. eugenioides* — were found to be characterised by their isoenzymatic frequencies. The first two have greater enzymatic affinities with one another than with others. As regards the species *C. arabica*, the taxa *C. canephora*, *C. congensis* on the one hand, and *C. eugenioides* on the other hand have affinities which involve different isozymes. These two groups are complementary in the reconstitution of the zymogrammes **Phos. A** and **Est** of the species *C. arabica*.

ANALYSE DE LA VARIABILITÉ DES POPULATIONS NATURELLES DES CAFÉIERS DIPLOÏDES (*Coffea* sp.)

Observations sur la teneur en caféine et sur le polymorphisme enzymatique

J. BERTHAUD

ORSTOM, Man, Côte d'Ivoire

F. BERTHOU

ORSTOM, Adiopodoumé, BP V51, Abidjan, Côte d'Ivoire

Les prospections de caféiers sylvestres ne sont pas limitées à la simple récolte de matériel végétal, elles se poursuivent au contraire par l'analyse de la variabilité des différentes caractéristiques de ce matériel. La variabilité des populations qui apparaît lors des prospections n'est pas liée à leur diversité génétique. En effet, en forêt, les caféiers ont des phénotypes variés fortement influencés par leur histoire individuelle. En général, l'estimation de la richesse génétique de ces populations ne peut se faire qu'après leur mise en collection dans un milieu homogène. Toutefois, certains caractères peuvent être observés immédiatement après les prospections. Parmi ceux-ci se trouve un caractère quantitatif intéressant : la teneur en caféine, peu sensible aux conditions de milieu (Charrier-

Berthaud, 1975). Les analyses du polymorphisme enzymatique s'appliquent à des systèmes génétiques stables. Elles peuvent donc être conduites sur du matériel provenant directement des prospections. Il est alors possible d'avoir rapidement une image de la richesse enzymatique des espèces prospectées. L'analyse complète de la variabilité de ces populations n'est entreprise qu'ultérieurement, après mise en collection.

Nous présenterons donc des résultats sur la variabilité des populations naturelles de caféiers lue sur le caractère de teneur en caféine et le polymorphisme enzymatique. Ce matériel à l'étude est prélevé directement dans les populations sylvestres ou après mise en collection en Côte d'Ivoire (Man et Divo) selon les espèces et leur étape de mise en culture.

TENEUR EN CAFÉINE

Il n'a pas toujours été possible de collecter de nombreux arbres pour avoir une image complète de la variation de ce caractère à l'intérieur des différentes

populations naturelles. Les données du tableau I concernent alors la variation du caractère au niveau de l'espèce.

Tableau I. — Variabilité de la teneur en caféine (% M.S.) des différentes espèces prospectées et données antérieures (Bibliographie et Collections C.I.)

Espèces	Niveau d'échantillonnage et provenance	Nombre d'arbres analysés	Moyenne	Etendue de variation	Données antérieures (collections)
<u>C. eugenioides</u>	espèce Kenya	12	0,53	0,35 - 0,77	0,23 - 0,51
<u>C. liberica</u>	populations Centrafrique	55	1,18	0,52 - 1,80	0,97 - 1,81
<u>C. stenophylla</u>	une population Côte d'Ivoire	28	1,29	0,89 - 1,86	1,60 - 1,85
<u>C. canephora</u>	espèce Côte d'Ivoire	20	2,76	1,91 - 3,64	1,40 - 4,0
<u>C. arabica</u>	espèce Ethiopie	383	1,20	0,77 - 1,90	0,6 - 1,3

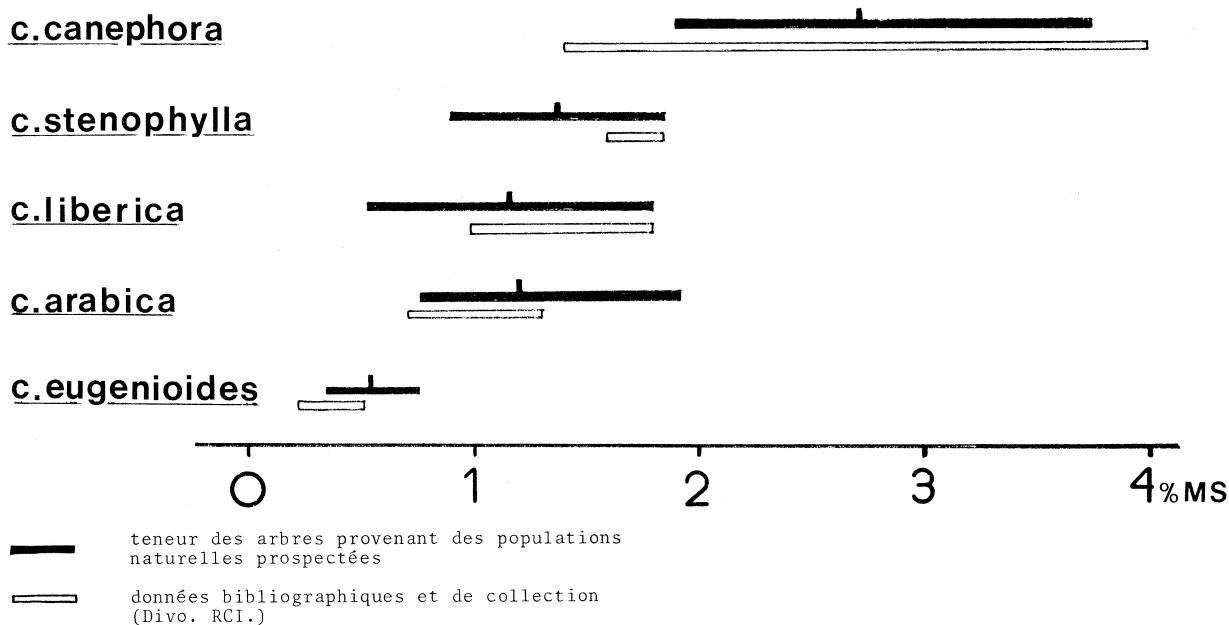


Fig. 1. — Teneur en caféine chez différentes espèces de caféiers

Ce tableau montre le niveau moyen de la teneur en caféine pour les différentes espèces. On notera tout particulièrement l'intérêt des *C. eugenioides* à très faible teneur en caféine et la situation extrême de *C. canephora* avec une moyenne de 2,76 % M.S.

L'étendue de variation pour ce caractère est toujours très large, quelle que soit l'espèce considérée. En outre, si nous comparons nos données provenant de caféiers de populations naturelles à celles trouvées dans la littérature ou provenant des collections de l'IFCC à Divo (Côte d'Ivoire), il est évident que les prospections ont permis d'élargir considérablement la variabilité (fig. 1).

Bien que l'espèce *C. stenophylla* ne soit observée qu'à travers une seule population, celle de la forêt de l'Ira en Côte d'Ivoire, sa variabilité est importante.

Pour l'espèce *C. liberica*, il a été examiné cinq populations de Centrafrique. Il n'y a pas de différence entre les moyennes par population et les étendues de variation sont très proches les unes des autres. Pour

chaque population les teneurs sont comprises entre 0,9 et 1,8 % M.S. Toutefois deux arbres trouvés dans une population de Bangassou ont des teneurs beaucoup plus faibles de 0,52 et 0,53 % M.S.

Dans cette espèce la grande variabilité contenue à l'intérieur de chaque population ne permet pas de mettre en évidence une différenciation géographique. Il est à noter toutefois qu'il s'agit des populations du seul territoire centrafricain. Des analyses sur des populations couvrant l'aire de répartition très vaste (du Liberia au Soudan et au Zaïre) donneraient peut-être des résultats différents. Dans un précédent article (Charrier, Berthaud, 1975), nous avons montré que les formes de *C. canephora* spontanées en Côte d'Ivoire (type Kouilou) avaient des teneurs en caféine significativement plus élevées que celles des formes provenant du Zaïre (type Robusta). Aussi, quand il existe une différenciation géographique, doit-elle être recherchée sur l'ensemble de l'aire de répartition des différentes espèces de caféiers.

POLYMORPHISME ENZYMATIQUE

Les études portent sur trois systèmes enzymatiques pour lesquels les techniques d'électrophorèse sont déjà au point (Berthou, Trouslot, 1977). Il s'agit de la Phosphatase acide (Phos A), de la Malate déshydrogénase (MDH) et des Estérasés α et β . Dans ces premières analyses aucune hypothèse ne sera faite sur

le déterminisme génétique des fractions électrophorétiques. En outre nous ne présenterons pas une étude complète de toutes les données, mais seulement quelques situations particulières tirées des populations des différentes espèces.

C. stenophylla

L'analyse porte sur les descendances d'une trentaine d'arbres de la population de la forêt de l'Ira (République de Côte d'Ivoire). Elle n'a révélé aucun polymorphisme sur les trois systèmes enzymatiques considérés. La signification de cette homogénéité ne pourra être connue qu'après la prospection d'autres populations de caféiers de cette espèce. S'agit-il d'une restriction de variabilité due à une adaptation à un milieu très précis ? On notera que pour le caractère teneur en caféine cette population est tout de même très variable.

C. congensis

Pour cette espèce on compare les différentes populations prospectées en Centrafrique. Il s'agit de trois populations situées sur l'Oubangui et distantes de plus de 200 km les unes des autres : Anginga, Louma et Mboulou-Loukoussou. Les populations Mboulou et

Loukoussou doivent être considérées comme deux échantillons d'une même grande population.

La variabilité de ces populations est considérable pour les trois enzymes étudiés : Phos A, MDH, Estérase. Nous nous limiterons à l'analyse de la variabilité estérase. Chaque plante analysée est caractérisée par un ensemble de fractions électrophorétiques (apparaissant sous forme de bandes après révélation du zymogramme). La comparaison des différents phénotypes se fait dans un espace à n dimensions, n étant le nombre total de bandes présentes. L'analyse en composantes principales permet d'extraire les axes privilégiés de la variation totale et fournit une représentation graphique de la position des différents phénotypes (on trouvera en annexe 1, p. 390, la matrice de corrélation entre les différentes bandes et les composantes des différents vecteurs propres). L'analyse porte sur huit bandes estérases α et β dans les quatre populations citées, chaque population étant représentée par trente individus.

On notera les associations des bandes A et C ainsi que G et H, en corrélation négative. Les études génétiques ultérieures devraient révéler s'il s'agit d'allozymes.

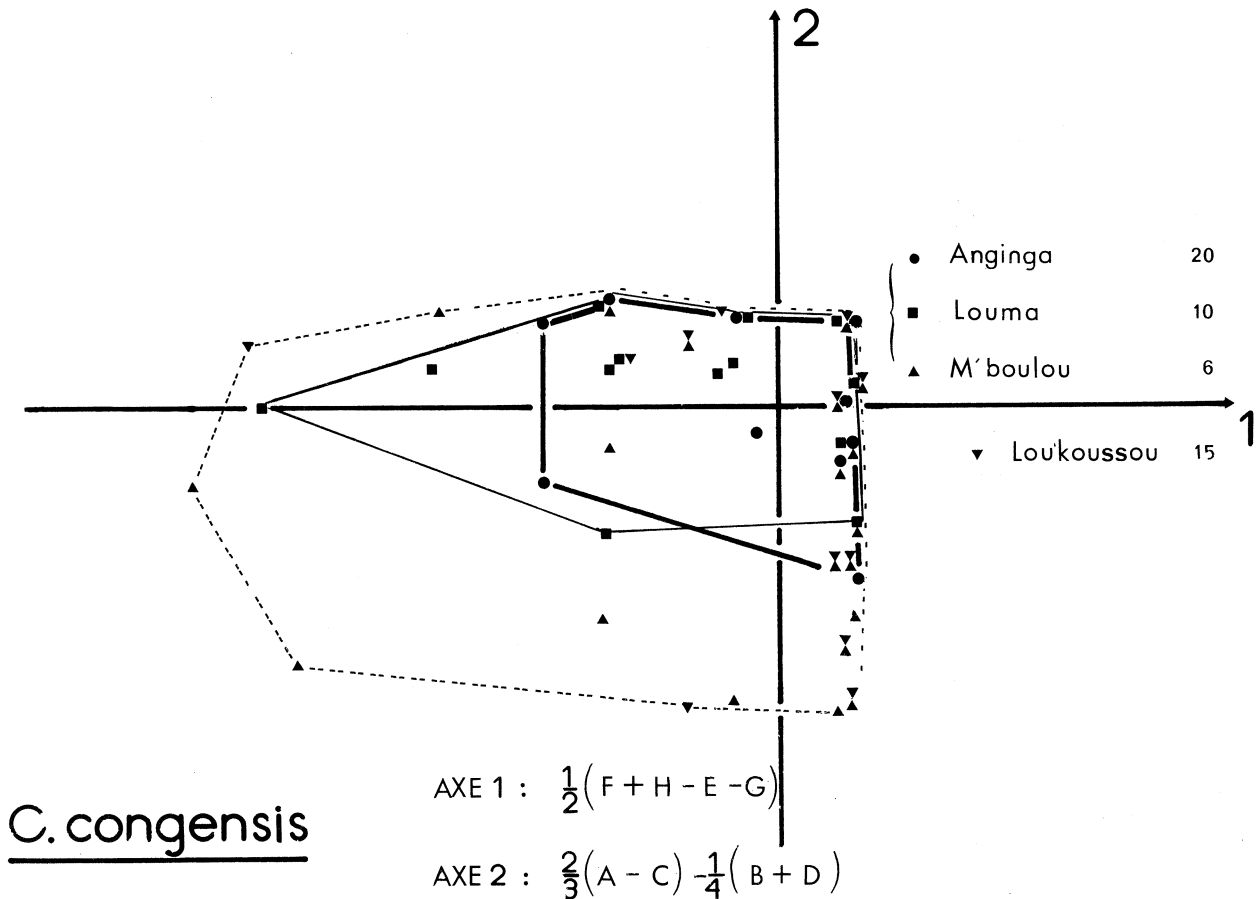


Fig. 2. — Projection sur le plan des axes 1 et 2 des points représentant les phénotypes estérases α et β des *C. congensis* des populations naturelles centrafricaines

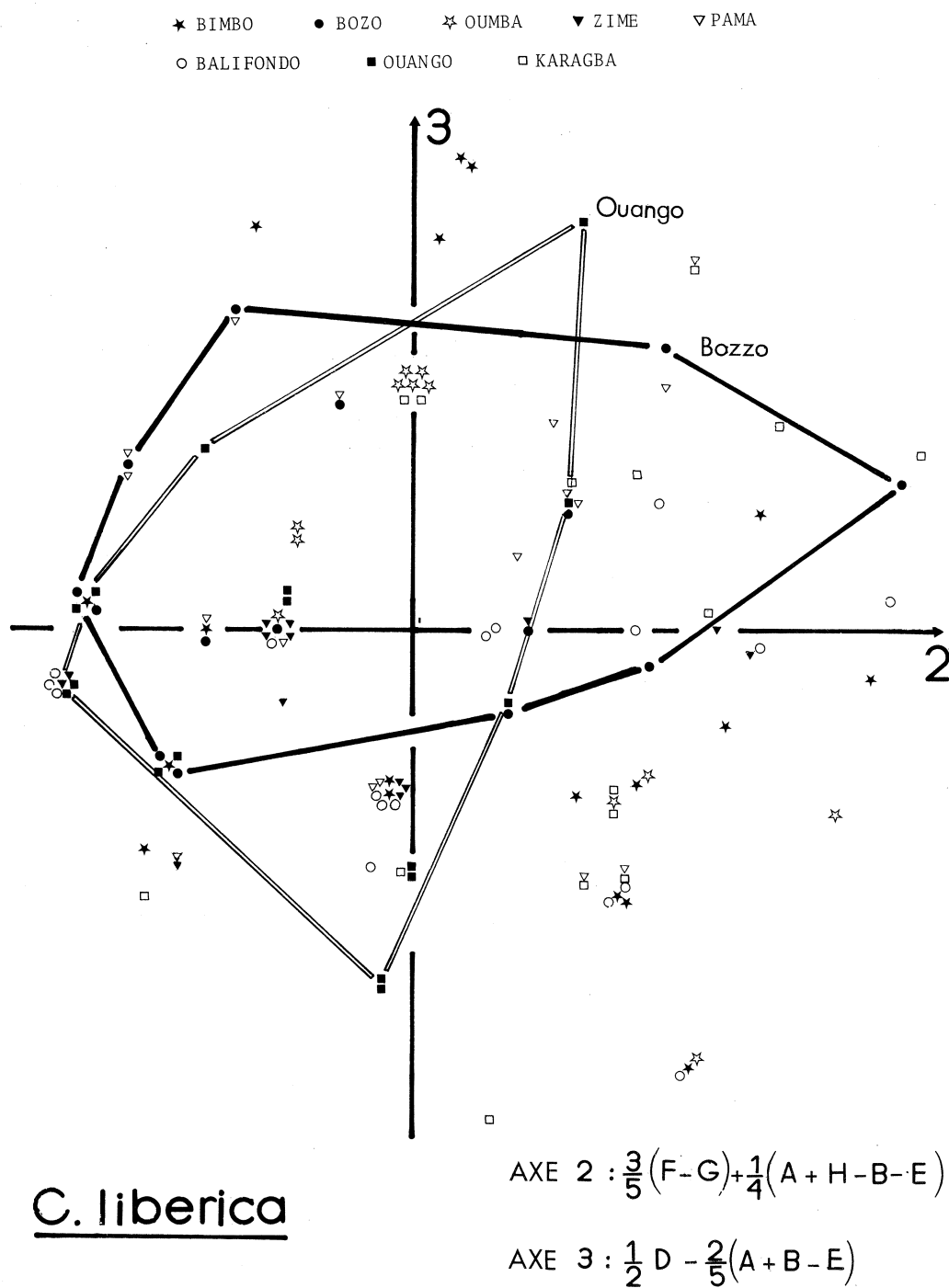


Fig. 3. — Projection sur le plan des axes 2 et 3 des points représentant les phénotypes phosphatase acide et estérase β des *C. liberica* var. *excelsa* des populations naturelles centrafricaines

Près de 50 % de la variation totale s'exprime selon les axes 1 et 2 de la figure 2. L'axe 1 représente essentiellement les estérases α et l'axe 2 les estérases β . Ces deux axes n'étant pas en corrélation, les variabilités des estérases α et β sont donc bien distinctes.

A partir de la représentation graphique (fig. 2) il est possible de présenter quelques remarques :

— Un phénotype se retrouve abondamment dans toutes les populations. En effet pour trente individus on le retrouve : vingt fois dans la population Anginga, dix fois dans celle de Louma, cinq et quinze fois dans les populations de Mboulou et Loukoussou. Les autres phénotypes sont tous variés.

— La population la moins variable est celle d'Anginga. Elle présente peu de variabilité pour les estérases α et β . La population de Louma exprime une variabilité surtout sur l'axe correspondant aux estérases α , tandis que la variabilité des populations Mboulou-Loukoussou se déploie sur les deux axes.

Selon les populations, la variabilité est organisée différemment. Il semblerait en outre que l'on ait un enrichissement de la variabilité des populations de *C. congensis* de l'amont (Anginga) vers l'aval (Mboulou-Loukoussou).

Des prospections ultérieures sur une aire géographique plus large (Congo, Zaïre) devraient permettre de mieux connaître l'organisation des variabilités intrapopulations et de vérifier s'il y a véritablement un enrichissement génétique de l'amont vers l'aval (échanges génétiques orientés).

C. liberica var. *excelsa*

Les méthodes utilisées sont identiques à celles du paragraphe précédent. Nous avons retenu quatre bandes variables de deux systèmes enzymatiques, phosphatase acide (Phos A) et estérase β . Huit populations, représentées chacune par seize individus couvrent l'ensemble de l'aire prospectée en Centrafrique.

L'axe 1 fait intervenir toutes les fractions tandis que l'axe 2 (fig. 3) montre surtout l'opposition entre les fractions F et G des estérases β . Sur l'axe 3 (fig. 3) apparaît l'opposition entre les fractions A, B et D de l'enzyme Phos A. On voit donc que les axes 2 et 3 sont orientés préférentiellement l'un par la variation estérase et l'autre par la variation phosphatase acide.

La projection des différents points correspondant à l'ensemble des phénotypes, sur les axes 2 et 3 (fig. 3) montre la grande variabilité d'ensemble, mais aussi la présence de phénotypes communs à plusieurs populations, pouvant se situer en dehors de l'aire de variation de certaines populations. Les populations de Bozo et Ouango fournissent deux exemples de différenciation. La population de Bozo a une variabilité qui s'exprime surtout sur l'axe 2, c'est-à-dire une variabilité des estérases β , tandis que dans la population de Ouango c'est l'enzyme Phos A qui est très variable. Comme chez *C. congensis*, il existe dans cette espèce un grand polymorphisme enzymatique. Un début de différenciation est décelable, mais se fait selon des axes différents pour chaque population.

DISCUSSION-CONCLUSION

L'examen de ces premiers résultats permet de mieux comprendre comment s'organisent les populations naturelles de caféiers. Les conséquences de ces informations se situent au niveau du schéma de prospection lui-même et du choix des géniteurs intervenant dans les différentes hybridations envisagées.

La situation trouvée dans la population de l'Ira de l'espèce *C. stenophylla* est originale puisque cette population très hétérogène pour le caractère teneur en caféine ne manifeste aucun polymorphisme sur les trois enzymes étudiés. Il conviendra donc d'observer d'autres populations pour avoir une image correcte du type de variation existant chez cette espèce.

Pour les autres espèces étudiées les différentes populations sont très variables. Les débuts de différenciation observés se font selon des axes variés. Nous noterons toutefois que nos observations ne portent que sur des populations appartenant à une aire géographique assez restreinte, correspondant au territoire centrafricain. Une vision d'ensemble ne pourra être donnée que par l'étude de matériel dont les provenances recouvrent l'ensemble de l'aire de répartition de chaque espèce.

Pour tenir compte de ces résultats dans un schéma de prospection des caféiers nous devons souligner deux points.

D'une part toutes les populations de ces espèces allogames sont très variables, tout au moins pour certains caractères. Il est donc intéressant de collecter une quantité importante de matériel dans chaque population découverte.

D'autre part s'il existe une différenciation géographique à l'intérieur de ces espèces, elle ne se manifeste que sur de très grandes distances, comme nous l'avons mis en évidence pour la teneur en caféine des *C. canephora*. Les prospections doivent donc tendre à reconnaître l'ensemble de l'aire de répartition géographique des différentes espèces.

En outre, au niveau d'un schéma d'amélioration des caféiers par voie d'hybridation, il est nécessaire d'introduire un nombre important de géniteurs de chaque espèce pour utiliser au mieux la variabilité dont on dispose et favoriser l'expression d'interactions particulières. On peut donc penser à des croisements population à population, en mettant à profit l'autostérilité de ces différentes espèces.

Ces premiers résultats permettent donc de proposer une conduite plus rationnelle des prospections et d'évaluer la richesse génétique du matériel récolté avant de l'intégrer dans un programme d'amélioration des caféiers.

BIBLIOGRAPHIE

1. J. BERTHAUD, J.-L. GUILLAUMET, D. LE PIERRES, M. LOURD, 1977. — Les prospections de caféiers sauvages et leur mise en collection. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. ; ASIC (Paris), 1979, p. 365-372.
2. F. BERTHOU, P. TROUSLOT, 1977. — Analyse du polymorphisme enzymatique dans le genre *Coffea* : adaptation

- d'une méthode d'électrophorèse en série. Premiers résultats. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. ; ASIC (Paris), 1979, p. 373-383.
3. A. CHARRIER, J. BERTHAUD, 1975. — Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 19, n^o 4, sept.-déc., p. 251-264.

Annexe I. — Polymorphisme enzymatique dans l'espèce *C. congensis*. Matrice des corrélations intercaractères et tableau des composantes des vecteurs propres (ABCD estérases β , EFGH estérases α)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1,000	-0,235	-0,586	-0,049	0,010	-0,037	-0,034	0,024
B	-0,235	1,000	-0,027	0,145	0,040	-0,009	-0,054	-0,019
C	-0,586	-0,027	1,000	0,153	-0,027	0,060	0,054	-0,087
D	-0,049	0,145	0,153	1,000	0,036	-0,001	-0,085	0,110
E	0,010	0,040	-0,027	0,036	1,000	-0,691	0,108	-0,130
F	-0,037	-0,009	0,060	-0,001	-0,691	1,000	-0,313	0,322
G	-0,034	-0,054	0,054	-0,085	0,108	-0,313	1,000	-0,692
H	0,024	-0,019	-0,087	0,110	-0,131	0,322	-0,692	1,000

	λ	A	B	C	D	E	F	G	H
V1	26,8	0,012	0,028	-0,022	0,070	-0,429	0,540	-0,505	0,514
V2	20,8	0,677	-0,248	-0,643	-0,238	0,029	-0,071	-0,027	0,062
V3	16,8	0,007	0,316	-0,137	0,387	0,543	-0,362	-0,413	0,367
V4	13,1	0,063	0,737	-0,385	0,283	-0,258	0,193	0,188	-0,294

Annexe 2. — Polymorphisme enzymatique dans l'espèce *C. liberica* var. *excelsa*. Matrice des corrélations intercaractères et tableau des composantes des vecteurs propres (ABCD phosphatase acide, EFGH estérase β)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1,000	-0,061	-0,306	-0,238	0,008	0,071	-0,190	0,030
B	-0,061	1,000	-0,469	-0,090	-0,037	-0,058	0,102	0,021
C	-0,306	-0,469	1,000	-0,245	-0,137	0,127	0,122	-0,113
D	-0,238	-0,090	-0,245	1,000	0,056	0,027	-0,092	0,208
E	0,008	-0,037	-0,137	0,056	1,000	-0,379	-0,248	-0,070
F	0,071	-0,058	0,127	0,027	-0,379	1,000	-0,284	-0,018
G	-0,191	0,102	0,122	-0,092	-0,248	-0,284	1,000	-0,184
H	0,031	0,021	-0,113	0,208	-0,070	-0,018	-0,184	1,000

	λ	A	B	C	D	E	F	G	H
V1	20,9	-0,260	-0,375	0,667	-0,240	-0,326	0,194	0,281	-0,259
V2	18,3	0,272	0,290	0,056	0,137	-0,216	0,613	-0,562	0,286
V3	16,5	-0,430	-0,425	0,216	0,515	0,427	-0,253	-0,175	0,210
V4	15,9	0,446	-0,334	0,130	-0,449	0,512	-0,199	-0,275	-0,305

BERTHAUD (J.), BERTHOU (F.). — **Analyse de la variabilité dans les populations naturelles de caféiers diploïdes (*Coffea* sp.) : observations sur les teneurs en caféine et sur le polymorphisme enzymatique.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 385-391, fig., tabl., réf.

L'observation d'un caractère quantitatif, la teneur en caféine, chez les espèces diploïdes met en évidence la richesse génétique des différentes populations prospectées. La variabilité intrapopulation est très forte et suffit en général à expliquer toutes les variations mesurées.

L'analyse du polymorphisme enzymatique par les techniques d'électrophorèse montre qu'il existe des populations homogènes et des populations très hétérogènes pour ces caractères. L'étude sur les estérases des *C. congensis* prospectés en Centrafrique montre l'existence d'un grand nombre de phénotypes à l'intérieur de chacune des populations. Les observations sur les *C. liberica* var. *excelsa* confirment la grande variabilité intrapopulation et la différenciation de certaines populations selon des axes différents.

Ces premières études font apparaître la grande variabilité des populations naturelles de caféiers pour les caractères observés et montrent l'intérêt de ce matériel pour un programme d'amélioration de cette plante.

BERTHAUD (J.), BERTHOU (F.). — **Analysis of the variability in natural populations of diploid coffee trees (*Coffea* sp.) : observations on the caffeine content and enzymatic polymorphism.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 385-391, fig., tabl., réf.

The determination of a quantitative character, the caffeine content, in diploid species revealed the genetic richness of the different populations surveyed. Intrapopulation variability is very marked and in general sufficient to explain all the variations recorded.

An investigation of enzymatic polymorphism by means of electrophoresis technique showed that there exists homogeneous populations and very heterogeneous populations for these characters. The study of the esterases of *C. congensis* surveyed in Central Africa revealed the existence of a large number of phenotypes within each of these populations. The observations on *C. liberica* var. *excelsa* confirmed the great intrapopulation variability and the differentiation of some populations along different axes.

These first studies demonstrate the great variability of natural coffee tree populations as regards the characters observed and show the interest of this material in improvement programmes for this plant.

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES HYBRIDES INTERSPÉCIFIQUES TÉTRAPLOÏDES ET HEXAPLOÏDES *COFFEA ARABICA* L. × *C. CANEPHORA* PIERRE

J. BERTHAUD

ORSTOM, BP V51, Abidjan, Côte d'Ivoire

La recherche de nouvelles variétés de caféiers intéressantes pour leurs qualités organoleptiques et adaptées au milieu tropical humide tel celui de la Côte d'Ivoire a été tentée depuis une dizaine d'années par l'hybridation interspécifique des deux espèces cultivées *Coffea arabica* et *C. canephora*. Les nombres de chromosomes de ces deux espèces étant différents les hybrides triploïdes réalisés directement sont stériles. Pour obtenir des hybrides fertiles, deux possibilités s'offrent au généticien :

— d'une part réaliser des hybrides tétraploïdes ($2n = 4x = 44$) appelés « Arabusta » en croisant les *C. arabica* par des *C. canephora* dont le nombre de chromosomes a été préalablement doublé. L'intérêt de cette voie d'amélioration a été montré à l'IFCC par Capot (1968, 1972),

— d'autre part obtenir des hybrides hexaploïdes ($2n = 66$) à partir des hybrides triploïdes ($2n = 33$) par le doublement du nombre de leurs chromosomes. Des plantes de ce type avaient déjà été réalisées (Orozco, 1974). Grâce à la méthode du doublement du nombre de chromosomes mise au point par Berthou (1975), nous avons pu obtenir plusieurs centaines de ces arbres. Nous avons alors entrepris l'observation d'un certain nombre de ces hybrides pour évaluer leurs caractéristiques et leurs potentialités.

Les résultats présentés concernent la comparaison d'hybrides hexaploïdes et arabusta de première génération obtenus à partir des mêmes géniteurs *C. arabica* et *C. canephora*.



DONNÉES BIOLOGIQUES

Le mode de reproduction

L'espèce *C. arabica* est à autogamie prépondérante alors que l'espèce *C. canephora* est allogame. Le mode de reproduction des hybrides hexaploïdes et Arabusta est mis à l'épreuve par la comparaison du rendement

graines/ovules de fleurs en autopollinisation avec celui d'autres fleurs laissées en pollinisation libre. Les résultats sont consignés dans le tableau I.

On voit donc que les Arabusta sont très autostériles (10 % autofertilité) alors que les hybrides hexaploïdes, avec 30 % d'autofertilité, peuvent utiliser les deux

Tableau I. — Comparaison des résultats des autofécondations et des fécondations libres selon les types d'hybrides

Type d'hybride	Type de fécondation	Nombre de fleurs	Nombre de fruits	$\frac{\text{Fruits}}{\text{Fleurs}} \times 100$	% fruits normaux
Hexaploïdes	Autofécondation	2455	150	6,1	24
	Fécondation libre	2729	528	19,3	22
Arabusta	Autofécondation	8944	225	2,5	8
	Fécondation libre	7486	1886	25,2	20

régimes de reproduction. Afin que la pollinisation ne soit pas un facteur limitant, il est à prévoir la constitution de champs multiclonaux tant pour les Arabusta que pour les hybrides hexaploïdes.

Estimation de la fertilité

La viabilité des grains de pollen est estimée par le taux de grains de pollen à cytoplasme normalement coloré (carmin acétique à 2 %). Chez les espèces *C. arabica* et *C. canephora* ce taux est voisin de 90 %. Les hybrides triploïdes de départ ont un taux toujours inférieur à 10 %. Chez les hybrides hexaploïdes il est de 66 % et seulement de 26 % chez les Arabusta. Les valeurs moyennes et étendues de variation sont récapitulées dans le tableau II.

La fertilité femelle est estimée par les taux de graines caracolis et de loges vides. Les taux de loges vides sont faibles chez les espèces *C. arabica* et *C. canephora*. Par contre dans l'espèce *C. canephora* le taux de graines caracolis est élevé et supérieur à 30 %.

Tableau II. — Taux de grains de pollen colorés chez les deux types d'hybrides

Type d'hybride	Taux moyen	Etendue de variation
Arabusta	26,3 ± 7,7	14 - 44
Hexaploïdes	66,2 ± 10,1	46 - 80

Chez les hybrides hexaploïdes et Arabusta, le taux de graines caracolis est plus important (55-60 %). La différence entre les deux types d'hybrides est surtout marquée pour le taux de loges vides. Les hybrides hexaploïdes ont en effet un taux de loges vides de 31 %, contre 16 % chez les Arabusta (tableau III).

On voit donc que malgré une fertilité potentielle plus élevée les hybrides hexaploïdes ont une fertilité réelle plus faible que celle des Arabusta. Cette mauvaise fertilité, due surtout à un taux élevé de loges vides, pourrait être liée à une moins bonne adaptation aux conditions de basse altitude et à la structure homozygote des hybrides de départ.

Tableau III. — Variation des taux de graines caracolis et de graines flottantes selon le type d'hybride

Type d'hybride	% graines caracoli	Etendue de variation	% graines flottantes	Etendue de variation
Arabusta (2) n = 91	55 ± 10 (1)	26 - 84	16 ± 7	5 - 52
Hexaploïdes (2) n = 29	59 ± 11	40 - 80	31 ± 16	9 - 48

- (1) écart type de la distribution de l'ensemble des échantillons
(2) nombre de génotypes hybrides utilisés pour les mesures.

CARACTÉRISTIQUES TECHNOLOGIQUES

Granulométrie

Dans ce chapitre nous examinerons trois caractéristiques : la granulométrie ou taille des graines, la teneur en caféine, la qualité à la tasse.

La taille des grains est estimée par les dimensions des graines en parche et par le poids de cent graines.

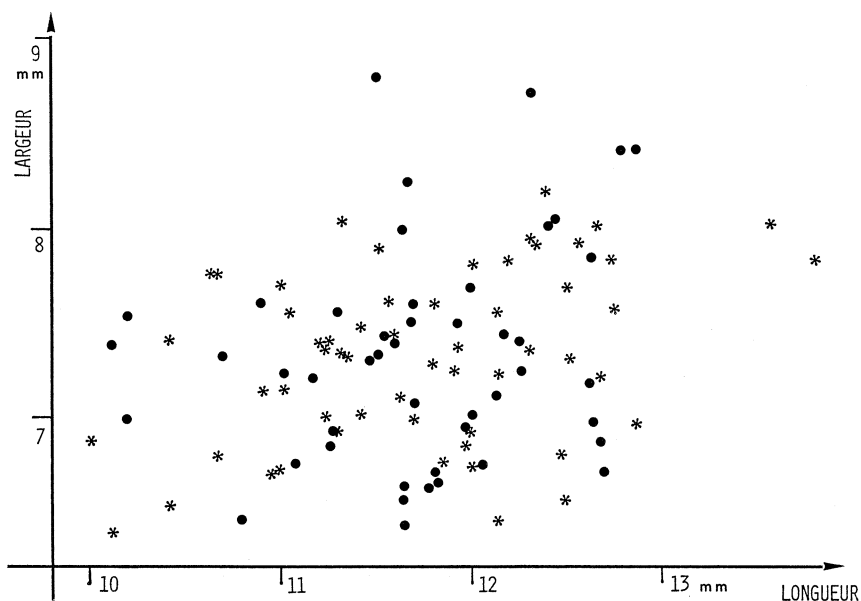


Fig. 1. — Dimensions des graines en parche, en mm, des hybrides Arabusta et hexaploïdes : * hybrides Arabusta, ● hybrides hexaploïdes

Dimensions et formes des graines en parche

Les dimensions des graines en parche permettent l'évaluation du volume potentiel des graines et donc de leur poids potentiel. La parche correspondant à l'endocarpe du fruit, les dimensions des graines en parche sont des caractéristiques maternelles.

Les deux grandeurs mesurées sont la longueur et la largeur des graines. Les résultats sont présentés sur la figure 1. Les astérisques représentent les coordonnées des Arabusta tandis que les hybrides hexaploïdes apparaissent sous forme de cercles. On voit que les deux nuages de points se superposent. Les dimensions moyennes pour les deux groupes d'hybrides et l'espèce *C. arabica* sont celles mentionnées dans le tableau IV.

Tableau IV. — Dimensions des graines en parche des hybrides hexaploïdes, des Arabusta et de *C. arabica*

	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Hexaploïdes	11,7 ± 0,7	7,4 ± 0,6
Arabusta	11,7 ± 0,8	7,3 ± 0,5
<i>C. arabica</i>	10,7	6,9

Les hybrides ont donc des graines en parche un peu plus volumineuses que celles des parents *C. arabica* dans les mêmes conditions de milieu.

Tant chez les Arabusta que chez les hexaploïdes, des analyses de variance hiérarchiques montrent que toute la variabilité se trouve à l'intérieur des descendance. Il n'a pas été possible de mettre en évidence un effet dû aux croisements. Cette variabilité est exploitable par

sélection, mais oblige à manipuler un grand nombre d'individus : dans chaque descendance il est possible de trouver des plantes donnant des graines très allongées ou très arrondies.

Poids de cent graines

Chez les parents *C. arabica* le caractère que constitue le poids de cent graines est très sensible au milieu. Pour les mêmes origines, dans des conditions climatiques peu favorables (Station de Man), le poids de cent graines est inférieur de 30 à 50 % à ce qu'il est lorsque les plantes sont installées dans un milieu plus propice (Mont Tonkoui, 1.100 m).

En basse altitude à la Station de Man, pour quarante-quatre arbres hexaploïdes appartenant à onze combinaisons, le poids moyen est de $12,7 \pm 2,4$ g, alors que pour cent sept arbres Arabusta (douze combinaisons) il est de $17,9 \pm 2,4$ g. La différence en faveur des Arabusta est donc particulièrement évidente.

Puisque les dimensions des graines sont identiques chez les hybrides hexaploïdes et les Arabusta, les différences dans les poids de cent graines sont dues au développement incomplet de l'albumen des graines hexaploïdes, signe d'une mauvaise adaptation aux conditions de culture de ces hybrides. D'ailleurs le même clone hexaploïde (393 H) a un poids de cent graines de 10 g en basse altitude et de 18 g au Mont Tonkoui (1.100 m).

Teneur en caféine

On exprime la teneur en caféine en pourcentage de la matière sèche des graines (% M.S.). Sur un ensemble

Tableau V. — Valeur moyenne et étendue de variation (% M.S.) de la teneur en caféine des parents *C. arabica*, *C. canephora*, des hybrides hexaploïdes et Arabusta

	Type des plantes			
	Espèce <i>C. arabica</i>	Hybrides hexaploïdes	Hybrides Arabusta	Espèce <i>C. canephora</i>
Valeur moyenne	1,2	1,4	2,0	2,5
Etendue de variation	0,8 - 1,9	1,0 - 1,9	1,5 - 2,5	1,3 - 3,8

de quatre-vingt-dix Arabusta appartenant à douze familles hybrides, la valeur moyenne de cette teneur est de $\bar{x} = 1,95 \pm 0,20$; pour trente-quatre hybrides hexaploïdes (onze combinaisons), elle est de 1,38. Les étendues de variation sont portées dans le tableau V.

Les hybrides hexaploïdes ont donc des teneurs moyennes inférieures de 0,6 % M.S. à celles des Arabusta. Alors que les hybrides Arabusta ont des teneurs voisines de celles des géniteurs *C. canephora*, les hybrides hexaploïdes ont des teneurs qui se rapprochent plus de celles de l'espèce *C. arabica*.

Il est à remarquer que les arbres appartenant à une même combinaison hybride peuvent avoir des teneurs en caféine très différentes. On peut donc penser utiliser cette variabilité intradescendance en fixant par la multiplication végétative les hybrides les plus intéressants, c'est-à-dire ayant une teneur en caféine voisine de 1,5 % M.S. pour les Arabusta et voisine de 1 % pour les hybrides hexaploïdes.

Tests de dégustation

Les quantités disponibles de graines d'hybrides hexaploïdes ne permettaient pas des tests de dégustation à grande échelle. Les tests portent seulement sur quatre cafés provenant d'hybrides hexaploïdes, trois cafés d'Arabusta, un préparé à partir de *C. arabica* et un autre à partir de *C. canephora*.

Les dégustations et les analyses statistiques des tests

ont été effectuées par les laboratoires de l'IFCC à Montpellier (*). Nous rapporterons ici quelques-uns des résultats qui nous ont été transmis.

Quatre caractéristiques sont analysées, le corps et la force, l'astringence, l'acidité, l'amertume. Une note de synthèse a été ensuite attribuée. Cette note de synthèse intègre plus que les quatre premières caractéristiques étudiées.

Les hybrides hexaploïdes donnent un café dont le corps et la force sont moins importants que ceux du café de *C. canephora*. Il est également moins astringent. Pour le caractère d'acidité le groupe est éclaté : on retrouve les cafés d'hybrides hexaploïdes parmi les plus et les moins acides. L'amertume est plus faible dans tout le groupe des hybrides hexaploïdes. Pour la note de synthèse on a le classement suivant, du meilleur au moins bon :

Trois cafés d'hybrides hexaploïdes, un café de *C. arabica*, un café d'Arabusta, un café d'hybride hexaploïde, deux cafés d'Arabusta, un café de *C. canephora*. Le meilleur est qualifié d'acceptable.

Les tests demandent à être confirmés sur des quantités plus grandes de café et sur un nombre d'arbres plus élevé. Ces premiers résultats sont tout de même encourageants.

Pour toutes les caractéristiques technologiques on a vu que les hybrides hexaploïdes sont plus proches de *C. arabica* que les Arabusta. Cette espèce a donc une part importante à jouer dans l'amélioration de ce type d'hybride.

DISCUSSION - CONCLUSION

De ces quelques résultats il est possible de tirer les informations suivantes :

Le doublement du nombre de chromosomes des hybrides triploïdes, et donc l'obtention des hybrides hexaploïdes, provoque une amélioration spectaculaire de la fertilité. Ce doublement du nombre de chromosomes crée toutefois des structures parfaitement homozygotes. L'effet d'inbreeding peut donc être important.

Par ailleurs ce niveau de ploïdie est nouveau chez le caféier. La régulation du fonctionnement des génomes doit donc être originale et complexe.

En outre, dans les hybrides réalisés sont confrontées

deux espèces provenant d'environnements très différents. L'une, le *C. arabica*, est adaptée à des altitudes élevées et donc à des températures moyennes et à un climat contrasté, tandis que l'autre, le *C. canephora*, est originaire d'un milieu plus chaud, à humidité élevée et constante. Il apparaît normal que les hybrides soient mal adaptés à des conditions écologiques satisfaisantes pour les seuls parents *C. canephora*.

(*) Lettre J. C. Vincent du 26.11.76 : échantillon N° 401/76 à 409/76.

L'amélioration des hybrides hexaploïdes doit donc s'organiser autour de ces trois points.

Une amélioration est envisageable au niveau des géniteurs. Nous avons montré l'importance de l'espèce *C. arabica* dans nos combinaisons hybrides. Aussi le choix de nouveaux géniteurs *C. arabica* mieux adaptés au climat de la caféiculture ivoirienne devrait-il permettre une amélioration de ces hybrides.

La méthode d'amélioration la plus rapide paraît être la recherche de phénotypes intéressants dans les descendances, à multiplier végétativement. En effet les croisements entre les hybrides hexaploïdes de première génération (H_0) donnent des descendances variables à structure plus hétérozygote. Les chances de trouver des individus ayant des caractéristiques intéressantes sont augmentées. Par cette méthode un supplément de vigueur pourra être obtenu et également une meilleure adaptation au milieu. A chaque génération les hybrides possédant les caractéristiques les plus favorables pourront être fixés par la multiplication végétative, la technique de bouturage utilisée pour le *C. canephora* étant transposable à ce type de plante.

Actuellement, nous disposons d'une base de départ

de cinq cents hybrides hexaploïdes environ. Dès à présent cinq mille jeunes plants descendant par fécondation libre de la génération H_0 sont installés en champ de présélection. Des descendances provenant de croisements contrôlés le seront en 1978.

Nous noterons que puisque toutes les espèces diploïdes ont le même génome de base (Charrier, 1976) il est possible de proposer des hybrides interspécifiques hexaploïdes où l'espèce *C. canephora* pourrait être remplacée par d'autres espèces diploïdes. Les résultats obtenus à Madagascar le confirment (Lanaud, communication verbale).

Nos premiers hybrides ont des exigences climatiques intermédiaires entre celles de *C. arabica* et celles de *C. canephora*. Ce type d'hybride pourrait donc être intéressant pour la caféiculture de certains pays, à altitude moyenne. Si l'adaptation de nos hybrides à un climat de basse altitude est réussie au cours des prochaines générations de croisements, ces arbres ne seront pas mis en concurrence avec les types Arabusta, mais, au contraire, contribueront à l'élargissement de la variabilité dont on dispose pour satisfaire les exigences des différents utilisateurs.

BERTHAUD (J.). — **Caractéristiques comparées des hybrides interspécifiques tétraploïdes et hexaploïdes *Coffea arabica* L. × *C. canephora* Pierre.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 393-397, tabl., fig.

Les premiers hybrides hexaploïdes sont comparés aux hybrides tétraploïdes (Arabusta) pour différentes caractéristiques biologiques et technologiques.

L'autostérilité est moins marquée chez les hybrides hexaploïdes que chez les Arabusta. Alors que la fertilité mâle des hybrides hexaploïdes est supérieure à celle des Arabusta, leur fertilité femelle est moins bonne. Le problème principal des hybrides hexaploïdes est leur moindre adaptation au climat de « basse altitude », ce qui se traduit par des taux importants de loges vides et une granulométrie plus faible. Par contre, la teneur en caféine des hybrides hexaploïdes (1,4 % M.S.) est inférieure à celle des Arabusta (2,0 % M.S.). La qualité à la tasse de ces hybrides hexaploïdes paraît satisfaisante.

L'amélioration des hybrides hexaploïdes devrait être obtenue par le choix de nouveaux géniteurs et surtout par la sélection des clones, multipliés végétativement, à l'intérieur de descendances provenant des croisements entre les premiers hybrides. De telles descendances plus variées et plus hétérozygotes sont actuellement mises en place pour mettre à l'épreuve leur adaptation aux conditions climatiques de la caféiculture ivoirienne.

BERTHAUD (J.). — **Comparative characteristics of interspecific tetraploid and hexaploid hybrids *Coffea arabica* L. × *C. canephora* Pierre.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 393-397, tabl., fig.

The first hexaploid hybrids were compared with the tetraploid hybrids (Arabusta) for various biological and technological characteristics.

Self-sterility is less marked in hexaploid hybrids than in Arabusta. Whereas male fertility in hexaploid hybrids is greater than that in Arabusta, their female fertility is not as good. The main problem regarding hexaploid hybrids is their lesser ability to adapt to a « low altitude » climate, which is reflected by a greater proportion of empty loculi and smaller bean size. On the other hand, the caffeine content of the hexaploid hybrids (1.4 % DM) is smaller than that of the Arabusta (2.0 % DM). The cup quality of these hexaploid hybrids appears to be satisfactory.

The improvement of the hexaploid hybrids should be obtainable by choosing new parents and especially by breeding clones, propagated vegetatively, within the progenies of the crosses between the first hybrids. Such more varied and more heterozygotic progenies are at present being tested for their adaptability to the climatic conditions of coffee culture in Ivory Coast.

LA STRUCTURE GÉNÉTIQUE DU GENRE *COFFEA* ; SES CONSÉQUENCES POUR L'AMÉLIORATION DES CAFÉIERS CULTIVÉS



A. CHARRIER

ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire

La classification taxonomique du genre *Coffea* par Chevalier (9), qui groupait les caféiers du globe en quatre sections — *Eucoffea*, *Mascarocoffea*, *Paracoffea* et *Argocoffea* —, sert habituellement de référence. Nous l'utiliserons sous sa forme modifiée par Leroy (19, 20) qui limite le genre *Coffea* aux caféiers spontanés d'Afrique (*Eucoffea*) et de la région malgache (*Mascarocoffea*) (*).

(*) A l'exclusion des *Argocoffea* et des *Calycosiphonia*, Leroy regroupe les autres caféiers présentant la placentation ovarienne des *Coffea* dans les genres (ou sous-genres) voisins *Paracoffea* et *Psilanthus* ; le seul représentant du genre *Psilanthopsis*, *P. kapakata*, est à rapprocher des *Eucoffea* par ses affinités en croisement (4).

La richesse taxonomique du genre *Coffea* rend compte de la diversité des formes et des adaptations des caféiers spontanés. Celle-ci ne s'accompagne que d'une modification limitée des nombres chromosomiques et des modes de reproduction. A l'exception de l'espèce tétraploïde *C. arabica*, à quarante-quatre chromosomes et à autogamie prépondérante, tous les *Coffea* étudiés sont diploïdes à vingt-deux chromosomes et généralement autostériles.

Les rares recherches traitant des affinités génétiques et cytogénétiques des caféiers ne concernaient jusqu'à maintenant que des combinaisons interspécifiques de la section des *Eucoffea* et surtout les croisements avec *C. arabica* (5, 6, 14, 26, 28). Aussi avons-nous étendu ces études aux relations en hybridation de vingt-six taxons de *Mascarocoffea* et des quatre principales espèces d'*Eucoffea* (*C. arabica*, *C. canephora*, *C. liberica* et *C. eugenioides*). Nos résultats préliminaires ont été présentés au 7^e Colloque international sur la chimie des cafés (7). Les informations acquises depuis sur le comportement méiotique et la fertilité des hybrides F₁, associées aux données d'autres auteurs, permettent de proposer une première synthèse sur les affinités génétiques et cytogénétiques des différents groupes de caféiers.

Nous analyserons d'abord les relations des espèces diploïdes entre elles avant d'étudier leurs rapports avec l'espèce tétraploïde *C. arabica*. Les conséquences de la structure évolutive du genre *Coffea* pour l'amélioration des caféiers cultivés seront ensuite esquissées.

LES AFFINITÉS DES ESPÈCES DIPLOÏDES

La figure 1 illustre les relations en croisement de quelques espèces de *Coffea* d'après le nombre d'hybrides viables obtenus pour cent fleurs. Ces taux de réussite varient beaucoup en valeur absolue avec l'espèce prise comme parent femelle, les génotypes utilisés et les conditions de milieu. Cependant les valeurs moyennes obtenues fournissent une estimation relative des affinités des espèces hybridées.

Celles-ci sont complétées par l'étude du comportement méiotique et de la fertilité des hybrides F_1 . Le tableau I regroupe les résultats acquis en utilisant les paramètres suivants :

— le nombre moyen des différentes associations chromosomiques par cellule mère des grains de pollen (CMP) ;

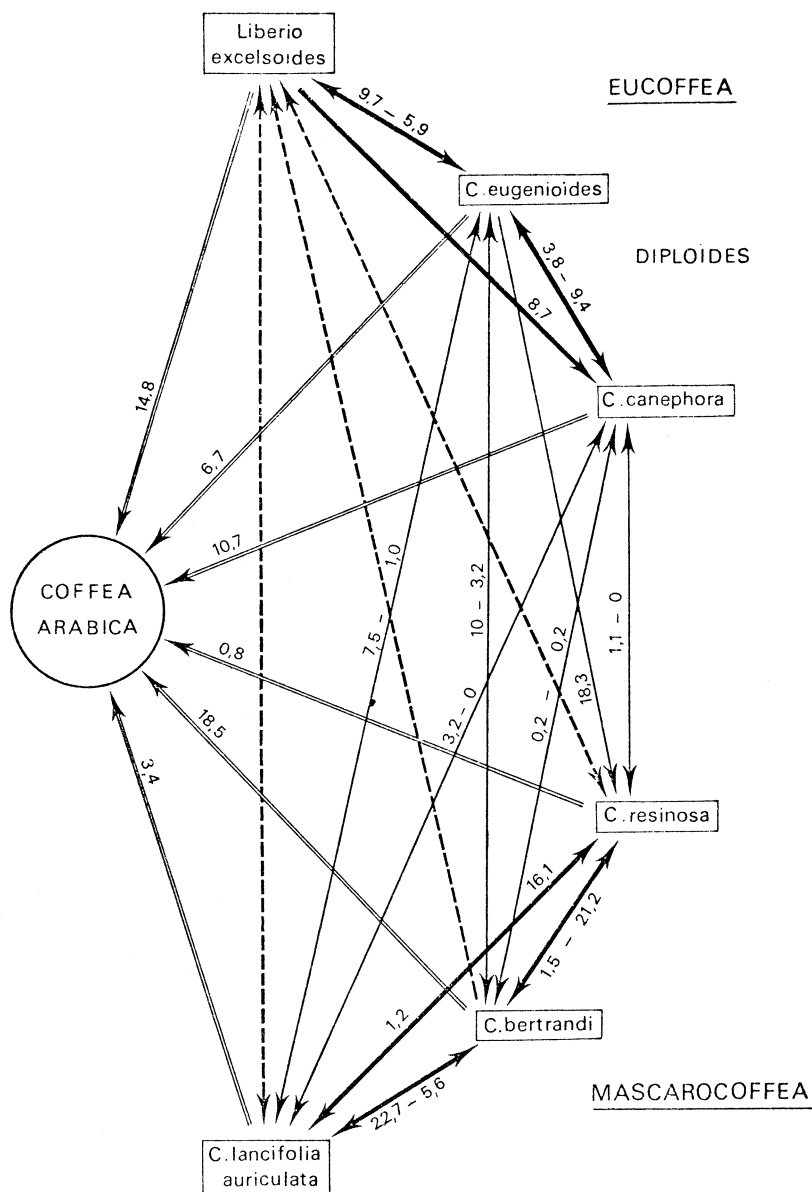


Fig. 1. — Réussite des croisements entre les différents groupes de *Coffea* (exprimée en hybrides pour 100 fleurs)

Tableau I. — Comportement méiotique des hybrides F₁ entre espèces de *Coffea* diploïdes (2n = 22 chromosomes)

Hybrides interspécifiques	Associations chromosomiques		P	FP	Auteurs
	I	II			
<i>C. canephora</i> x <i>C. congensis</i>	0,04 à 0,74 0,20 à 0,52	10,63 à 10,98 10,74 à 10,90	0,986 0,983	élevée 89 à 93 élevée	Leliveld, 1940 Charrier, 1976 Carvalho et Monaco, 1968
<i>C. liberica</i> x <i>C. dewevrei</i>	méiose normale (Rhoades)			74 à 90	
<i>C. canephora</i> x <i>C. dewevrei</i>	1,44	10,28	0,935	moyen	Leliveld, 1940
<i>C. canephora</i> x <i>C. liberica</i>	0,30 à 1,40	9,93 à 10,66	0,964	39	Chinnappa, 1970
<i>C. canephora</i> x <i>C. neo-arnoldiana</i>	1,16 à 1,20	10,40 à 10,42	0,946	64	Louarn (inédit)
<i>C. canephora</i> x <i>C. eugenioides</i>	1,30 à 2,22	9,89 à 10,35	0,920	43	Louarn, 1976
<i>Liberio-excelsoïdes</i> x <i>C. eugenioides</i>	souvent 2 I				Višveshwara, 1963
<i>C. canephora</i> x <i>C. kapakata</i>	1,28 à 1,64 1,50	10,18 à 10,36 10,25	0,934 0,932	35 moyen	Louarn (inédit) Leliveld, 1940
<i>C. canephora</i> x <i>C. lancifolia</i>	3,20	9,40	0,86	8	
<i>C. canephora</i> x <i>C. resinosa</i>	4,40 à 6,40	7,80 à 8,80	0,71 à 0,80	4 à 7	Charrier, 1976
<i>C. canephora</i> x <i>C. sp A311</i>	5,04	8,48	0,77	6	

— la proportion de cellules mères à appariement normal (onze bivalents) ;
— la viabilité pollinique (FP) estimée par la colorabilité des grains de variabilité au carmin acétique.

Chez les *Eucoffea* diploïdes, la réussite des croisements entre espèces appartenant au même groupe botanique s'apparente souvent à celle des croisements intraspécifiques. A titre d'exemple, citons les combinaisons *C. liberica* × *C. dewevrei* chez les *Pachycoffea* (5) et *C. canephora* × *C. congensis* chez les *Erythrocoffea* (12). Leurs hybrides F₁ vigoureux présentent, comme les espèces parentes, onze bivalents dans la plupart des cellules mères. Leurs fertilités élevées autorisent la sélection directe de plantes intéressantes.

Au contraire, les hybridations d'espèces d'*Eucoffea* appartenant à des groupes botaniques différents produisent moins d'hybrides (cinq à dix hybrides pour cent fleurs). Mentionnons des exceptions notoires à cette règle avec les combinaisons *C. liberica* × *C. stenophylla* et *C. canephora* × *C. kapakata* (5). Les hybrides F₁ *C. canephora* × *C. liberica*, *C. canephora* × *C. eugenioides*, *C. liberica* × *C. eugenioides* et *C. canephora* × *C. kapakata* montrent un peu moins d'appariement que les espèces parentes et des fertilités moyennes ; 40 à 50 % des cellules mères possèdent encore onze bivalents. L'amélioration de leur fertilité est recherchée par diversification des combinaisons de première et de deuxième génération.

Tous les croisements réalisés avec vingt-six taxons de *Mascarocoffea* donnent de nombreux hybrides F₁ vigoureux, même quand il s'agit d'espèces très différentes appartenant à des groupes botaniques distincts. Les taux de réussite dépassent couramment dix hybrides pour cent fleurs. Les quatre premiers hybrides F₁ étudiés présentent, comme leurs parents, un comportement méiotique normal et des fertilités élevées (7). Les nouvelles combinaisons hybrides qui fleurissent sont aussi fertiles que les premières, même s'il s'agit de croisements intéressant des groupes botaniques différents. On peut donc s'attendre à ce que le comportement cytogénétique de tels hybrides F₁ soit aussi de type diploïde.

Par contre, des obstacles marqués à l'hybridation se manifestent entre *Eucoffea* et *Mascarocoffea*. Les graines hybrides à albumen incomplet donnent souvent naissance à de jeunes plantes chétives à développement perturbé. Dans la combinaison *C. eugenioides* × *Mascarocoffea* les taux de réussite atteignent encore un à dix hybrides pour cent fleurs. L'obtention d'hybrides *C. canephora* × *Mascarocoffea* apparaît très difficile (moins d'un hybride pour cent fleurs) et celle des croisements *C. liberica* × *Mascarocoffea* encore plus limitée (7). Chez les hybrides F₁ *C. canephora* × *Mascarocoffea*, on observe encore une bonne affinité des chromosomes des génomes en présence. Toutefois, la proportion d'univalents s'accroît et celle des cellules mères à onze bivalents devient faible (0 à 8 %). L'utilisation de ces hybrides F₁ quasi stériles nécessite une étude de la restauration de leur fertilité.

Deux remarques s'imposent à la lecture de ces résultats :

- 1) les trois paramètres biologiques utilisés pour caractériser le comportement des hybrides — fréquence d'appariement p , proportion de cellules mères à appariement normal et viabilité pollinique — sont en corrélation étroite et varient de façon continue quand on considère l'ensemble des combinaisons ;
- 2) les cellules mères à onze bivalents témoignent de la parenté des garnitures chromosomiques confron-

tées ; même les hybrides F_1 entre espèces éloignées comme *C. canephora* et les *Mascarocoffea* forment quelques cellules à appariement complet par allosyndèse.

Ces données cytogénétiques suggèrent que les nombreux taxons diploïdes d'Afrique et de la région malgache dérivent d'un même génome de base. Leur diversification s'est accompagnée d'un début de différenciation génomique (variation continue du taux d'asynédèse) et géographique qui permet de reconnaître plusieurs sous-ensembles divergents (8, 13).

LES RELATIONS DES CAFÉIERS DIPLOÏDES AVEC *C. ARABICA*

Les taux de réussite des hybridations de *C. arabica* pris comme parent femelle avec les *Eucoffea* diploïdes et avec les *Mascarocoffea* atteignent en moyenne huit hybrides pour cent fleurs (8).

Le tableau II résume le comportement méiotique des différents hybrides F_1 triploïdes étudiés à ce jour. A la métaphase I, une partie des chromosomes reste sous forme d'univalents, les autres chromosomes s'apparient pour donner surtout des bivalents et quelques trivalents. Le nombre d'associations chromosomiques par cellule mère atteint au maximum onze bivalents potentiels (bivalents + trivalents). Remarquons que le taux d'asynédèse augmente de façon continue en passant des hybrides *C. arabica* × *Eucoffea* 2x (huit à onze univalents) aux hybrides *C. arabica* × *Mascarocoffea* (douze à dix-sept univalents), tandis que la proportion de cellules mères à onze bivalents potentiels décroît corrélativement. Ainsi, le début de différenciation mis en évidence entre *Eucoffea* et *Mascarocoffea* au niveau diploïde se trouve confirmé par le décalage de leur comportement méiotique vis-à-vis de *C. arabica*. Tous ces hybrides F_1 triploïdes sont vigoureux et quasi stériles.

Le comportement méiotique de type diploïde prépondérant et la situation géographique marginale de l'espèce *C. arabica* accréditent l'hypothèse d'une origine allotétraploïde. Un point paraît maintenant bien établi : la formation de onze bivalents potentiels par allosyndèse chez les hybrides triploïdes tend à montrer que l'un des génomes constitutifs de *C. arabica* est homéologue du génome commun aux *Coffea* diploïdes. De ce point de vue, les espèces africaines *C. canephora*, *C. liberica* et *C. eugenioides* présentent des affinités équivalentes en combinaison avec *C. arabica* (80 à 90 % de cellules mères à onze bivalents potentiels) ; les affinités des *Mascarocoffea* avec *C. arabica* sont moins bonnes, mais en continuité.

Le schéma évolutif du genre *Coffea* semble cohérent, mais l'origine allotétraploïde de *C. arabica* n'est pas pour autant résolue. Sa synthèse a été envisagée par hybridation de *C. eugenioides* avec les *Canephoroides* ou les *Liberio-excelsoïdes* (5, 12, 27) (*). Vu

(*) Cette hypothèse est confirmée par les résultats acquis par Berthou sur les affinités enzymatiques de ces espèces (cf. p. 373).

Tableau II. — Comportement méiotique des hybrides F_1 *C. arabica* × *Eucoffea* 2x ($2n = 33$ chromosomes)

Hybrides interspécifiques	Associations chromosomiques				% GMP à 11 bivalents	P	FP	Auteurs
	I	II	III	Autres				
<i>C. arabica</i> × <i>C. canephora</i>	14,4	5,4	2,60	-	-	-		Krug et Mendes, 1940
	7,80	9,75	1,61	0,21	89	0,764		Kammacher et Capot, 1972
	7,98	9,55	1,93	0,04	-	0,764		Chinnappa, 1968
	9,87	9,57	1,33	-	90	0,701	4	Louarn (inédit)
<i>C. arabica</i> × <i>Liberio-excelsoïdes</i>	9,28	9,64	1,44	0,03	77	0,719	6	Charrier, 1976
	9,70	9,64	1,34	-	92	0,706	7	Louarn (inédit)
<i>C. arabica</i> × <i>C. eugenioides</i>	10,07	9,45	1,33	-	62	0,693		Monaco et Médina, 1965
<i>C. arabica</i> × <i>C. kapakata</i>	11,3	9,7	0,80	-	49	0,664		Médina, 1963
<i>C. racemosa</i> × <i>C. arabica</i>								
<i>C. arabica</i> × <i>C. bertrandi</i>	11,9	8,6	1,3	-	24	0,639	1	
<i>C. arabica</i> × <i>C. perrieri</i>	12,4	8,2	1,4	-	21	0,625	2	Charrier, 1976
<i>C. arabica</i> × <i>C. pervilleana</i>	14,3	8,6	0,5	-	10	0,567	1	
<i>C. arabica</i> × <i>C. sp. A311</i>	17,1	7,7	0,2	-	2	0,482	1	

l'homologie chromosomique de ces espèces, le comportement méiotique des amphidiploïdes artificiels devrait s'apparenter à celui d'autotétraploïdes. Le passage vers l'amphidiploïde naturel à comportement méiotique diploïde prépondérant nécessiterait l'intervention de phénomènes variés tels que les appariements préférentiels ou des gènes de régulation de la synapsis ou la « diploïdisation ».

Considérons maintenant le comportement méiotique des dihaploïdes de *C. arabica* (1, 24, 29) : il indique des possibilités d'appariement des génomes constitutifs de *C. arabica* plus limitées que chez les hybrides F_1 obtenus avec les espèces de *Coffea* diploïdes les plus

différenciées. La synthèse de *C. arabica* requiert dans ces conditions soit la participation de formes ancestrales des caféiers différentes de celles qui sont actuellement connues, soit l'association au génome de base des *Coffea* diploïdes d'un deuxième génome plus différencié. Les genres affines des *Coffea* pourraient-ils jouer ce rôle ? Leroy (21) a proposé l'hypothèse d'une séquence phylogénétique *Paracoffea* → *Coffea*. Pour le moment, nos essais limités de croisement des *Coffea* avec les *Paracoffea* et *Psilanthus* restent un échec ; cette dernière hypothèse ne semble pas devoir être retenue.

CONSÉQUENCES POUR L'AMÉLIORATION DES CAFÉIERS CULTIVÉS

Limiter la sélection aux seuls caféiers Arabica et Robusta nous prive des larges possibilités d'amélioration génétique liées aux nombreuses espèces de *Coffea* spontanées. Celles-ci possèdent en effet des caractères originaux et intéressants d'architecture, de floraison et de fructification, d'adaptation pédoclimatique, de comportement vis-à-vis des maladies et parasites, de valeur qualitative du café. Leur utilisation dans un programme d'amélioration dépend essentiellement de l'organisation évolutive du genre *Coffea*. La synthèse que nous venons de présenter permet de définir des schémas d'amélioration basés sur deux données fondamentales :

- 1) chez les caféiers diploïdes, la diversification de nombreux phénotypes à partir d'un génome de base commun n'a pas entraîné pour autant la formation de barrières reproductives infranchissables et de divergences chromosomiques marquées ;
- 2) la nature exacte de l'allotétraploïde *C. arabica* n'est pas connue, mais la proximité de l'un des génomes constitutifs avec celui des caféiers diploïdes est bien établie.

Cette origine commune des caféiers diploïdes et leur continuité génétique autorisent le brassage de l'ensemble de cette variabilité inexploitée. Les seules limitations aux échanges géniques découlent du niveau de différenciation des espèces considérées.

En l'absence de toute barrière génétique interne, le sélectionneur tirera parti des interactions favorables entre les différentes formes affines d'une même espèce allogame polytypique. Ainsi, la domestication de *C. canephora* au cours du XX^e siècle repose sur un nombre limité d'origines spontanées, le Robusta essentiellement. L'échantillonnage de la variation géographique de cette espèce polytypique ne devrait en fait négliger aucune des dix ou quinze « espèces » et variétés de *C. canephora*. D'une façon générale, tout taxon qui donne en croisement avec *C. canephora* des descendances normalement fertiles est à prendre en considération

pour la sélection des souches cultivées en « basse altitude ». Tel est le cas de *C. congensis* qui a donné les hybrides « Congusta » cultivés à Java et à Madagascar (12). Cette possibilité d'élargissement de la variabilité génétique intraspécifique au sous-ensemble des *Canephoroides* est globalement transposable à celui des *Liberio-excelsoïdes*.

Par contre, le début de différenciation observé entre les différents groupes de caféiers diploïdes se traduit par une barrière partielle à l'hybridation, une limitation de la recombinaison dans les seules cellules mères à appariement normal et une diminution de la fertilité des hybrides F_1 . L'importance des barrières reproductives dépend des espèces considérées. La restauration de la fertilité des hybrides F_1 devient prioritaire. Louarn (22) a obtenu pour la combinaison *C. canephora* × *C. eugenioides* des individus normalement fertiles dès la deuxième génération hybride issue de recroisement ou par duplication chromosomique. On peut s'attendre à retrouver une situation analogue avec les combinaisons interspécifiques entre les espèces africaines *C. canephora* + *C. congensis*, *C. liberica* et *C. eugenioides*. La différenciation plus poussée des *Mascarocoffea* par rapport à *C. canephora* ne permet plus d'obtenir que de rares hybrides F_1 quasi stériles. Cependant, Lanaud (17) vient de mettre en lumière les possibilités de restauration de la fertilité des hybrides F_1 *C. kianjavatensis* × *C. canephora* et la nature des recombinaisons en deuxième génération.

C. arabica constitue l'autre pôle fondamental de l'amélioration des caféiers cultivés. Cette espèce allotétraploïde se singularise par son adaptation à l'altitude et la qualité reconnue de son café. Le café Arabica séduit les sélectionneurs au point que ceux-ci mettent tout en œuvre pour obtenir des formes hybrides proches de *C. arabica* et susceptibles dans certains cas de remplacer les variétés cultivées en « basse altitude ».

La création de structures allotétraploïdes proches de *C. arabica* consisterait à croiser deux espèces de

caféiers diploïdes avant ou après duplication chromosomique. La sélection d'amphidiploïdes à méiose diploïde et mieux adaptés à des milieux variés reviendrait à obtenir un « pseudo-arabica ». L'évaluation de telles structures est tentée avec les espèces *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica*, *C. eugenioides* et même les *Mascarocoffea*.

Afin d'utiliser les possibilités de recombinaison entre les génomes constitutifs de *C. arabica* et ceux des caféiers diploïdes, il existe plusieurs voies d'hybridation particulièrement étudiées avec les espèces cultivées *C. arabica* et *C. canephora*. La plus avancée est celle des hybrides « Arabusta » issus du croisement de *C. arabica* par le *Robusta* amené à l'état tétraploïde (3). Une autre formule consiste en l'obtention d'hybrides hexaploïdes par duplication chromosomique des hybrides triploïdes quasi stériles *C. arabica* × *C. canephora* (2). Une dernière voie concerne la régularisation du comportement méiotique et l'amélioration de la fertilité au cours des générations par recroisement des hybrides F₁ triploïdes, « Arabusta » et hexaploïdes utilisés comme relais ; les descendance

hybrides obtenues présentent alors des niveaux variés de ploïdie et différents dosages des génomes parentaux (3, 26, 28). En fait, les combinaisons hybrides avec *C. arabica* sont multiples et peuvent être diversifiées à l'extrême en remplaçant *C. canephora* par d'autres espèces de caféiers diploïdes et leurs hybrides. Cette généralisation apporterait d'autres aptitudes d'adaptation et de qualité aux variétés cultivées.

En conclusion, une connaissance plus approfondie de la structure génétique du genre *Coffea* nous a permis d'esquisser différentes voies d'amélioration des caféiers cultivés. Celles-ci font appel à l'ensemble de la diversité génétique des espèces sauvages, sans pour autant négliger les méthodes classiques de la sélection appliquée aux deux espèces cultivées. La réalisation de telles recherches nécessite la poursuite de la prospection des populations de caféiers spontanés et la constitution de réserves de gènes de la plupart des espèces du genre *Coffea* et des genres voisins. Un programme de cette ampleur est en cours de réalisation en Côte d'Ivoire dans le cadre d'une opération ORSTOM-IFCC.

BIBLIOGRAPHIE

1. J. BERTHAUD, 1976. — *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XX, n° 2, p. 91-96.
2. J. BERTHAUD, 1977. — ORSTOM (Paris), thèse multigr., 51 p., 22 tabl., 12 fig. — *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978, p. 3-12, n° 2, avril-juin 1978, p. 87-109.
3. J. CAPOT, 1972. — *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVI, n° 1, p. 3-18.
4. A. CARVALHO, L.C. MONACO, 1959. — *Bragantia* (Campinas), 18, p. 21-29.
5. A. CARVALHO, L.C. MONACO, 1968. — *Café* (Lima), vol. 9, n° 4, 19 p.
6. A. CARVALHO, F.P. FERWERDA, J.A. FRAHM-LELIVELD, D.M. MEDINA, A.J.T. MENDES, L.C. MONACO, 1969. — Landbouwhogeschool (Wageningen) Misc. Papers 4, p. 189-241.
7. A. CHARRIER, 1975. — 7^e Col. Int. Chimie Cafés (Hambourg), p. 483-495.
8. A. CHARRIER, 1976. — ORSTOM (Paris), thèse multigr., 304 p., 22 fig., 54 tabl., 15 pl. — Mémoires ORSTOM (Paris), n° 87, 1978, 223 p.
9. A. CHEVALIER, 1947. — *Encycl. biol.* XXVIII, Fasc. III, P. Lechevalier (Paris), 356 p.
10. C.C. CHINNAPPA, 1968. — *Curr. Sci.* (Bangalore), 37, p. 676-677.
11. C.C. CHINNAPPA, 1970. — *Genetica* (La Haye), 41, 1, p. 141-146.
12. P.J.S. CRAMER, 1957. — Inter American Institute of agricultural Sciences, Turrialba, Costa-Rica, 262 p.
13. Y. DEMARLY, 1975. — 7^e Col. Int. Chimie Cafés (Hambourg), p. 423-435.
14. F.P. FERWERDA, 1976. — In SIMMONDS (N. W.), Ed. Longman (Londres et New York), p. 257-260.
15. P. KAMMACHER, J. CAPOT, 1972. — *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVI, n° 4, p. 289-294.
16. C.A. KRUG, A.J.T. MENDES, 1940. — *J. Genet.* (Hyderabad), vol. 39, n° 2, p. 189-203.
17. C. LANAUD, 1977. — 8^e Col. Sci. Int. Cafés (Abidjan), ASIC (Paris), 1979, p. 411-416.
18. J.A. LELIVELD, 1940. — *Bergcultures*, 14 (12), 370-386.
19. J.F. LEROY, 1967. — *C.R. Acad. Sci.* (Paris), 265, p. 1043-1045.
20. J.F. LEROY, 1967. — *C.R. Acad. Sci.* (Paris), 265, p. 1373-1376.
21. J.F. LEROY, 1968. — Imp. Monnoyer (Le Mans), fasc. II, 38 p.
22. J. LOUARN, 1976. — *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XX, n° 1, p. 33-52.
23. D.M. MEDINA, 1963. — *Bragantia* (Campinas), 22, p. 299-318.
24. A.J.T. MENDES, O. BACCHI, 1940. — *Bol. Tech.* (Campinas), 77.
25. L.C. MONACO, D.M. MEDINA, 1965. — *Bragantia* (Campinas), 24, p. 191-201.
26. L.C. MONACO, A. CARVALHO, 1975. — 7^e Col. Int. Chimie Cafés (Hambourg), p. 497-504.
27. R.L. NARASIMHASWAMY, S. VISHVESHWARA, 1961. — *Indian Coffee* (Bangalore), vol. XXV, n° 3, p. 104-109.
28. J. SYBENGA, 1960. — *Bibliographia Genetica*, XIX, p. 217-316.
29. S. VISHVESHWARA, 1960. *Indian Coffee* (Bangalore), vol. 24, p. 123-124.
30. S. VISHVESHWARA, 1963. — *Caryologia* (Florence), 16, 2, p. 535-539.

CHARRIER (A.). — La structure génétique du genre *Coffea* ; ses conséquences pour l'amélioration des caféiers cultivés. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris) 1979, p. 399-405, fig., tabl., réf.

Cette première synthèse sur les affinités génétiques et cytogénétiques des différents groupes taxonomiques du genre *Coffea* repose sur l'étude des relations en croisement de vingt-six taxons originaires de la région malgache (*Mascarocoffea*) et des quatre principales espèces spontanées africaines — *C. arabica*, *C. canephora*, *C. liberica*, *C. eugenioides* (*Eucoffea*).

Les données cytogénétiques acquises sur de nombreuses combinaisons interspécifiques F₁ suggèrent que les espèces spontanées diploïdes d'Afrique et de la région malgache dérivent d'un même génome de base. L'évolution de chaque sous-ensemble s'accompagnerait d'une faible différenciation génomique.

Le comportement méiotique des hybrides triploïdes obtenus par croisement de la seule espèce tétraploïde *C. arabica* avec divers caféiers diploïdes, indique que l'un des génomes constitutifs de l'allotétraploïde *C. arabica* est homéologue du génome commun aux espèces diploïdes. Le début de différenciation mis en évidence au niveau diploïde entre *Mascarocoffea* et *Eucoffea* se retrouve dans leur confrontation avec *C. arabica*.

Les conséquences de l'organisation évolutive du genre *Coffea* sont discutées en rapport avec les schémas d'amélioration des caféiers cultivés.

CHARRIER (A.). — Genetic structure of the genus *Coffea* : consequences for the improvement of cultivated coffee. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 399-405, fig., tabl., réf.

This first synthesis on the genetic and cytogenetic affinities of the different taxonomic groups of the genus *Coffea* is based on the study of the relationships in crosses of twenty-six taxa that had their origin in the Malagasy region (*Mascarocoffea*) and the four principal wild African species — *C. arabica*, *C. canephora*, *C. liberica*, *C. eugenioides* (*Eucoffea*).

The cytogenetic data obtained from numerous interspecific F₁ combinations suggest that the wild diploid species of Africa and the Malagasy region are derived from the same basic genome. The evolution of each sub-set would appear to be accompanied by a weak genomic differentiation.

The behaviour at meiosis of the triploid hybrids obtained by crossing the only tetraploid species *C. arabica* with various diploid coffee trees indicates that one of the constituent genomes of the allotetraploid *C. arabica* is homeologous with the genome common to the diploid species. A beginning of differentiation between *Mascarocoffea* and *Eucoffea* revealed at the diploid level is also found when these are compared with *C. arabica*.

The consequences of the evolutionary organisation of the genus *Coffea* are discussed in relation with the cultivated coffee trees improvement schemes.

LES HYBRIDES ENTRE *COFFEA CANEPHORA* PIERRE ET *C. EUGENIOIDES* MOORE : exemple de croisement entre espèce de *Coffea* diploïdes africains pour l'amélioration qualitative des cafés produits en « basse altitude » (*)

J. LOUARN

ORSTOM, BP 434 MAN, Côte d'Ivoire

Les caféiers cultivés appartiennent essentiellement à deux espèces de *Coffea*, *C. arabica* et *C. canephora*, chacune adaptée à des conditions agroclimatiques différentes. Cette dernière croît dans les zones tropicales chaudes et humides dites de « basse altitude » et donne un café de moindre qualité possédant, entre autres caractéristiques, une teneur habituellement élevée en caféine (2 à 3 % M.S.). L'amélioration du café produit par *C. canephora*, d'abord recherchée par sélection intraspécifique, est entreprise depuis quelques temps par hybridation interspécifique avec l'autre espèce cultivée *C. arabica*, tétraploïde, à $2n = 4x = 44$ chromosomes (Capot, 1972 ; Berthaud, 1977). Une autre voie consiste à hybrider entre elles les différentes espèces de *Coffea* diploïdes africains ($2n = 2x = 22$ chromosomes). Dans ce cas on cherche à exploiter la variabilité existant dans ce pool, notamment en croisant *C. canephora* par des espèces aux caractéristiques intéressantes pour le sélectionneur, telles que la teneur en caféine (Charrier et Berthaud, 1975), l'adaptation pédoclimatique, la résistance aux aléas,...

La synthèse des quelques données de cytogénétique existant sur les croisements effectués entre espèces diploïdes de *Coffea* africains fait apparaître des niveaux de différenciation faibles et sensiblement équivalents entre eux, ainsi que leur appartenance à un même génome de base (Charrier, 1976). Ceci explique l'intérêt porté au développement de programmes d'hybridations interspécifiques les combinant pour améliorer le café produit en « basse altitude ».

L'exemple bien connu des hybrides *Congusta* (*C. congensis* × *C. canephora*) cultivés à Java et à Madagascar, hybrides chez lesquels on retrouve les caractères d'adaptation aux zones inondables et une plus faible teneur en caféine hérités de *C. congensis*,

(*) Cette communication est pour partie la synthèse d'un article de J. Louarn paru dans la revue « Café Cacao Thé » (Paris), vol. XX, n° 1, janv.-mars 1976, p. 33-52



donne une idée des possibilités offertes par les croisements effectués à l'intérieur d'un même groupe botanique, ici les Canephoroïdes.

De multiples combinaisons interspécifiques diploïdes ont été plus récemment obtenues à Madagascar et en Côte d'Ivoire. Le croisement entre *C. canephora* et *C. eugenioides* est actuellement le plus avancé. Il a été réalisé pour associer les qualités agronomiques de l'espèce cultivée à la faible teneur en caféine de *C. eugenioides* (0,1 à 0,8 % M.S.). Ce sont les résultats acquis sur ces hybrides que nous avons choisi de rapporter ici en tant qu'exemple d'étude de croisement entre espèces bien différenciées. Nous donnerons ensuite un aperçu du développement du programme d'hybridation interspécifique engagé en Côte d'Ivoire au niveau diploïde pour tenter d'améliorer le café produit en « basse altitude ».

L'hybridation des deux espèces est relativement aisée ; on obtient 9,4 hybrides pour cent fleurs mises en fécondation lorsque *C. canephora* est pris comme parent femelle et 3,8 % dans le croisement réciproque (Charrier, 1976).

Parmi les caractéristiques morphologiques de ces hybrides nous noterons la forte ramification plagiotrope héritée de *C. eugenioides*, les dimensions des feuilles et des pièces florales intermédiaires entre celles des deux espèces, les inflorescences ainsi que les dimensions des fruits et des graines proches de celles des parents *C. canephora*.

Bien qu'au stade jeune l'état chétif de certains hybrides F_1 ait nécessité leur greffage, à l'état adulte ceux-ci présentent une vigueur satisfaisante. Ils possèdent un potentiel floral élevé et sont auto-stériles comme leurs parents. Leur production de graines est moyenne : 600 à 1.100 g de café marchand pour la deuxième année de récolte réalisée sur quatre pieds placés en pollinisation libre réciproque. Dans ces conditions le taux de graines caracoli est supérieur à 66 %. Le poids de cent graines, 17 à 19 g, est du même ordre de grandeur que celui des parents *C. canephora* (18 à 21 g) et sans aucune commune mesure avec celui de *C. eugenioides* (2 à 3 g). La teneur en caféine des graines (1,2 à 1,5 % de la matière sèche) est intermédiaire entre celles des géniteurs *C. canephora* (1,9 à 2,3 % M.S.) et *C. eugenioides* (0,2 à 0,4 % M.S.). A l'image des parents *C. canephora*, les hybrides se sont révélés résistants aux races locales de *Hemileia vastatrix* alors que les parents *C. eugenioides* y sont particulièrement sensibles. Les premières dégustations de café correspondant à ces hybrides indiquent une infusion présentant moins de corps et de force que celle de *C. canephora*.

La forte proportion de graines caracoli chez les hybrides F_1 est l'indice d'une mauvaise fertilité. Nous en avons recherché la cause en étudiant le comportement des chromosomes au cours de la microsporogénèse.

Chez les parents, la majorité des cellules mères du pollen présentent en métaphase I un appariement normal de onze bivalents. Les rapports du nombre de chromosomes associés au nombre total de chromosomes (fréquence d'association « p ») sont supérieurs à 0,99 chez *C. canephora* et 0,96 chez *C. eugenioides*. Les disjonctions en anaphase I sont équilibrées 11-11.

Chez les hybrides F_1 l'appariement est moins bon, seulement 23 à 44 % des cellules renferment onze bivalents ; on trouve en moyenne dix, douze bivalents par cellule et les fréquences d'association sont comprises entre 0,89 et 0,95. A l'issue des disjonctions en anaphase I, la fréquence des groupes de onze chromosomes montés aux pôles des cellules mères varie de 38 à 62 %.

La viabilité du pollen estimée par le pourcentage des grains à cytoplasme dense coloré au carmin acétique est en moyenne de 96 % chez *C. canephora* et 89 % chez *C. eugenioides*. Elle est beaucoup plus basse chez les hybrides où les valeurs moyennes se situent entre 33 et 48 %.

Les fertilités femelles exprimées par le pourcentage de fruits contenant deux graines sont respectivement

de 56 et 55 % pour *C. canephora* et *C. eugenioides*. Elles se situent entre 9 et 20 % pour quatre hybrides F_1 placés en condition d'interpollinisation.

Bien que les deux caractères n'aient pas la même signification biologique, les hybrides se classent de la même façon vis-à-vis de la viabilité pollinique et de la fertilité femelle. La baisse de fertilité observée chez les hybrides F_1 semble donc due essentiellement à un manque d'appariement chromosomique chez ces mêmes hybrides.

La base génétique très restreinte des parents utilisés dans les croisements, en particulier une seule origine chez *C. eugenioides*, ne permet pas d'apprécier exactement la variabilité de cette combinaison interspécifique. Par rapport aux résultats obtenus une fertilité plus satisfaisante pourrait être atteinte en utilisant des géniteurs très différents. Quoi qu'il en soit, malgré un ensemble de caractéristiques agronomiques et phénologiques intéressantes, la baisse de fertilité constatée au niveau des hybrides F_1 constitue le principal obstacle à leur utilisation directe.

Les hybrides de deuxième génération de type $F_1 \times F_1$ ou obtenus par « back-cross » présentent des caractéristiques très variées résultant de la recombinaison des caractères parentaux à l'issue de la méiose des hybrides F_1 . L'appariement chromosomique est très différent selon les individus ; les fréquences d'associations relevées à la métaphase I de cinq pieds sont comprises entre 0,91 et 0,98. Les viabilités polliniques observées chez vingt-trois individus varient de 28 à 95 % avec tous les intermédiaires possibles. Une sélection de souches présentant les caractéristiques intéressantes de la combinaison « *Canephora* \times *Eugenioides* » peut donc être entreprise au niveau de la deuxième génération hybride.

Pour l'ensemble du matériel végétal étudié, parents, hybrides de première et de seconde génération, une droite de régression apparaît entre la viabilité pollinique « V.P. » et la fréquence d'association « p » (fig. 1).

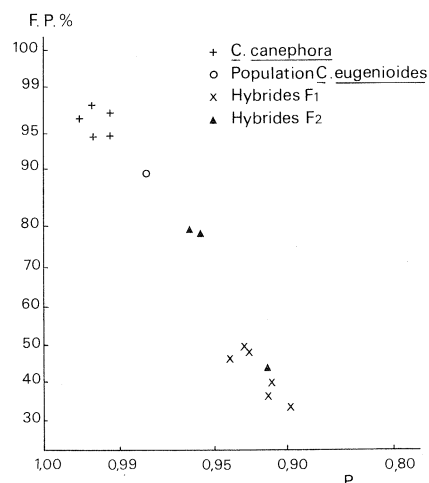


Fig. 1. — Relation entre la fertilité pollinique (F.P.) et l'appariement en métaphase I (p) (après transformation angulaire $y = 2 \arcsin \sqrt{x}$)

La stérilité chez les hybrides entre *C. canephora* et *C. eugenioides* est donc essentiellement de type « chromosomique ». De ce fait, on peut également envisager la restauration de la fertilité des hybrides F₁ par duplication chromosomique. Nous n'avons pu la mesurer que sur un seul individu : la viabilité pollinique passe de 39 % au niveau diploïde à 85 % au niveau tétraploïde. Cette méthode est donc certainement intéressante.

Chez les hybrides F₁, la fréquence élevée de cellules mères présentant un appariement normal de onze bivalents indique une bonne homologie entre les génomes des deux espèces. La baisse de fertilité liée au défaut d'appariement chez ces mêmes hybrides, la viabilité et la fertilité en partie restaurée de la deuxième génération hybride montrent l'absence de remaniements chromosomiques importants entre eux. La différenciation génétique entre *C. canephora* et *C. eugenioides* n'est donc pas très avancée.

La restauration de fertilité obtenue dans la deuxième génération hybride entre ces deux espèces appartenant à des groupes botaniques différents montre bien que toute combinaison intergroupe peut être envisagée avec des chances appréciables de succès.

En Côte d'Ivoire depuis fin 1975 nous avons commencé un programme d'hybridations interspécifiques au niveau diploïde. Les premiers résultats concer-

nent les espèces les plus anciennement représentées en collection : *C. canephora*, *C. liberica*, *C. stenophylla*. Plus de mille quatre cents hybrides représentant quarante combinaisons ont été obtenus entre ces trois espèces (tableau I). Il n'y a pas d'obstacle au croisement entre *C. liberica* et *C. stenophylla* ; si l'on prend la première espèce comme parent femelle, le taux moyen de réussite est en effet de quarante hybrides pour cent fleurs mises en fécondation et de 20 % dans le croisement réciproque. Les résultats d'hybridations entre *C. liberica* et *C. canephora* dépendent du sens du croisement : le taux de réussite moyen passe de 13 % en prenant *C. liberica* comme parent femelle à moins de 1 % dans le croisement réciproque. Les croisements entre *C. canephora* et *C. stenophylla*, qui donnent les taux de réussite de l'ordre de un hybride pour mille fleurs hybridées, sont quasiment stériles.

Les dernières prospections ORSTOM-IFCC en Centrafrique, au Kenya et en Côte d'Ivoire (Berthaud *et al.*, 1977) ont permis de rassembler un matériel abondant et varié appartenant principalement aux espèces *C. congensis*, *C. eugenioides* et *C. liberica*. Au fur et à mesure de leur entrée en floraison, ces espèces seront hybridées entre elles et avec *C. canephora* en vue de diversifier les combinaisons diploïdes pour l'amélioration des cafés produits en « basse altitude ».

Tableau I. — Résultats des hybridations effectuées en 1976 entre *C. canephora*, *C. liberica* et *C. stenophylla*

Croisement (♀ x ♂)	Nombre d'hybrides obtenus	Nombre de combinaisons	Nombre d'hybrides pour cent fleurs
<i>C. liberica</i> x <i>C. stenophylla</i>	780	11	40
<i>C. stenophylla</i> x <i>C. liberica</i>	140	5	20
<i>C. liberica</i> x <i>C. canephora</i>	450	18	13
<i>C. canephora</i> x <i>C. liberica</i>	32	3	0,4
<i>C. canephora</i> x <i>C. stenophylla</i>	4	1	< 0,1
<i>C. stenophylla</i> x <i>C. canephora</i>	3	2	0,1

BIBLIOGRAPHIE

1. J. BERTHAUD, 1977. — L'hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Obtention et comparaison des hybrides triploïdes, Arabusta et hexaploïdes. Thèse de 3^{ème} cycle, Orsay, 51 p. — *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978, p. 3-12, n° 2, avril-juin 1978, p. 87-109.
2. J. BERTHAUD, J.-L. GUILLAUMET, D. LE PIERRES, M. LOURD, 1977. — Les prospections de caféiers sauvages et leur mise en collection. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. ASIC (Paris), 1979, p. 365-372.

3. J. CAPOT, 1972. — L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Les hybrides « Arabusta ». *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XII, n° 2, avril-juin, p. 114-126.
4. A. CHARRIER, 1978. — La structure génétique des caféiers spontanés de la région malgache (*Mascarocoffea*). Leurs relations avec les caféiers d'origine africaine (*Eucoffea*). Mémoires ORSTOM, n° 87, 223 p.
5. A. CHARRIER, J. BERTHAUD, 1975. — Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIX, n° 4, sept.-déc., p. 251-264.

LOUARN (J.). — Les hybrides entre *Coffea canephora* Pierre et *C. eugenioides* Moore : exemple de croisement entre espèces de *Coffea* diploïdes africains pour l'amélioration qualitative des cafés produits en « basse altitude ». VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 407-410, fig., tabl., réf.

Le croisement entre ces deux espèces a été réalisé pour associer aux qualités agronomiques de *C. canephora* la faible teneur en caféine de *C. eugenioides* (0,2 à 0,8 % M.S.).

Les hybrides F₁ présentent un ensemble de caractéristiques intéressantes — vigueur satisfaisante, production moyenne, granulométrie équivalente à celle des géniteurs *C. canephora*, teneurs en caféine des graines (1,2 à 1,5 % M.S.) intermédiaires entre celles des parents — desservies par une fertilité insuffisante (taux de grains caracoli supérieur à 66 %).

L'appariement chromosomique observé en métaphase I dans les cellules mères du pollen des hybrides F₁ est de type diploïde subnormal : 35 % des cellules contiennent onze bivalents. Comparés aux parents, les hybrides montrent des diminutions de viabilité pollinique et de fertilité femelle en corrélation avec le défaut d'appariement.

La deuxième génération hybride, très variable pour les caractères étudiés, contient des individus présentant une fertilité normale. C'est surtout à son niveau que seront sélectionnés les pieds mères exprimant les caractéristiques intéressantes de la combinaison « *Canephora* × *Eugenioides* ».

Sachant que le faible degré de différenciation constaté ici entre *C. canephora* et *C. eugenioides* se retrouve entre diverses espèces diploïdes africaines, l'amélioration du café produit en basse altitude est recherchée en Côte d'Ivoire en associant principalement les potentialités des espèces *C. canephora*, *C. liberica*, *C. congensis* et *C. eugenioides*.

LOUARN (J.). — Hybrids between *Coffea canephora* Pierre and *C. eugenioides* Moore : an example of crosses between diploid African *Coffea* species for improving the quality of the « low altitude » coffees. VIII^e Colloque International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 407-410, fig., tabl., réf.

These two species were crossed in order to combine the agronomic qualities of *C. canephora* with the small caffeine content of *C. eugenioides* (0.2 to 0.8 % DM).

The F₁ hybrids have a set of interesting characteristics : satisfactory vigour, average yield, bean size equivalent to that of the parents *C. canephora*, bean caffeine content (1.2 to 1.5 % DM) intermediate between that of the parents, but handicapped by an insufficient fertility (proportion of peaberries greater than 66 %).

The chromosomal pairing observed in metaphase I in the mother cells of the pollen of the F₁ hybrids is of the sub-normal diploid type : 35 % of the cells contained eleven bivalents. Compared with the parents, the hybrids show a lesser pollen viability and lower female fertility correlated with pairing deficiency.

The second hybrid generation varied very greatly, so far as the characters studied were concerned, and contained individuals with normal fertility. It is especially at this level that will be selected the mother plants expressing the interesting characteristics of the « *Canephora* × *Eugenioides* » combination.

Knowing that the small degree of differentiation found here between *C. canephora* and *C. eugenioides* is also found between various African diploid species, the objective in Ivory Coast is to improve low altitude coffee products, principally by combining the potentialities of the species *C. canephora*, *C. liberica*, *C. congensis* and *C. eugenioides*.

DONNÉES SUR LES POSSIBILITÉS DE RESTAURATION DE FERTILITÉ D'HYBRIDES INTERSPÉCIFIQUES ENTRE CAFÉIERS MALGACHES ET AFRICAINS ET SUR LA VARIABILITÉ OBSERVÉE DANS UNE DESCENDANCE ISSUE DE BACK-CROSS

C. LANAUD

Division de Génétique
Centre de Recherches de l'IFCC, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Cette étude est destinée à illustrer les problèmes que pose le transfert de caractères de l'espèce *C. kianjavatensis* dans l'espèce *C. canephora* par voie de « back-cross ». Ceci sera fait au moyen de l'étude

simultanée des fertilités polliniques, des structures méiotiques et des réassociations de caractères dans une même famille « back-cross » 1.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

Le matériel végétal est composé d'un représentant de l'espèce malgache *C. kianjavatensis* (A 213), caractérisée par un port conique, des ramifications secondaires abondantes, des entre-nœuds courts, de petites feuilles. Ses inflorescences sont uniflores et peu nombreuses, portées par du vieux bois principalement. Le déclenchement des floraisons a lieu en septembre dans les conditions climatiques de la côte est malgache.

Le deuxième parent, à l'origine des croisements, est un représentant de l'espèce africaine *C. canephora* (157), dont les caractéristiques morphologiques classiques s'opposent à celles du parent *C. kianjavatensis* : port cylindrique, ramifications secondaires rares, entre-nœuds longs, grandes feuilles ; inflorescences pluriflores nombreuses et portées sur du bois jeune. Le déclenchement des floraisons a lieu en juin.

L'hybride MC 90, issu du croisement A 213 (♀) × 157 (♂) a été observé ainsi que la descen-

dance issue du « back-cross » MC 90 (♀) × *C. canephora*. Cette descendance, représentée par trente arbres, n'a permis des observations sur les plans floral et végétatif que sur quatorze d'entre eux. Les structures méiotiques de douze arbres ont pu être analysées.

Les hybridations ont été faites par Louarn et Charrier. Une description complète des *Mascarocoffea*, dont *C. kianjavatensis*, et une analyse méiotique de MC 90 sont consignées dans la thèse de Charrier (1977).

Méthodes

La fertilité du pollen est évaluée par coloration au carmin acétique. Les méioses sont observées après coloration des chromosomes par un mélange d'hématoxyline acétique ferrique et de carmin acétique ; les anomalies rencontrées aux différents stades : pachytène, métaphase 1, télophase 1, métaphase 2, et

télophase 2, permettent de leur attribuer une note de régularité. La description d'environ trois mille cellules mères de pollen a permis le traitement statistique de ces données, au moyen de l'analyse en composantes principales (Anderson, 1960).

La diversité morphologique des parents, de l'hybride F_1 et des « back-crosses », observée sur treize caractères végétatifs et floraux, est représentée statistiquement par une analyse des correspondances (Benzécri, 1975).

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Analyse de la diversité morphologique des hybrides et de leurs parents

La figure 1 permet de représenter sur un seul plan 66 % de la variabilité totale. Trois caractères interviennent principalement dans la définition du premier axe (51 % de la variation), ce sont :

- la qualité du bois florifère,
- l'intensité des ramifications secondaires,
- le port de l'arbre.

Le deuxième axe exprime 15 % de la variation totale et représente principalement la variation des caractères suivants :

- nombre d'inflorescences par nœud,
- diamètre des rameaux plagiotropes,
- couleur des jeunes feuilles.

Selon l'axe 1 (fig. 1), le nuage des points représentatifs des plantes issues de « back-cross » s'étale de l'hybride de première génération MC 90 jusqu'à *C. canephora* (157) ; par contre, selon le deuxième axe, le nuage de points s'étale du parent *C. kianjavatensis* jusqu'au-delà du parent *C. canephora*, manifestant ainsi de larges transgressions.

On peut remarquer sur la figure 1 la position particulière des plantes MC 903 et MC 904 par rapport à l'ensemble des « back-crosses ». Ils sont les plus proches de l'hybride F_1 : MC 90 et du parent *C. kianjavatensis* A 213 pour les caractères représentés par le premier axe ; par contre, ceci n'est plus vrai lorsque l'on considère leur description faite sur le deuxième axe.

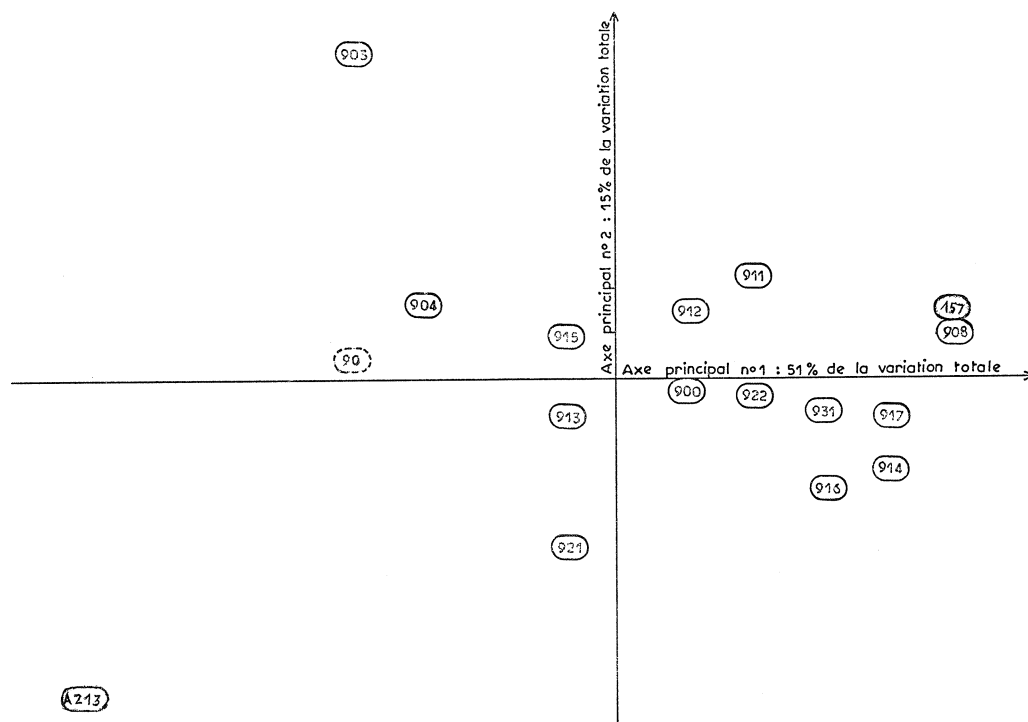


Fig. 1. — G5. Analyse des correspondances : caractères morphologiques.

Observations méiotiques

Les diverses irrégularités méiotiques observées à tous les stades de la méiose et l'indication de leur variation dans la descendance issue de « back-cross » sont mentionnées dans le tableau I. (Tous les arbres avaient le nombre chromosomique $2n = 22$)

Des données numériques précises pour chaque hybride sont rapportées dans le tableau II, p. 414.

Les pourcentages d'anomalies obtenus dans chaque série d'observations ont été répartis en classe. Chaque hybride a été ainsi attribué d'une note (classe) semblable à une note de régularité pour chaque type d'observation faite. Une analyse en composantes principales de la diversité des comportements méiotiques des hybrides en a été faite sous cette forme. Elle permet de représenter dans un même plan 92 % de la variabilité totale (fig. 2, p. 414). Le premier axe (71 % de la variation totale) regroupe les notations de la métaphase 1, de la télophase 1, des comptages de traînards faits à ce stade et de la télophase 2. Ces notes traduisent toute la régularité de la répartition des chromosomes et n'apportent que peu d'informations complémentaires à l'observation de la seule métaphase 1. L'essentiel du déroulement de la méiose est très lié à la qualité des appariements en métaphase 1.

Le deuxième axe (21 % de la variation totale) ne rend compte que des liaisons entre chromosomes en métaphase 2 (caractéristique indépendante de celle définie par l'axe 1).

On peut remarquer, sur la figure 2, que parmi les douze plantes représentées, les six qui sont les plus régulières pour les caractères de méiose représentés

par l'axe 1 sont également celles qui sont les plus proches de *C. canephora* pour les caractères morphologiques représentés par l'axe 1 de l'analyse des correspondances (fig. 1).

L'hybride MC 903, qui a le comportement méiotique le plus irrégulier (axe 1, fig. 2), est aussi celui qui est le plus éloigné de *C. canephora* (axe 1, fig. 1).

L'hybride MC 908, dont le comportement méiotique est le plus régulier avec MC 917 (axe 1, fig. 2), est aussi celui qui est le plus semblable à *C. canephora* du point de vue morphologique (axe 1, fig. 1).

Relations entre les caractéristiques de méiose, de fertilité pollinique et les associations entre caractères

Le tableau IV (p. 415) présente les corrélations entre les différentes caractéristiques.

Seules les trois notations suivantes sont en forte corrélation deux à deux :

- Méiose (décrite par le premier axe de l'analyse en composantes principales) : (M).
- Caractères (décrits par le premier axe de l'analyse en correspondance) : (C).
- Fertilité pollinique : (F).

Observations des fertilités polliniques

Les valeurs des observations des fertilités polliniques sont consignées dans le tableau III, p. 415.

Tableau I. — Anomalies méiotiques observées

Stade de la méiose	Types d'anomalies observées	Remarques
Pachytène	figures d'inversion	observées chez MC903 et MC913
Métaphase 1	univalents	% de cellules à appariement normal de 11 II : de 6 % pour MC903 à 90 % chez MC908, de 2 à 6 univalents
	multivalents, (principalement quadrivalents)	% de cellules présentant au moins 1 multivalent : variable et peut atteindre 10 % (MC904)
	"paquets" de chromosomes en nombre variable	principalement chez MC913
Anaphase 1	pont, petits fragments de chromosomes isolés	observés chez MC931, MC913, MC903
Télophase 1	nombre de chromosomes aux pôles différents de 11	% de pôles à 11 chromosomes variant de 42 (MC903) à 96 (MC917)
	existence de traînards	% de cellules sans traînard varie de 63 (MC903, MC904) à 96 (MC917, MC908)
Métaphase 2	chromosomes effilochés, fragments de chromosomes isolés, chromosomes apparemment liés	% de cellules sans ces anomalies varie de 18 (MC916) à 85 (MC904) ; agglutination parfois presque totale des chromosomes à chaque pôle (MC904, MC913, MC914, MC903, MC921)
Télophase 2	nombre de chromosomes aux pôles différent de 11	% de pôles à 11 chromosomes varie de 48 (MC903) à 98 (MC908)
	traînards	% de cellules sans traînard varie de 30 (MC912) à 92 (MC908)

Tableau II. — Observations méiotiques

Clones	Métaphase 1				Télophase 1				Métaphase 2				Télophase 2				
	NC	a	b	c	NC	d	e	f	NC	g	h	NC	i	NP	j	NC	k
MC903	50	6	34	16	62	42	39	48	83	63	77	72	44	83	33	63	52
MC904	63	35	61	6	55	62	10	71	70	63	88	80	85	93	52	76	43
MC911	50	48	96	0	50	66	0	67	68	74	100	45	27	48	75	22	68
MC912	60	18	53	30	60	68	16	78	113	59	78	21	19	40	43	44	30
MC913	55	18	84	0	55	78	0	85	85	76	100	112	66	135	84	83	70
MC914	60	42	89	0	51	71	7	76	66	79	100	70	43	95	83	80	75
MC915	56	13	43	36	56	45	6	55	61	69	100	64	20	75	49	47	55
MC916	50	76	100	0	50	92	0	93	53	96	100	61	18	87	82	70	66
MC917	58	83	80	0	52	96	0	97	54	96	100	65	23	94	86	57	88
MC921	50	2	61	5	50	66	24	68	59	80	83	68	59	91	59	54	65
MC931	52	33	94	0	49	76	8	82	50	86	100	40	37	110	74	44	70
MC908	62	89	100	0	52	88	0	89	52	96	100	71	30	96	98	53	92

NC = nombre de cellules observées
 NP = nombre de pôles observés
 a = % de cellules à zéro univalent
 b = % de cellules à deux univalents parmi les cellules irrégulières
 c = % de cellules à 6 I parmi celles qui en ont plus de deux
 d = % de disjonctions 11-11
 e = % de cellules différant d'au moins deux chromosomes, à au moins un pôle parmi les cellules irrégulières (≠ 11-11)

f = % de pôles à onze chromosomes
 g = % de cellules sans traînard
 h = % de cellules à un ou deux traînards parmi les cellules qui ont des traînards
 i = % de cellules présentant des liaisons entre chromosomes ou des fragments isolés
 j = % de pôles à onze chromosomes
 k = % de cellules sans traînard

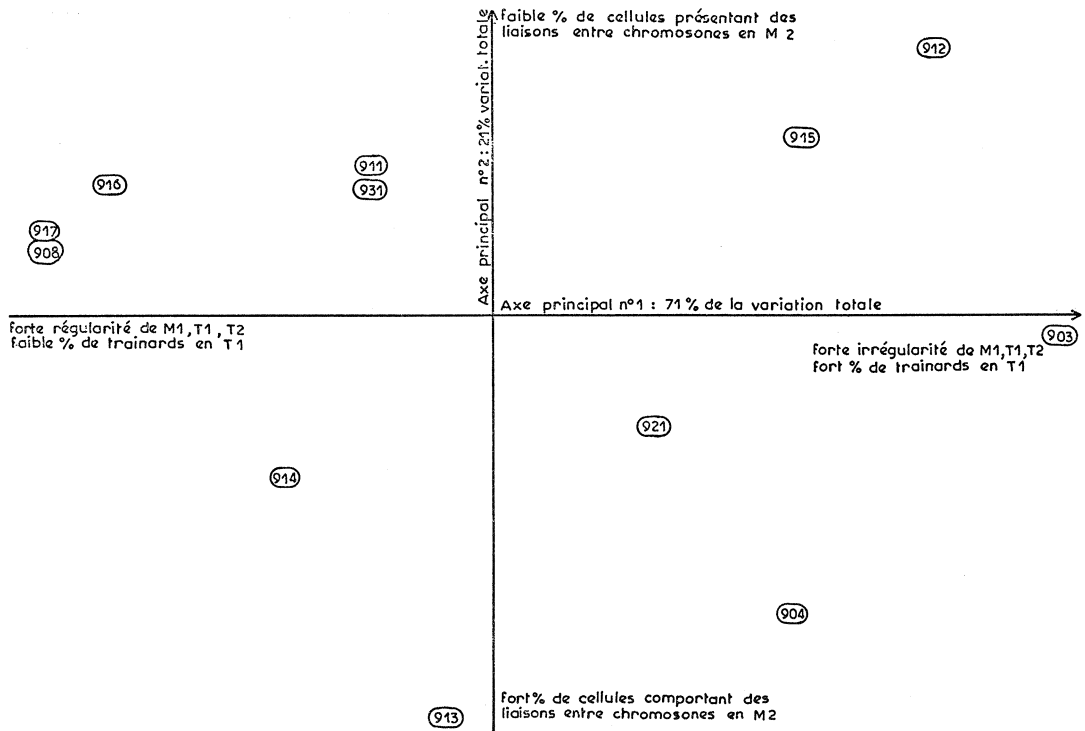


Fig. 2. — G2. Analyse en composantes principales : observations méiotiques

On peut noter que ce sont toujours les deux hybrides remarquables précédemment, MC 903 et MC 908, qui ont les deux positions extrêmes dans cet ensemble de valeurs.

Ainsi, la redistribution des caractères décrits par l'axe 2 de l'analyse des correspondances (nombre d'inflorescences par nœud, diamètre des rameaux plagiotropes, couleur des jeunes feuilles) n'a d'incidence ni sur la fertilité pollinique, ni sur le déroulement de la méiose.

Au contraire, la conservation des caractéristiques de *C. kianjavatensis* pour la qualité du bois florifère, l'intensité des ramifications secondaires et le port de l'arbre sont associés à une méiose irrégulière pour les

répartitions chromosomiques et à une faible fertilité pollinique.

Les liaisons entre chromosomes, observées en métaphase 2, ne sont en corrélation ni avec la fertilité pollinique, ni avec aucune des réassociations de caractères.

L'incidence respective ou conjuguée des associations de caractères morphologiques et du déroulement de la méiose sur la fertilité pollinique est évaluée au moyen des coefficients de corrélation multiples et partiels ci-dessous :

$$\begin{aligned} R \text{ multiple } F, (C, M) &= 0,87 \\ r \text{ partiel } F, C/M &= 0,52 \\ r \text{ partiel, } F \text{ M/C} &= 0,39 \end{aligned}$$

Tableau III. — Fertilités polliniques des hybrides

Clone	F P
MC903	15
MC904	35
MC900	38
MC911	40
MC912	42
MC915	42
MC913	45
MC917	55
MC921	55
MC931	68
MC914	70
MC916	72
MC922	87
MC908	90

Les valeurs de ces coefficients montrent que l'incidence directe de la méiose, indépendamment de l'association des caractères, sur les fertilités polliniques est faible et peu significative. Il en est de même pour l'association des caractères quand on élimine la variation concomitante de la méiose.

La disparition de la signification des coefficients de corrélation partiels montre que, pour l'essentiel, une même cause commune règle l'incidence des combinaisons de caractères et de la méiose sur les fertilités polliniques. On ne peut garder les caractères de *C. kianjavatensis* décrits par l'axe 1, sans que la méiose ne manifeste des indices de faible homologie entre certains des chromosomes, et cela se traduit directement sur la fertilité.

Tableau IV

		Caractères morphologiques		Fertilité pollinique
		Coordonnée axe 1 = distance à <i>C. canephora</i>	Distance à <i>C. canephora</i> sur l'axe 2	
méiose	coord. axe 1	0,82**	0,02	0,81**
	coord. axe 2	0,37	0,27	0,13
Fertilité pollinique		0,84**	0,00	

DISCUSSION - CONCLUSION

Parmi l'ensemble des chromosomes qui différencient les deux espèces *C. kianjavatensis* et *C. canephora*, trois sont encore en ségrégation dans la série des plantes issues de « back-cross » étudiées, et sont marqués par des caractères quantitatifs, indicateurs très typiques de *C. kianjavatensis* et de *C. canephora*.

Il existe aussi des remaniements structuraux (inversion), mais c'est principalement l'absence d'homologie qui semble être responsable des difficultés de transfert de certains caractères au cours du premier « back-cross » et du maintien de niveaux importants de stérilité.

Les caractères étudiés se répartissent en deux groupes :

— Celui défini par l'axe 1 de l'analyse des correspondances probablement porté par les chromosomes dont l'homologie est mauvaise et dont la recombinaison est, de ce fait, limitée.

— Celui défini par l'axe 2 pour lequel les recombinaisons ont lieu entre les deux espèces ; de larges transgressions sont effectives.

Si ces caractères se comportent comme ceux du deuxième groupe, les « back-crosses » avec le parent

récurrent *C. canephora* seront sans doute assez rapidement efficaces et susceptibles de fixer des combinaisons nouvelles.

Par contre, si les caractères sont analogues à ceux du premier groupe, l'efficacité des « back-crosses » pourrait être très faible, voire nulle, pour récupérer de rares combinaisons intéressantes ; et dans ce cas, on serait conduit à rechercher des lignées de substitution ou d'addition, transférant dans *C. canephora* une paire complète de chromosomes de *C. kianjavatensis*.

Insistons pour conclure sur le caractère provisoire des remarques que nous venons de faire. Il nous a été impossible d'étudier plus de quatorze plantes issues de « back-cross », c'est pourquoi nous mettons surtout l'accent sur l'aspect méthodologique du travail. La description apportée à la différenciation génomique entre *Mascarocoffea* et un caféier africain de l'Ouest nous semble cependant assez vraisemblable.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANDERSON, 1960. — Statistical multivariable analysis. Wiley éditeur.
2. BENZECRI, 1975. — Analyse des données — Tome 1 et 2. Dunod éditeur.
3. A. CHARRIER, 1977. — La structure génétique des

caféiers spontanés de la région malgache (*Mascarocoffea*). Leurs relations avec les caféiers d'origine africaine (*Eucoffea*). Thèse de doctorat d'Etat, Paris, 1976, Univ. Paris Sud, Centre d'Orsay. Mémoires ORSTOM n° 87 (Paris), 1978, 223 p.

LANAUD (C.). — Données sur les possibilités de restauration de fertilité d'hybrides interspécifiques entre caféiers malgaches et africains et sur la variabilité observée dans une descendance issue de « back-cross ». VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 411-416, fig., tabl., réf.

LANAUD (C.). — Data on the possibilities of fertility restoration in interspecific hybrids between malagasy and african coffee trees and on the variability observed in a back-cross progeny. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris) 1979, p. 411-416, fig., tabl., réf.

Le but de cet article est de décrire certains problèmes méthodologiques concernant le transfert de gènes au moyen de « back-cross » d'une espèce de *Mascarocoffea* (*C. kianjavatensis*), dans une espèce d'*Eucoffea* (*C. canephora*).

L'observation simultanée de caractères morphologiques, de la colorabilité du pollen (comme mesure de la fertilité) et du comportement méiotique conduit aux résultats suivants.

L'analyse multivariable montre que les caractères sont distribués dans deux classes :

- la première classe montre dans la famille « back-cross » 1 une étendue de variations allant de la F_1 jusqu'au récurrent *C. canephora*. Plus les plantes sont proches de la F_1 , plus elles sont stériles.
- la deuxième classe montre de nouvelles combinaisons et transgressions en dehors de l'intervalle F_1 *C. canephora*. Dans cette classe, il n'y a pas de connexion entre l'aspect *C. kianjavatensis* des plantes « back-cross » 1 et leur niveau de stérilité.

La plupart de la variation morphologique est décrite par une combinaison linéaire C des caractères de la première classe et on observe de très fortes corrélations entre C et la fertilité pollinique ($r = 0,84$), C et une mesure synthétique M de la régularité méiotique ($r = 0,82$) et entre la fertilité pollinique et M ($r = 0,81$).

Les analyses par corrélations multiples et partielles démontrent que les mesures C et M, pour l'essentiel, partagent la même cause commune de stérilité.

Tout se passe comme si la source majeure du problème de transfert des caractères résultait du manque d'homologie d'à peu près trois des onze chromosomes du génome des deux espèces.

Les conséquences pour le programme d'amélioration des plantes sont envisagées.

This paper intends to describe some methodological problems about the gene transfer by means of back-crossing from a *Mascarocoffea* species (*C. kianjavatensis*) to an *Eucoffea* species (*C. canephora*).

The simultaneous observations of morphological characters, pollen colorability (as mesure of fertility) and meiotic behaviour lead to the following results.

A multivariate analysis shows that the morphological characters can be distributed among two classes :

- the first class exhibits in the back-cross 1 family a range of variations from the F_1 to the recurrent parent *C. canephora*. The more they look like F_1 , the more sterile the plants are.
- the second class shows new combinations and some transgressions out of the range F_1 to *C. canephora*. Here, there is no connection between the *C. kianjavatensis* aspect of back-cross 1 plants and their level of sterility.

Most of the morphological variation is described by a linear combination (c) of the characters from the first class and very strong correlations are observed between C and pollen fertility ($r = 0,84$), C and a synthetic measure M of meiotic regularity ($r = 0,82$), and pollen fertility and M ($r = 0,81$).

Multiple and partial correlation analysis demonstrate that C and M measures, for the main, share the same common cause of sterility.

It looks as if major source of transfer problem was the consequence of the missing of homology for about three chromosomes among the eleven of the complete genom of both species.

Some consequences for a plant breeding programm are suggested.

LE CAFÉIER ARABUSTA, PRODUIT DE LA RECHERCHE, ET SON UTILISATION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA CÔTE D'IVOIRE

IFCC, Bingerville, Côte d'Ivoire
SATMACI, Abidjan, Côte d'Ivoire

GENÈSE ET ÉVOLUTION DES ARABUSTA

Introduction

Nous avons présenté, au 7^e colloque de l'ASIC tenu à Hambourg en 1975, le nouvel hybride de caféier mis au point en Côte d'Ivoire, l'Arabusta (1).

Ce matériel végétal entièrement nouveau est le fruit des travaux entrepris par l'Institut Français du Café et du Cacao en Côte d'Ivoire depuis 1962 (2, 3). L'objectif que les chercheurs s'étaient fixé consistait, devant l'impossibilité de cultiver de façon rentable le caféier Arabica dans ce pays, à mettre au point une variété de synthèse unissant les caractéristiques de rusticité, de productivité et d'adaptation au climat tropical humide du caféier Robusta aux qualités organoleptiques de l'Arabica. Il s'agissait donc de créer de toute pièce un caféier capable de produire, en Côte d'Ivoire, un café de qualité supérieure à celle du Robusta traditionnellement exploité et d'amorcer ainsi de nouveaux courants commerciaux avec des pays intéressés par un tel produit.

Les premiers hybrides Arabusta ont été plantés en 1967. Ce matériel issu de la combinaison de caféiers Robusta tétraploïdes artificiels et de lignées de *C. arabica* a été soumis à une sélection sévère qui a abouti au choix d'une quinzaine de clones d'élite, capables de produire 1 kg de café marchand par pied d'un café à forte granulométrie (20 g pour cent fèves

contre 13,5 g pour le Robusta ivoirien) contenant au maximum 2 % de caféine (contre 2,7 pour le Robusta) et se classant pour 80 % dans le grade 1. Ces caféiers sont en outre caractérisés par une résistance excellente à la rouille — ce qui leur confère un avantage inappréciable vis-à-vis de la majorité des Arabica cultivés actuellement — et par une vigueur et une résistance à la sécheresse exceptionnelles — à tel point que l'on peut légitimement envisager de les cultiver dans des régions marginales où, jusqu'à présent, même le Robusta ne pouvait s'implanter.

Ces premiers Arabusta, dits de la « première vague », ont cependant des défauts de fertilité génétique se traduisant par des taux élevés de graines caracolis (50 à 60 %) et 15 à 20 % de fruits contenant une ou deux loges vides. Des études sur les causes de ces phénomènes ont été réalisées à l'IFCC (4) et ont permis d'entreprendre un programme d'amélioration de l'Arabusta par sélection de géniteurs tétraploïdes à fertilité supérieure. Ces travaux ont donné lieu à la création d'hybrides de deuxième et troisième vagues, actuellement à l'étude, mais dont on sait déjà avec certitude qu'ils assureront des productivités de 1,4 et 1,8 kg de café marchand par pied respectivement. On atteindra ainsi, dans quelques années, des capacités de production par unité de surface aussi élevées que celles que nous avons obtenues par la sélection clonale du

Tableau I. — Taux de caracolis, de grains flottants, d'utilisation des ovules des quatre générations pour les huit meilleurs arbres de chaque génération

Génération	Taux de caracolis	Taux de grains flottants	Taux d'utilisation des ovules
F ₀	55 %	18 %	37 %
F ₁	31 %	16 %	58 %
F ₂	20 %	9 %	73 %
F ₃	13 %	8 %	80 %

Tableau II. — Caractéristiques de fertilité des première et deuxième vagues pour les huit meilleurs individus de chacune d'elles

Génération (ou vagues)	Taux de caracolis	Taux de grains flottants	Taux d'utilisation des ovules
V ₁ = TF ₀ x Ar	49 %	20 %	41 %
V ₂ = TF ₁ x Ar	36 %	14 %	55 %

Robusta, soit quelque 2.400 kg de café marchand par hectare.

L'essentiel de ce travail d'amélioration de la productivité procède de l'amélioration de la fertilité des tétraploïdes Robusta.

Evolution de la fertilité des tétraploïdes Robusta

On constate lors du passage de l'état diploïde à l'état tétraploïde une importante baisse de la fertilité. Ainsi, le taux de caracolis passe en moyenne de 32 % à 57 % et le taux de grains flottants de 4 % à 16 %. Ceci donne une chute moyenne de 45 % pour la fertilité.

On désigne par tétraploïde F₀ le tétraploïde issu du doublement chromosomique et par tétraploïde F₁ le produit du croisement entre F₀, etc...

Le tableau I montre les taux de caracolis et de grains flottants des quatre générations pour les huit meilleurs arbres de chaque génération.

On constate qu'en quatre générations, la fertilité a plus que doublé et a même, pour les meilleurs individus F₃, dépassé la fertilité moyenne des individus diploïdes.

Il convient de remarquer une évolution parallèle des fertilités moyennes de chaque génération.

Evolution de la fertilité des Arabusta

Une étude parallèle a été menée sur de très nombreux individus des deux premières vagues d'Arabusta (on appelle Arabusta première vague un Arabusta obtenu d'un croisement entre tétraploïde F₀ et Arabica ; Arabusta deuxième vague un individu obtenu par le croisement entre tétraploïde F₁ et Arabica, etc...).

Le tableau II résume les caractéristiques de fertilité des première et deuxième vagues pour les huit meilleurs individus de chacune d'elles.

Il ressort de cette analyse que les individus de la deuxième vague sont nettement plus fertiles. Ce fait ne peut être imputé qu'à l'amélioration du tétraploïde parent, puisque les Arabica employés dans la création des deux vagues sont les mêmes. Ceci permet un optimisme certain en ce qui concerne l'évolution de la fertilité et du rendement des Arabusta.

Matériel végétal en essai

Des Arabusta de la deuxième vague sont actuellement en essai de triage à Abengourou, Divo et Bingerville. Déjà apparaissent des résultats confirmant le bien-fondé des considérations ci-dessus (cf. tabl. III).

Tableau III. — Rendements, en kilogrammes de café marchand/hectare, de clones Arabusta de la deuxième vague à l'âge de trois ans et demi

Clone	Origine	Kg café marchand/ha
2708	T 71 F ₁ /41/9 x Ar 53	2.282
2709	T 71 F ₁ /41/9 x Ar 53	2.051
2710	T 71 F ₁ /41/9 x Ar 53	2.023
2711	T 71 F ₁ /41/9 x Ar 53	2.006
x 17	T 2 F ₁ x Ethiopie	2.150
x 39	T 15 F ₁ x Ethiopie	2.045
x 200	T 71 F ₁ x Ethiopie	1.958

Dans un autre essai, des clones de la deuxième vague ont extériorisé une bonne précocité (tabl. IV).

Tableau IV. — Rendements, en kilogramme de café marchand/hectare, de clones Arabusta de la deuxième vague, à l'âge de deux ans et demi

Clone	Origine	Kg café marchand/ha
3166	T 71 F ₁ /41/10 x Ar 54	1.632
3177	T 71 F ₁ /41/10 x Ar 54	1.372
3183	T 71 F ₁ /41/10 x Ar 54	1.253
3214	T 71 F ₁ /41/10 x Ar 54	1.331

LE CENTRE D'ÉTUDES ET DE DÉVELOPPEMENT DE L'ARABUSTA (CEDAR) À SOUBRÉ

Fruits d'études poursuivies depuis 1962, les résultats obtenus par l'IFCC en Côte d'Ivoire dans l'hybridation interspécifique des caféiers Arabica et Robusta permettent aujourd'hui de disposer d'un matériel végétal de qualités déjà suffisantes pour autoriser la conception de projets de développement de cette nouvelle production.

La Côte d'Ivoire est décidée à promouvoir dès maintenant la culture de ces hybrides afin de profiter des avantages économiques que pourrait lui procurer l'avance acquise sur les autres pays producteurs dans ce domaine.

Tout projet d'extension de cette culture implique en premier lieu la mise en place de l'infrastructure de multiplication nécessaire pour alimenter les futurs programmes de plantation. Du fait de la nature hybride du matériel et du type de sélection clonale auquel il a été soumis, cette infrastructure sera d'abord constituée de parcs à bois et de centres de bouturage.

Deux parcs à bois de production industrielle de boutures d'Arabusta, capables de produire ensemble annuellement quelque deux millions de boutures racinées, sont d'ores et déjà en fonctionnement. Il est cependant évident que, compte tenu de la prévision de gain de productivité escompté de la sélection, la constitution de ces premiers parcs à bois n'est que provisoire et qu'une épuration de ceux-ci se révélera nécessaire pour s'ajuster aux progrès en cours.

L'alimentation des parcs à bois avec les clones issus des essais de triage de deuxième vague commencera à partir de 1979. Il faut en effet trois années de récolte analysables, dont deux années normales, pour effectuer un choix significatif.

L'état d'avancement des études de sélection fait ressortir deux constatations principales : tout d'abord les possibilités d'amélioration très sensibles dans la productivité des familles hybrides en observation ; d'autre part, des aptitudes biologiques et culturelles très particulières (gigantisme, croissance rapide, résistance à la sécheresse, résistance à divers parasites et maladies (*Hemileia*) qui entraînent la nécessité d'expérimenter, de façon systématique, toutes les techniques culturales susceptibles de s'adapter à la culture industrielle de cette nouvelle spéculation pour laquelle le centre de recherches de l'IFCC ne dispose encore que

de données empiriques fragmentaires en l'absence, et pour cause, de toute référence documentaire sur ce caféier nouveau.

Il est en conséquence apparu nécessaire de réaliser en priorité une unité de plantation expérimentale de l'ordre de cinq cents hectares, non seulement pour l'élaboration d'une doctrine culturale et technologique rationnelle de l'Arabusta, mais également pour apprécier l'économie de sa culture à l'échelle industrielle auprès des torrificateurs et industriels du café soluble afin de sensibiliser le marché en vue d'une promotion commerciale aussi satisfaisante que possible du produit.

On sait déjà que les techniques culturales appropriées pour ce matériel nouveau ne devraient pas s'éloigner beaucoup de celles que nous recommandons pour l'exploitation rationnelle des clones sélectionnés de *C. canephora* ; ceci nous permet de proposer des normes de base ayant une bonne probabilité d'efficacité en grande culture. Il n'en reste pas moins que des ajustements sont indispensables pour déterminer des modalités spécifiques aux Arabusta, aussi bien dans le domaine des densités et dispositifs de plantation que dans celui des systèmes de taille, de la fumure minérale, de l'irrigation et de l'usinage.

L'expérimentation poursuivie dans les stations de recherches de l'IFCC ne peut prétendre qu'à fournir des idées directrices, des tendances, qu'il serait aventureux d'extrapoler en vraie grandeur sans s'être assuré préalablement de leur bien-fondé à une échelle suffisante.

La plantation expérimentale du CEDAR de Soubré, commencée en 1975 et presque achevée en 1977, comporte à ce jour 470 ha se décomposant comme suit :

- Expérience de fumure et de mode d'entretien : 30 ha (1975).
- Expérience de densité de plantation et taille : 30 ha (1976).
- Expérience d'irrigation et de fumure : 16 ha (1976).
- Culture industrielle : 394 ha (1976 et 1977).

Des études d'ordre technologique s'avèrent également indispensables pour déterminer le mode de traitement des récoltes le mieux approprié à la mise en

valeur des qualités organoleptiques du nouveau produit et assurant sa plus grande valorisation commerciale ou industrielle, les premières récoltes quantitativement importantes devant permettre de procéder à un sondage technique.

Une usine expérimentale capable de mettre à l'épreuve toutes les modalités possibles d'usinage est en cours de réalisation au CEDAR.

Plantation expérimentale, centres de bouturage et usine constituent ainsi le préalable au programme de

plantation proprement dit dont les objectifs et les modalités d'exécution seront conditionnés par les résultats techniques et économiques de cette exploitation expérimentale industrielle.

Cet ensemble a pu être réalisé grâce au financement de la Caisse Centrale de Coopération Economique et du Fond d'Aide et de Coopération (organismes français) avec le concours de la Caisse de Stabilisation et de Soutien des Cours de Produits Agricoles de Côte d'Ivoire.

PLAN DE DÉVELOPPEMENT DE L'ARABUSTA EN MILIEU VILLAGEOIS

Introduction

Définition de la politique

Ayant l'assurance que les caractères organoleptiques de ce nouveau caféier sont définitivement fixés et afin de préserver l'avance prise par la recherche, il convient de produire :

- au moindre coût,
- dans les meilleurs délais,

un tonnage d'Arabusta d'excellente qualité et suffisamment important pour sonder le marché international.

L'Arabusta est un produit nouveau :

- sa culture devra être considérée comme une culture de diversification ;
- son négoce devrait se faire « à la qualité », comme pour les Arabica de valeur.

Définition de la stratégie

Pour préserver le label de qualité en évitant tout mélange avec du Robusta, l'Arabusta devra être cultivé en blocs homogènes au niveau des villages et chez des planteurs particuliers.

La taille des blocs devra être suffisante pour justifier l'implantation d'un atelier de traitement par voie humide.

L'Arabusta sera acheté aux paysans au stade « parche », stocké en « parche » dans les décortiqueries et départché à la demande.

L'implantation des blocs

Quant à l'implantation des blocs, nous utiliserons les techniques mises au point pour les blocs culturaux de cacaoyers et concernant plus particulièrement :

- la situation géographique,

- les études pédologiques,
- l'échéancier des travaux à exécuter.

Les prestations gratuites

Les prestations gratuites comprennent la mise en place de l'encadrement et la fourniture des facteurs de production (sachets, boutures et matériel) selon les normes appliquées actuellement en matière de Robusta, mais l'encadrement sera maintenu pendant trois années supplémentaires pour parfaire la formation des paysans, notamment dans les domaines de l'égourmandage, de la taille, de la cueillette et de la conduite des ateliers de traitement.

La motivation

Primes d'incitation

Les problèmes de disponibilité en terres cultivables se faisant de plus en plus aigus, il est prévu une prime « d'arrachage et de replantation » pour les vieilles caféières ou cacaoyères.

Infrastructures

Il sera réalisé sur chaque bloc un minimum d'infrastructures, à savoir :

- des pistes d'accès au bloc,
- des pistes de desserte des plantations,
- un puits,
- une plate-forme destinée à l'implantation de l'atelier de traitement par voie humide.

Le crédit

Il est prévu la mise en place d'un crédit pour le financement de l'atelier de traitement en année 2 sous forme d'un prêt d'une durée de huit ans, remboursable en cinq annuités constantes après trois ans de différé.

Définition des objectifs

L'objectif est de produire 20.000 t d'Arabusta en 1990.

Pour ce faire, il faut réaliser 15.000 ha d'ici à 1985, répartis en :

- 500 ha au CEDAR,
- 1.500 ha chez des planteurs particuliers,
- 13.000 ha en blocs villageois.

Mise en œuvre du plan Arabusta en plantations villageoises

Multiplication du matériel végétal

S'agissant de clones, le matériel végétal doit être multiplié par voie végétative à partir de « centres de bouturage ».

Un centre de bouturage standard comprend :

- 1 parc à bois de 18.000 pieds-mères,
- 720 bacs de bouturage.

Une telle installation assure une production d'un million de boutures racinées (BR) en régime de croisière, trente mois après la plantation du parc à bois.

Compte tenu des pertes aux différents stades (transport, repiquage en pépinière et triage au moment de la plantation), on estime que :

- un million de boutures racinées donnent 570.000 plants ;
- 570.000 plants permettent de planter **380 hectares.**

En résumé :

Quarante-cinq pieds-mères fournissent, trois ans après leur plantation, le matériel végétal nécessaire à la plantation d'un hectare.

C'est donc la mise en place des pieds-mères qui conditionnera la cadence de plantation.

Cette implantation se fera à partir des parcs à bois de l'IFCC, de la Base de Multiplication et de Vulgarisation (BMV) de Zagné et du CEDAR, à la cadence mentionnée dans le tableau V (p. 422) et sur la figure 1 (avec introduction des nouvelles vagues dès leur mise à disposition par l'IFCC).

Fig. 1. — Evaluation du nombre de pieds-mères en parc à bois

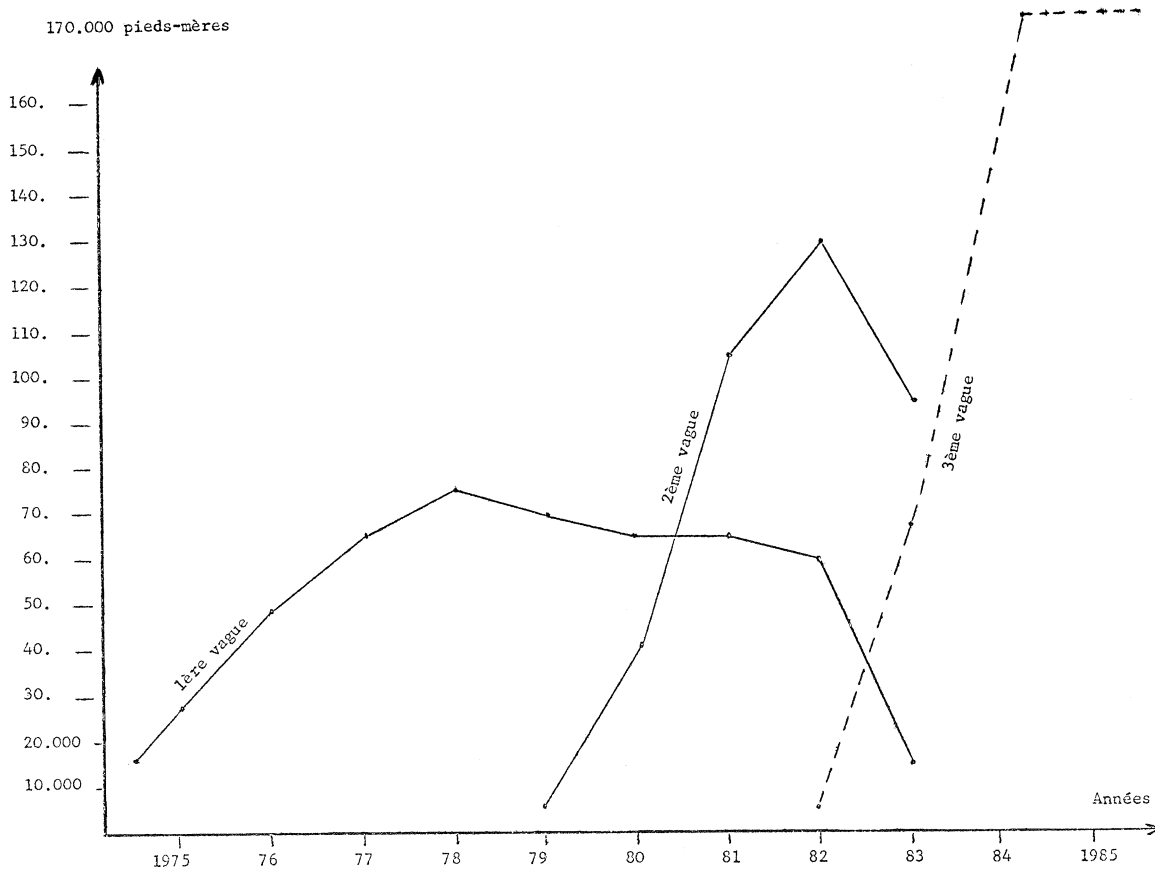


Tableau V. — Nombre de pieds-mères plantés et à planter

Années	1ère vague	2ème vague	3ème vague	Total
Avant 1975	15.000			15.000
1975	27.000			27.000
1976	46.800			46.800
1977	63.000			63.000
1978	75.000			75.000
1979	70.000	5.000		75.000
1980	65.000	40.000		105.000
1981	65.000	105.000		170.000
1982	60.000	130.000	5.000	195.000
1983	15.000	95.000	67.000	177.000
1984	-	-	177.000	177.000

Ces centres de bouturage, au nombre de dix, seront répartis comme suit :

- A l'Est : Aboisso, Abengourou, Tanda.
- Au Centre : Gagnoa, Tombokro, Issia.
- A l'Ouest : Soubré (Cedar), Zagné, Man, Danane.

Echéancier des plantations

Le planning de mise en place des parcs à bois permet d'extrapoler trente-six mois après les surfaces réelles en hectare à planter à raison de 1.320 plants à l'hectare.

L'échéancier des plantations villageoises s'établit comme indiqué dans le tableau VI.

Tableau VI

Année	Surface (ha)	Cumul (ha)
1978	500	500
1979	800	1.300
1980	1.000	2.300
1981	1.300	3.600
1982	1.555	5.155
1983	2.145	7.300
1984	3.775	11.075
1985	2.885	13.960

Normes de l'encadrement et des prestations à l'hectare

Normes d'encadrement

Norme générale

Au niveau du planteur sont mis en place les encadreurs de base ou conseillers ruraux (CR) supervisés par des assistants (AS) au nombre de un pour sept CR ; un adjoint technique (AT) anime et contrôle six assistants (tableau VII).

Normes des fournitures gratuites

Les normes des fournitures gratuites sont mentionnées dans le tableau VIII.

Prestations sur prêt

Un prêt de huit ans avec trois ans de différé de remboursement est prévu (tableau IX).

Prestation des paysans

En année N - 2 — participation à l'identification travaux de layonnage

Tableau VII. — Normes d'encadrement

Sous-activités	Moyens	Normes (ha)
Animation et création de pépinière (A C P) Année N - 1	1 C R 1/7 A S 1/42 A T	150
Plantation Année N + 1	1 C R 1/7 A S 1/42 A T	150
Entretien de la plantation Année N + 2 à N + 5	1 C R 1/7 A S 1/42 A T	300

En année N - 1 — abattage - brûlage
andainage
cultures vivrières riz-maïs
préparation de la pépinière
remplissage des sachets en
matière plastique
repiquage
entretien de la pépinière

En année N + 1 — entretien de la pépinière
piquetage
trouaison
plantation
cultures vivrières riz-maïs
remplacement

En année N + 2 — entretien sur les lignes
cultures vivrières en interligne
égourmandage
petite récolte

En année N + 3 — idem - cultures vivrières
récolte plus importante

En année N + 4 — entretien de la plantation :
quatre nettoyages/an
égourmandage
récolte - usinage

En année N + 5 — idem

Tableau VIII. — Normes des fournitures gratuites

Sous-activité	Postes
Préparation de la plantation Année N - 2	- prospection cadastre - piste d'accès : 1 km pour 50 ha - piste intérieure : 30 m linéaire par ha - puits pour 150 ha - plate-forme (1 ha pour 150 ha de bloc)
Animation et création de pépinières Année N - 1	<u>Fournitures</u> - un pulvérisateur pour 150 ha - un insecticide, 20 kg pour 50 ha - 1.500 sachets en matière plastique pour repiquage des plants en pépinière <u>Matériel végétal</u> - 2.000 boutures racinées par ha à planter
Plantation Année N + 1	<u>Fournitures</u> - 150 sachets en matière plastique par ha planté pour production de plants de remplacement <u>Matériel végétal</u> - 150 boutures racinées par ha planté
Entretien Année N + 2 à N + 5	néant

Tableau IX

Sous-activité	Postes
Entretien de la plantation Année N + 2	Construction sur la plate-forme : - d'un atelier de traitement par voie humide - d'un four de séchage - d'un hangar de stockage

Tableau X. — Echéancier des travaux à réaliser

Postes	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	Total
<u>Objectifs</u>									
Nombre d'hectares à planter	500	800	1.000	1.300	1.555	2.145	3.775	2.885	13.960
Nombre de blocs à créer	12	8	10	15	25	20			90
Km de pistes d'accès à réaliser	46	26	31	43	76	58			280
Km de pistes intérieures à ouvrir	69	39	47	64	113	87			419
Nombre de puits à forer	12	8	10	15	25	20			90
Nombre de plates-formes (de 1 ha)	12	8	10	15	25	20			90

Echéancier des productions

L'échéancier des productions des plantations villageoises est mentionné dans le tableau XI.

Avec la production du CEDAR et des plantations privées, l'objectif fixé à 20.000 t sera atteint.

Tableau XI. — Echéancier des productions

Années	Production (t)
1979	20
1980	244
1981	870
1982	1.760
1983	2.887 à 3.000
1984	4.320
1985	6.333
1986	9.783
1987	14.370 à 15.000
1988	16.978 à 17.000
1989	16.978
1990	16.978

CONCLUSION

La culture de l'Arabusta a commencé dans d'excellentes conditions, notamment avec la mise en place du Centre d'Expérimentation et de Développement de l'Arabusta et l'exploitation des techniques culturales parfaitement définies pour les cultures du caféier Robusta et du cacaoyer. Ce premier plan Arabusta sera poursuivi au-delà de 1984 avec du matériel végétal hautement productif de la troisième vague.

Il faut noter que le temps nécessaire à la multiplia-

tion du matériel végétal constitue le goulot d'étranglement principal qui se situe au niveau du passage de la « recherche » à la « vulgarisation » : il aura fallu plus de vingt ans d'efforts continus de 1967 à 1990 avant d'obtenir une production suffisamment importante pour pouvoir connaître les réactions du marché international.

Nous pensons que l'Arabusta, ce produit nouveau, trouvera une place de choix sur le marché du café.

BIBLIOGRAPHIE

1. J. CAPOT. — Obtention et perspectives d'un nouvel hybride de caféier en Côte d'Ivoire : l'Arabusta. VII^e Colloque International sur la Chimie des Cafés, Hambourg, 9-14 juin 1975. ASIC (Paris), p. 449-457.

2. J. CAPOT *et al.* — L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire, duplication chromosomique et hybridation. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XII, n° 2, avril-juin 1968, p. 114-126.

IFCC-SATMACI. — Le caféier Arabusta, produit de la recherche, et son utilisation dans le développement de la Côte d'Ivoire. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 417-424, fig., tabl., réf.

Les auteurs présentent la genèse de l'Arabusta, les premiers résultats acquis en matière de productivité, de son comportement face aux aléas et de ses qualités commerciales. Les recherches en cours et les perspectives d'amélioration sont précisées.

La seconde partie traite de la pré-vulgarisation avec la présentation du CEDAR (Centre d'Etude et de Développement de l'Arabusta) et de ses objectifs : mise au point de méthodes agronomiques et de la technologie de l'Arabusta, multiplication du matériel végétal sélectionné, production de café marchand pour les essais de valorisation et la sensibilisation du marché.

Les auteurs présentent ensuite la conception de la méthode de vulgarisation qui sera adoptée et définissent la politique de diffusion, la stratégie, les objectifs à moyen et long terme et les moyens nécessaires à la mise en œuvre du plan de développement.

3. J. CAPOT. — L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire : les Arabusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVI, n° 1, janv.-mars 1972, p. 3-18.

4. Ph. de REFFYE. — Le contrôle de la fructification et de ses anomalies chez les caféiers Arabica, Robusta et leurs hybrides Arabusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVIII, n° 4, oct.-déc. 1974, p. 237-254.

IFCC-SATMACI. — The Arabusta coffee tree, a product of the research, and its utilization in the Ivory Coast development. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 417-424, fig., tabl., réf.

The authors present the genesis of the Arabusta, the first results obtained relating to its productivity, its behaviour against the pests and diseases and its trading qualities. The works in progress and the outlooks of improvement are specified.

The second part deals with the preextension with special reference to the presentation of the CEDAR (Centre d'Etude et de Développement de l'Arabusta : Arabusta Development and Research Centre) and the aims of this centre : development of the agricultural methods on the one hand and of the technology of the Arabusta on the other hand, propagation of selected plant material, production of raw coffee for valorization trials and for the information of the coffee circles.

Then, the authors present the conception of the extension method which will be adopted and describe the diffusion pattern, the strategy, the short or long-term aims, and the necessary means for the management of the development scheme.

ADAPTATION STUDIES WITH SELECTIONS OF *COFFEA ARABICA* L. AND TETRAPLOID INTERSPECIFIC HYBRIDS, WITH RESISTANCE TO *HEMILEIA VASTATRIX* BERK. & BR., UNDER THE CONDITIONS OF THE CENTRAL PLATEAU OF ANGOLA

A. MENDES GASPAR

Estação Agronómica Nacional,
Oeiras, Portugal

A. JARDIM BETTENCOURT

Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro,
Oeiras, Portugal

A. MENDES DA PONTE

Empresa de Pesquisas Agropecuárias de Minas Gerais, Brazil

The coffee breeding programme for rust resistance initiated in 1964 by the Instituto de Investigação Agronómica de Angola (IAAA) at the Centro de Estudos da Chianga included about three hundred and fifty selections of *C. arabica* and hybrids, with different degrees of resistance to the rust, introduced from the Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), Oeiras, Portugal (1).

The introduced progenies were established in field trials and were compared with the commercial variety Blue Mountain having in consideration the following parameters: yield, vigour, percentage of empty fruits and resistance to the locally prevalent rust races.

Progenies of the most promising plants were forwarded to the CIFC and their resistance to the rust races determined by inoculation procedures.

In this paper we will refer to some of the coffee introductions that behaved best in the field since 1968 to 1974. They were further selected and established in progeny trials or recombined with others through crossing and backcrossing.

Group A coffee plants

The most promising progenies were those derived from hybrids between commercial Arabica and Híbrido de Timor, with emphasis on IAAA 5/6 (K 7 × Híbrido de Timor = CIFC H. 96), IAA 552

(K. P. 423 × Híbrido de Timor = CIFC H. 71) and IAA 857 (Caturra Vermelho × Híbrido de Timor = CIFC H. W. 26/5). From these introductions progeny trials were established mainly with IAA 857 (F₂ of H. W. 26/5) from which F₃ seed was taken and forwarded to the CIFC. Part of this seed was used for testing purposes at Oeiras and the remainder forwarded to the Instituto Agronómico de Campinas (IAC) and Universidade Federal de Viçosa (UFV) where it was sowed for yield trials (3). The progeny with most interest in this F₃ was that derived from the plant IAA 857-3 which in turn gave rise to an F₄ formed by very uniform populations regarding vigour and yield. This excellent behaviour was confirmed at the Universidade Federal de Viçosa (2).

The best coffee plants of group CE were also used to obtain new genetic recombinations.

Coffee plants bearing the rust resistance genes S_H3 and S_H5 (Group G)

Outstanding for its behaviour the introduction IAA 860 (Caturra Vermelho × S. 795 = CIFC H. 275) from which several progeny trials were established. This introduction was also used as a source of S_H3 to incorporate this gene in commercial varieties of coffee plants with other genes for resistance. Progenies

derived from this introduction showed as well good adaptation to the environmental conditions of UFV in Brazil (3).

Coffee plants bearing the resistance gene S_H1 associated or not to S_H5

Of special reference for their good behaviour are the introductions IIAA 430 and 859 (Dilla & Alge = CIFIC 128/2) and IIAA 436 (Caturra Vermelho \times Geisha = CIFIC 1019/1). From this material it was possible to obtain homozygous progenies for the aleles S_H1 and Ct (small size).

Coffee plants bearing the rust resistance genes S_H1 , S_H3 and S_H5 (Group Z)

The introduction IIAA 547 (S. 333 \times Dilla & Alge = CIFIC H. 101) showed excellent yield, vigor and drought resistance. This material was then used for several progeny trials and crossing with plants of other physiologic groups.

The results herein referred indicate that there are very good possibilities of obtaining with the progenies of the material selected by the IIAA, Arabica bearing genes for rust resistance and with good adaptation to the Central Plateau of Angola, as long as the research programme on this subject might be continued.

LITERATURE

1. A. J. BETTENCOURT, 1977. — Transferência de factores de resistência à *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. para as variedades comerciais de *Coffea arabica* L. Reunión Internacional sobre Mejoramiento Genético Del Café. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, Costa Rica.
2. A. J. BETTENCOURT, 1977. — Relatório sobre o melhoramento genético do cafeeiro e selecção visando a resistência à *Hemileia vastatrix* (missão de 15/2/76 a 4/3/77). Universidade Federal de Viçosa, Brasil, 37 p. (mimeografado).

3. G. M. CHAVES, A. J. BETTENCOURT, L. ZAMBOLIM, J. CRUZ FILHO, 1976. — Comportamento de progénies F_3 de híbridos « Catimor » recebidos do Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFIC) pela Universidade Federal de Viçosa. Quarto Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras (Resumos), Caxambú, p. 220-224.

GASPAR (A. Mendes), BETTENCOURT (A. Jardim), PONTE (A. Mendes da). — **Etudes d'adaptation de sélections de *Coffea arabica* L. et d'hybrides interspécifiques tétraploïdes résistants à *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., dans les conditions du plateau central de l'Angola.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 425-426, réf.

GASPAR (A. Mendes), BETTENCOURT (A. Jardim), PONTE (A. Mendes da). — **Adaptation studies with selections of *Coffea arabica* L. and tetraploid interspecific hybrids, with resistance to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., under the conditions of the central plateau of Angola.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 425-426, réf.

Le programme de sélection de l'Arabica mené jusqu'en 1975 à l'Instituto de Investigação Agronómica de Angola est présenté. Ce programme a commencé par l'évaluation des cultivars déjà existants en Angola, et par l'introduction de matériel résistant à la rouille provenant du Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro.

Reference is made to the Arabica breeding program carried at the Instituto de Investigação Agronómica de Angola until 1975. This program started with the evaluation of the cultivars already existing in Angola and the introduction of rust resistant material from the Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro.

D'après le comportement au champ de cette collection de caféiers, un grand nombre de croisements entre les meilleurs caféiers ont été réalisés afin de réunir dans la même plante de bonnes caractéristiques culturales et un ou plusieurs facteurs de résistance à la rouille.

Based on the field behaviour of this coffee collection, quite a large number of crosses was made between the best coffee material with the purpose of assembling in the same plant good cultural characteristics and one or more factors for resistance to the rust.

LES INNOVATIONS AGRO-TECHNIQUES EN CAFÉICULTURE



P.G. SYLVAIN

Horticulteur émérite
Centre de Recherches et d'Enseignement
d'Agronomie Tropicale (CATIE)
Turrialba, Costa Rica

Il peut sembler téméraire de parler d'innovations agro-techniques en caféiculture. On a souvent dit qu'il n'y a rien de nouveau sous le soleil. De fait il y a parfois de prétendues découvertes qui démontrent seulement notre ignorance des travaux de nos prédécesseurs.

Pour ce qui est du sujet de cet exposé, beaucoup de techniques ont été pratiquées durant des temps immémoriaux. Comme on le verra tout à l'heure, les innovations ne consistent pas généralement dans la nouveauté des pratiques, mais dans la façon de les employer. Une culture au hasard se change ainsi en culture scientifique.

Il n'y a pas de doute, des progrès ont été accomplis dans les méthodes de culture du caféier si l'on consi-

dère les différences de rendements obtenues entre les divers pays producteurs et même entre les fermes d'un même pays, sous des conditions écologiques semblables et l'emploi de variétés de productivité similaire. Les rendements à l'hectare sous certaines conditions ont augmenté de manière spectaculaire grâce à l'emploi de certaines techniques, tant dans la culture du Robusta que dans celle de l'Arabica. Certains chiffres seront présentés ultérieurement.

Il faut dès à présent mettre en relief le rôle des sciences de base dans la caféiculture, notamment les découvertes d'ordre biologique et physico-chimique, qui ont été le fondement de la recherche appliquée, qui conditionne à son tour le succès de certains changements de méthode de travail en plein champ. Par ailleurs le développement de la biométrie et le grand usage des ordinateurs augmentent notre confiance dans le résultat des expériences.

Il ne sera pas possible d'évoquer au cours de cet exposé tous les progrès de la caféiculture ; nous nous contenterons de mentionner ceux qui retiennent le plus l'attention. Le plan de l'exposé suit les phases du développement de la culture ; la multiplication végétative, le système intensif de production, la fertilisation scientifique et la récolte.

MULTIPLICATION VÉGÉTATIVE

Quoique le caféier soit généralement multiplié par semences, il n'y a rien de bien nouveau à ajouter aux méthodes employées depuis longtemps pour la production de bons sujets de semis. Par ailleurs, il y a une tendance à pratiquer la propagation végétative ou asexuelle sur une plus grande échelle que dans le passé.

Bouturage

Le bouturage a pris une extension particulière dans la culture du Canephora ; l'espèce étant allogame, sa multiplication par boutures est maintenant commune dans les meilleurs pays producteurs. Il faut citer

spécialement l'impulsion donnée par Snoeck (1968) à cette méthode de propagation à Madagascar. Boudrand (1974) a récemment publié une complète mise au point sur la technique de la multiplication du *Canephora* par boutures. Il considère que les facteurs qui influent sur le taux de réussite peuvent être soit externes : conditions climatiques, substrat du bouturage, produits antiparasitaires ; soit internes : conditions génétiques et physiologiques, forme de la bouture. Sur ces bases une technique a été adoptée qui permet d'obtenir de très forts pourcentages de réussite.

Il faut signaler dans plusieurs régions l'extension des parcs à bois au moyen desquels on peut prélever sur un hectare de terrain un nombre élevé de boutures estimé à deux millions par an (Snoeck 1968).

Le bouturage de l'*Arabica* n'est pas encore employé sur une grande échelle, quoique depuis longtemps des techniques avancées aient été mises au point (Fiestler 1957, Fernie 1958). Avec la grande importance que l'on accorde maintenant aux hybrides de l'*Arabica*, le bouturage a certainement sa place pour activer les travaux d'amélioration génétique (Fernie 1962). Les divers aspects de la multiplication de l'*Arabica* ont été étudiés récemment par Vossen et Laak (1976). Ils ont réussi à obtenir plus de 90 % de boutures bien enracinées dans un intervalle de douze semaines sans avoir recours ni à des propagateurs coûteux ni à des installations sophistiquées pour la nébulisation ou le chauffage du sol. Les méthodes adoptées conviennent à la multiplication sur une grande échelle de clones d'*Arabica*.

Cultures de tissus

Les cultures de tissus, que l'on peut considérer comme une forme de bouturage, semblent être sur le point de quitter le domaine d'une pure méthode de recherches pour atteindre celui d'un moyen rapide et rentable de multiplication végétative. Herman et Hass (1975), en partant de segments de feuilles d'*Arabica* de 25 mm², ont pu obtenir des plantules après sept mois d'incubation totale sur agar. Ces plantules ont été transplantées en conditions stériles dans un milieu de sol et de vermiculite quand elles atteignaient une hauteur de 4 à 5 cm. Dans une communication personnelle, Herman annonce qu'il a un plant de croissance normale en production cette année. Pour une propagation de type commercial, des études plus poussées d'équipement et de rentabilité devraient être entreprises. De toutes les façons, on peut supposer que la rapidité de multiplication des arbres d'élite serait très élevée si l'on considère que plusieurs plantules peuvent être obtenues à partir de 25 mm² de feuilles et qu'un caféier peut facilement avoir une superficie foliaire de 500 à 1 500 dm². De plus, les feuilles peuvent être tirées de branches plagiotropes et orthotropes (*). Dans le cas du chrysanthème on estime qu'au moyen de la culture de tissus, 90 milliards de plants de 15 cm peuvent être obtenus au cours d'une année en partant d'une seule bouture (Earle et Langham 1974).

Greffage

Le greffage n'est pas très employé dans la culture du caféier quoique de récents travaux indiquent son utilité et sa rentabilité dans certaines circonstances. La greffe hypocotylédonaire est maintenant pratiquée au Guatemala sur une échelle commerciale comme méthode de lutte contre les nématodes. Reyna (1968) décrit en détail le procédé, qui consiste en la greffe en fente d'une plantule de laquelle on enlève le cotylédon avant son épanouissement. Le greffon est tiré d'une plantule coupée à environ 2 cm au-dessous du cotylédon. L'opération est facile à réaliser et un ouvrier peut pratiquer cent vingt-cinq greffes par jour. Les jeunes plants sont placés dans un propagateur ombragé durant cinquante à soixante jours. Une réussite de 95 % a été obtenue au moyen de cette méthode. Il faut admettre qu'il ne s'agit pas exactement de propagation asexuelle puisque ce sont deux sujets de semis que l'on greffe. La méthode est néanmoins très utile pour le contrôle de certaines maladies et déprédateurs de la racine auxquels le porte-greffe est résistant. De plus, le porte-greffe peut parfois mieux s'adapter à certaines conditions écologiques que le greffon. Par exemple dans une certaine région de Madagascar les pieds de Robusta greffés sur Congensis en 1969 ont produit dès 1971 alors que les francs de pieds issus de la même récolte ne sont entrés en production qu'en 1973 (IFCC, 1974).

Il faut mentionner une nouvelle méthode de greffage qui permet de propager des clones sur porte-greffes présentant des qualités spéciales, c'est la technique du greffage sur bouture vulgarisée à Madagascar. Selon Snoeck (1968), la greffe se fait par placage à un œil en conservant la feuille. Les deux opérations, greffage et bouture, se font simultanément. Un greffeur peut préparer quatre-vingt greffes-boutures par jour. Le pourcentage de réussite et d'enracinement varie de 80 à 90 %.

Dans toute forme de greffe il faut considérer la compatibilité entre le greffon et le porte-greffe, surtout quant il s'agit d'espèces différentes. On rapporte du Brésil, toujours avec la greffe d'axes d'hypocotyle, une bonne reprise de l'*Arabica* tant sur *Canephora* que sur *Dewevrei* et *Liberica* (Hashizume *et al.* 1975). Il ne s'agit néanmoins que d'une bonne reprise, le développement ultérieur n'étant pas connu.

En employant deux espèces différentes pour le greffage, l'une peut être un bon porte-greffe pour l'autre alors que la réciproque n'est pas vraie. Ainsi à Turrialba, Costa Rica, on a obtenu avec la greffe

(*) Après la préparation de cet exposé nous avons lu l'article de Monaco *et al.*, qui, d'après le résultat de leurs travaux, signalaient déjà la possibilité de l'importance commerciale de la technique de culture de tissus dans la multiplication végétative de *C. arabica* (voir Monaco, L.C., Sondahl, M.R., Carvalho, A., Crocorno, J., Sharp, W.R.: Applications of tissue culture in the improvement of coffee. In J. Reinert and Y.P.S. Dajaj ed. Applied and fundamental Aspects of Plant Cell, Tissue and Organ Culture. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1977).

d'axes d'hypocotyle une bonne reprise et une bonne production d'Arabica greffés sur *C. bengalensis*, alors que les Bengalensis sur Arabica présentaient une croissance débile et sont morts au bout de peu de temps. Ceci n'est pas une recommandation du Bengalensis comme porte-greffe, car on ignore son effet sur la qualité de la boisson donnée par les fruits des plants obtenus. Il faut toujours s'assurer que le porte-greffe n'a pas une mauvaise influence sur les qualités organo-

leptiques et ne présente pas le danger d'introduire des facteurs toxiques dans les fèves des plants greffés. Ceci a une importance spéciale dans le cas des porte-greffes provenant d'espèces sauvages.

A tout prendre, il semble que le greffage, surtout par l'emploi de méthodes rapides, a un avenir en caféiculture et que l'on n'a pas encore suffisamment exploité ses avantages.

SYSTÈME INTENSIF DE PRODUCTION

Le concept actuel dans la culture du caféier est de faire la distinction entre le système intensif et le système extensif de production. Le système intensif se caractérise par l'absence ou la quasi-absence d'abris, une grande densité de plants à l'hectare et une fertilisation adéquate. Il offre les rendements les plus élevés. Le système extensif exige moins de débours, adopte un ombrage assez fort, qui diminue les activités physiologiques de la plante et pour cette raison nécessite moins d'engrais, les rendements sont souvent très faibles.

On considérera donc les composants principaux du système intensif de production : le problème de l'ombrage, l'indice de superficie foliaire et les fortes densités de plantation. La fertilisation scientifique viendra après comme thème séparé.

Problème de l'ombrage

Le rendement dépend de la production de matière sèche résultant de la photosynthèse qui, à son tour, est fonction d'une lumière appropriée. Une des premières études fondamentales sur la photosynthèse apparente fut réalisée par Nutman (1947). Cet investigateur démontra qu'une forte intensité lumineuse réduit l'assimilation chlorophyllienne de feuilles individuelles de café Arabica. Plus près de nous, Nunes *et al.* (1968), se servant de jeunes plants issus de boutures âgées de neuf mois et d'une hauteur de 40 cm avec environ quarante-cinq feuilles, ont conclu que pour chaque degré centigrade au-dessus de 24 °C on pouvait s'attendre à une diminution d'environ 10 % de la production de la matière sèche et que par conséquent à 34 °C cette production s'approche de zéro.

La composition génétique semble jouer un rôle dans cette réaction à la chaleur, Nunes *et al.* (1969) comparèrent trois types S 288-23 (une variété des Indes dérivant d'un croisement de *C. arabica* avec *C. liberica*), un Arabica de la région de Jimma, Ethiopie, et deux Robustas SA 34 et BP42 y809. Ils trouvèrent des différences notables dans l'effet de la chaleur sur la photosynthèse nette de ces divers types.

Les partisans de l'ombrage à tout prix ont souvent cité Nutman sans indiquer que le résultat obtenu avec des feuilles individuelles ne peut être appliqué à tout le

système foliaire de la plante, considérant qu'il existe beaucoup d'auto-ombrage chez un caféier bien développé. Franco, cité par Huxley (1967), a trouvé que les feuilles intérieures d'un caféier Arabica adulte ne reçoivent en certains cas que 10 % de la pleine lumière du jour. Des chiffres similaires ont été notés chez le Robusta, par Huxley (1967), à Kabanyelo. Dans le cas de plusieurs espèces végétales les feuilles extérieures atteignent leur maximum de photosynthèse au tiers de l'intensité lumineuse alors que la plante entière demande une illumination totale (Sylvain 1958).

L'expérience de Nunes *et al.* (1968) a porté sur un jeune plant entier ; néanmoins, à neuf mois il y avait encore peu d'auto-ombrage et pas l'ombrage mutuel que l'on rencontre en plein champ. Un des buts de la forte densité de plantation est justement d'utiliser l'ombrage mutuel qui remplace celui prodigué par les arbres d'abris.

A propos de l'effet de la température sur la photosynthèse Gomez *et al.* (1974), se servant de plants de Caturra semés en plein soleil à 2 m × 2 m, ont comparé la température des feuilles auto-ombragées à celle des feuilles au soleil. La différence entre une feuille exposée au soleil et une feuille à l'ombre était de 10 °C.

Il a été bien établi qu'en général un ombrage excessif diminue la production de la matière sèche de laquelle le rendement dépend en grande partie (Alvim 1958, Castillo et López 1966, Ostendorf 1962).

Néanmoins, comme l'écrivait Coste (1955), l'étude de l'ombrage ne peut être envisagée qu'associée à un certain nombre d'autres facteurs parmi lesquels nous citerons l'édaphisme, les soins culturaux, la taille, la fertilisation, etc.

Après ce qui vient d'être dit on peut se demander pourquoi en Amérique, le Brésil excepté, la plupart des plantations sont encore ombragées. Ceci se justifie par le fait que la présence d'abris est une espèce d'assurance. En certaines conditions on ne peut pas prodiguer tous les soins voulus aux plantations en plein soleil. Une chute des prix du café jointe à une augmentation du coût des engrais pourrait être néfaste pour une plantation maintenue absolument sans ombrage (Ostendorf, 1962). Néanmoins, le grand progrès réalisé est la certitude que si l'ombrage est bien contrôlé et jamais trop dense on peut obtenir des rendements très élevés.

A Costa Rica, on pratique deux tailles sévères des arbres d'abris par an en les étêtant à environ 50 cm ou 1 m au-dessus des caféiers, tantôt avec les troncs complètement nus, tantôt en laissant une ou deux petites branches tire-sève. Cette opération se pratique à intervalles de cinq à sept mois en janvier, février et mai-juin dans la zone atlantique, mars-avril et août dans la « meseta » centrale (Manual de recomendaciones, 1976). De cette façon, après la taille, il n'y a que 10 à 15 % d'ombrage et plus tard 25 à 30 %. Cette méthode jointe aux autres recommandées pour un système intensif de production donne au pays un rendement moyen de l'ordre de 1 000 kg à l'hectare qui peut atteindre 3 000 kg et plus dans les meilleures fermes. En cas de hausse dans le prix des engrais et de chute des cours du café, il est facile de laisser croître un peu les arbres d'abris pour augmenter le taux d'ombrage. Il serait recommandable de pousser les recherches vers les meilleures époques de taille des abris selon les facteurs écologiques et les phases de développement des caféiers.

Indice de superficie foliaire

Selon Cannell (1975), les systèmes intensifs de production présentent des problèmes d'aménagement, mais sont en fin de cause la seule façon d'exploiter pleinement l'énergie provenant de la radiation et les autres ressources de l'environnement. On a déjà vu que pour atteindre ce résultat, il faut disposer d'une bonne illumination. Un autre facteur très important dans l'exploitation de l'énergie est une grande superficie foliaire calculée au moyen de l'indice de superficie foliaire, ISF. Cet indice, selon Boyer (1968), exprime la surface totale du feuillage développé par unité de surface du terrain, par exemple un indice de 3 signifie que sur un hectare de terrain il y a une superficie foliaire de 3 ha. Huertas et Alvim (1962) considèrent que la capacité photosynthétique d'une culture dépend principalement de son indice de superficie foliaire. Valencia (1973) a étudié en Colombie la relation entre l'indice de superficie foliaire et la productivité du caféier. L'essai fut mené au moyen d'une parcelle expérimentale de Caturra avec trois densités de plantation, dix mille, cinq mille et deux mille cinq cents plants à l'hectare, recevant 3 t par an d'un engrais de formule 12-12-17-2 en quatre applications. Les valeurs de l'ISF ont montré au cours de quatre ans une tendance à augmenter avec les plus grandes densités de plantation. Durant les trois premières années la production de café augmenta en fonction de l'augmentation de la densité de plantation. Les récoltes les plus élevées furent obtenues avec un indice de 7,97 au mois de juin. Des chiffres voisins de cet indice optimum furent notés avec une densité de dix mille plants à l'hectare les trois premières années et de cinq mille plants à l'hectare la quatrième année.

Comme l'indique Cannell (1975), le taux de développement de la culture continue d'augmenter jusqu'à des valeurs élevées de l'ISF parce que le point de compen-

sation des feuilles ombragées est ordinairement de moins de 1 % de la radiation solaire reçue durant une journée tropicale ensoleillée et que la lumière peut pénétrer à travers de nombreuses couches de feuilles.

Densités de plantation

Il y a eu ces dernières années un grand nombre d'essais sur la densité de plantation et la tendance moderne, on peut dire l'innovation, est de planter les caféiers en plein champ à des distances bien inférieures aux anciennes. On peut se rappeler que les anciens textes recommandaient généralement pour l'Arabica un alignement de 3 m × 3 m, soit environ onze cents plants à l'hectare. Maintenant beaucoup de services de vulgarisation considèrent le chiffre de cinq mille plants à l'hectare comme une norme acceptable.

Ceci est le résultat de beaucoup d'essais, dont on ne citera que quelques-uns. Cowgill (1958), sur la base de résultats obtenus dès 1945, recommandait en 1954 le système de caféiers plantés en haies en plein soleil. A Porto Rico, Vicente Chandler *et al.* (1969) ont pratiqué avec 30 % d'ombre un essai de densités de plantation allant de 755 à 6.047 pieds/ha. Sur une période de sept ans le rendement moyen maximum s'obtint à la densité de 6.047 pieds/ha atteignant 1.578 lbs par « cuerda » ou environ 1.800 kg/ha tandis qu'à la plus faible densité de 755 pieds/ha le rendement n'était plus que de 386 kg/ha.

A Rosario, Mexique (Instituto Mexicano, 1974), dans un essai avec la variété Bourbon comparant des densités de plantation de 833 et 2.222 pieds/ha, la moyenne de huit récoltes donna respectivement 600 et 2.230 kg/ha.

A Costa Rica, en employant des densités de 5.000, 3.300 et 2.500 pieds/ha, on a obtenu un effet linéaire positif avec 16 % d'augmentation de rendement pour chaque réduction de la distance de plantation (Pérez et Gutiérrez, 1976). Des essais sont en cours à la station de Foubot, Cameroun, avec des Caturra plantés aux densités de 1.250, 2.500, 5.000, 7.500 et 10.000 pieds/ha (IFCC, 1974).

Il faut signaler que dans certains pays on met parfois plusieurs pieds dans le même trou et que la densité peut être encore plus grande qu'on ne le croit.

En Tanzanie (Mitchell 1976), avec des trous de plantation à une distance de 2,75 × 2,75 m et un, deux, trois ou quatre pieds par trou, on obtint une augmentation de production de 27 % et 65 % respectivement en employant deux ou quatre pieds au lieu d'un seul.

Au Venezuela le Ministère de l'Agriculture recommande de semer deux pieds par trou. On peut obtenir des sujets de bonne qualité pour la transplantation en mettant deux plantules dans le même sachet en polyéthylène et on économise près de 50 % du coût (Bellavita et Morales, 1968).

Un important séminaire s'est tenu à Nairobi, en 1968, pour faire le point des systèmes d'intensification de la culture du café au Kenya et donner des idées sur

les recherches à conduire (Huxley, 1969). Avec une participation de quatre-vingt-trois membres, les aspects les plus divers de l'intensification ont été évoqués, tel, par exemple, l'effet qu'elle peut avoir sur les besoins en eau, sur la fertilisation, sur les insectes et les maladies et sur l'économie des plantations. A la suite de cette réunion une série d'essais a été entreprise dans plusieurs régions du pays. Ces essais ne tiennent

pas seulement compte de la densité mais du dispositif de plantation, par exemple, l'emploi de haies, de blocs et de plantations intercalaires dans de vieilles parcelles. Les principaux problèmes sont la taille et les aspersions. Pour ce qui est de la taille à des densités de 2.200, 5.000 et 7.500 pieds/ha les arbres sont recépés selon des cycles de trois, quatre, cinq ou six ans (Mitchell 1976).

FERTILISATION SCIENTIFIQUE

L'emploi des engrais tant organiques que chimiques n'est pas une pratique récente en caféiculture. Néanmoins, certains textes prétendaient que le caféier ne répond pas aux fumures artificielles, ceci peut-être parce que souvent les essais se pratiquaient à tâtons, les quantités de fertilisants étaient parfois insuffisantes, dans d'autres cas l'ombrage excessif agissait comme facteur limitant ou encore la carence d'un oligo-élément rendait inopérants les autres éléments appliqués au sol. Herón et Valdes (1966) écrivent qu'en faisant une analyse statistique d'essais de fertilisation sur de vieux caféiers sous abri, il n'y avait de réponse que lorsque les applications d'engrais d'une formule 12-6-24 atteignaient 1.200 kg/ha par an.

Ce sont les travaux de ces vingt-cinq dernières années qui nous ont éclairé au point qu'on peut parler maintenant d'une fertilisation scientifique du caféier (Carvajal, 1972). Loué (1954) dès 1950 essaya d'appliquer aux études de la nutrition du caféier la méthode classique du diagnostic foliaire de Lagatu et Maume.

Il tenta d'établir des corrélations entre la teneur en éléments des feuilles du caféier Robusta et le rendement de la récolte suivante. Il put démontrer qu'il existe la plus forte corrélation lors du prélèvement d'azote du 7 juin et de phosphore du 17 août. De leur côté Raju et Subramanian (1969) ont trouvé que la teneur en azote et phosphore des échantillons de feuilles d'Arabica recueillies au mois d'août durant deux années donnent des indications sur les rendements de façon satisfaisante. Bénac (1967) signale, sur Arabica au Cameroun, une corrélation entre le rendement et la teneur des feuilles en azote en avril.

Carvajal (1972) présente quelques-uns des objectifs les plus importants du diagnostic foliaire.

- 1) Diagnostic des carences des divers éléments de nutrition minérale.
- 2) Guide pour une fertilisation économique associée à l'analyse chimique du sol.
- 3) Définition d'antagonismes nutritifs ou de déséquilibres causés par une fertilisation intensive.
- 4) Confirmation d'altérations dans le métabolisme de l'azote.
- 5) Etude de la réponse aux engrais en fonction de la qualité et de la quantité.

- 6) Confirmation de l'efficacité de la méthode d'application des engrais.
- 7) Etablissement de corrélations entre la production effective et l'état de nutrition de la plante.

Au cours des récentes années les techniques d'analyses foliaires se sont perfectionnées. On a déterminé la position des feuilles convenant le mieux à l'étude, les meilleures époques de prélèvement des échantillons, et la forme de l'élément à analyser. Les nouveaux appareils qui permettent de réaliser rapidement un grand nombre de déterminations chimiques facilitent le travail sur une grande échelle.

Les chercheurs de divers pays ont pu établir les seuils de carence au moyen de cette technique et on a publié des tableaux qui résument les résultats de ces travaux (Malavolta *et al.* 1962, Müller 1966, Carvajal 1972).

Le diagnostic foliaire permet non seulement d'étudier la nutrition minérale d'un arbre ou d'une plantation, mais de toute une région si un échantillonnage adéquat est pratiqué. Cette technique a été employée par Lott *et al.* (1961) pour déterminer la nutrition minérale des caféiers des Etats de São Paulo et de Paraná au Brésil, en prélevant cent échantillons, trois fois par an, de cent vingt-six plantations dans l'Etat de São Paulo et quarante-six au Paraná.

L'analyse foliaire a permis de déterminer les éléments qui répondent le mieux aux applications pratiquées aux feuilles sous forme d'aspersions plutôt qu'au sol de manière conventionnelle. Selon Müller (1966) ce serait le cas du phosphore, du magnésium, du manganèse et du zinc.

L'usage des radio-isotopes s'est vulgarisé pour étudier l'absorption et la migration des éléments de nutrition notamment dans le cas du phosphore où l'application aux feuilles de cet élément marqué au ^{32}P a été trouvée plus efficace pour l'absorption, la migration et l'accumulation dans diverses parties de la plante que l'application faite au sol (Malavolta *et al.* 1959, Sarruge *et al.* 1966, Gopal et D'Souza 1975).

Une autre méthode pour étudier la nutrition minérale de la plante au cours du temps consiste à cultiver les jeunes caféiers en solution nutritive et à déterminer

l'absorption des éléments. Carvajal (1969) calcula le taux d'absorption mensuelle des ions NO_3 , NH_4 , K, Ca, Mg et phosphate au moyen d'analyses chimiques hebdomadaires du substrat durant un cycle végétatif et reproductif complet. L'azote se montra l'élément majeur le plus important suivi par la potasse. Le taux d'absorption des éléments de nutrition semble différent pour chaque élément durant une époque donnée.

Le soufre est un élément qui a été négligé pendant longtemps en caféiculture, quoique son absorption par les plantes en bonne santé puisse être plus élevée que celle du phosphore. L'emploi d'engrais pauvres en soufre ou manquant de cet élément peut résulter en une carence comme l'ont démontré Freitas *et al.* (1972). Dans un essai en plein champ, au Brésil, ils appliquèrent sous forme de gypse de 0 à 120 lbs par acre (environ 132 kg/ha). Durant les dix années de l'expérience les applications de soufre augmentèrent les rendements de 1.320 kg/ha à 2.400 kg/ha pour le meilleur traitement de 66 kg de soufre par hectare. Les données de la teneur en sulfate des feuilles montrèrent une grande augmentation résultant des applications de gypse au sol. Un cas sévère de carence en soufre a été signalé au Salvador sur jeunes caféiers Arabica croissant en plein soleil, sans engrais, sur un sol blanchâtre dérivé d'andésite. Une forte application de nitrate d'ammoniaque intensifia la déficience au point que beaucoup des plants moururent. Les applications au sol d'engrais contenant du sulfate d'ammoniaque ou du sulfate de potasse corrigèrent facilement la déficience (Müller 1966).

La carence en cuivre a été récemment étudiée dans plusieurs Etats du Brésil. Une teneur dans les feuilles inférieure à 4 ppm est insuffisante. Les feuilles nouvelles montrent une ondulation bien visible sur la face inférieure, la croissance est retardée. Soixante jours après un traitement de cuivre similaire à celui employé pour combattre la rouille, les sujets de pépinière déficients présentèrent une augmentation de 80 % de poids sec en comparaison avec les témoins (Andrade *et al.* 1974).

Les carences en certains oligo-éléments causent dans certains cas de grandes diminutions de rendement alors que dans d'autres les effets nocifs ne sont pas si faciles à détecter. On signale par exemple des augmentations

de rendement de l'ordre de 285 % à Costa Rica (Valencia 1964) et de 300 à 500 % au Guatemala (Müller 1966) après traitement de la déficience de bore. La carence de zinc peut rendre une plantation presque improductive, son contrôle qui n'est pas difficile est donc de grande importance économique. De plus les applications de zinc augmentent la dimension des fruits (Müller 1966).

Le problème de la fertilisation scientifique est encore compliqué par beaucoup de facteurs tels que les interactions entre plusieurs éléments, par exemple l'effet de fortes applications de potasse sur la teneur en magnésium. Cet effet bien connu peut varier selon les clones de Robusta. L'IFCC (1975) a obtenu en Côte d'Ivoire des réponses différentielles aux engrais en employant les clones 146 et 461.

Un autre point important est la toxicité. Dans certains cas il y a une faible différence de teneur d'un élément entre la carence et la toxicité, on doit agir par conséquent avec beaucoup de précautions dans l'application des traitements. La toxicité du manganèse a été une des plus étudiées. Une teneur élevée de manganèse soluble peut se présenter dans les sols très acides ce qui est susceptible de diminuer sérieusement la concentration de fer et de zinc dans les feuilles (Müller 1966). L'application de chélates a donné au Brésil un bon contrôle de la toxicité de manganèse avec augmentation de rendement de 240 % chez de jeunes caféiers Arabica accompagnée d'une réduction de cet élément dans les feuilles de 1.113 ppm à 522 ppm (Medcalf et Lott 1956). On a aussi eu du succès pour combattre cette toxicité avec l'emploi du chaulage et des pailis (Müller 1966).

Je voudrais maintenant sortir un moment de mon texte et faire une brève digression qui m'a été inspirée en écoutant cette semaine certaines communications sur la chimie des fèves de café. Il semble qu'il y a peu de travaux qui cherchent à déterminer l'effet possible de fortes applications d'engrais ou autre produit chimique sur la composition des fèves. Il serait intéressant qu'agronomes et chimistes se mettent d'accord pour ce genre d'études. Par exemple, on nous a parlé de l'effet des composés sulfureux sur l'arôme ; il est probable que les carences en soufre se manifestent aussi dans les fèves et par conséquent affectent l'arôme.

RÉCOLTE

La récolte a toujours été considérée comme un problème important dans la production du café. Ici il ne s'agit pas d'augmentation des rendements mais de diminution du prix de revient. Quoique variant beaucoup selon le coût de la main-d'œuvre, on estime que cette opération représente en général 40 à 60 % du coût de production (Cannel *et al.* 1970, Instituto Mexicano 1974). Au Brésil, où le système de récolte ne tient pas tellement compte de la cueillette séparée des fruits mûrs, l'opération n'est pas aussi onéreuse.

Si l'on ne met pas en marche de nouvelles méthodes qui rendent plus efficaces les systèmes actuellement en usage, le prix relatif de la cueillette sera encore plus élevé, puisque un peu partout dans le monde, et à juste titre, les travailleurs des champs sont mieux payés. D'autre part, dans certaines régions ce n'est pas seulement une question de coût, mais de rareté de main-d'œuvre qui oblige parfois à des stratagèmes pour trouver les ouvriers nécessaires au moment voulu, par exemple faire coïncider les vacances scolaires avec la

récolte pour que les écoliers puissent aider. Les organes d'information se mettent parfois de la partie signalant que c'est un devoir patriotique que de participer à la récolte du café.

La durée de la récolte varie de quelques semaines à plusieurs mois selon les régions. Ceci dépend de la latitude avec son effet sur la durée des jours, de facteurs génétiques et du climat, spécialement de la distribution des pluies. Le rôle des précipitations sur la floraison et éventuellement la récolte est bien connu depuis l'œuvre classique de Portères (1946). On a déterminé à Turrialba, Costa Rica, 9° de latitude nord, que les journées sont assez courtes durant toute l'année pour provoquer l'initiation florale (Newton, 1952) et comme il n'y a pas de véritable saison sèche en cet endroit, le climat est favorable à la floraison durant une grande partie de l'année et il y a certaines variétés dont les branches portent à la fois des fruits mûrs, des fruits verts et des fleurs. Comme pour obtenir du café de qualité il faut pratiquer la cueillette sélective, c'est-à-dire ne récolter que des fruits mûrs, il arrive souvent qu'il soit nécessaire d'effectuer dix à douze passages au cours d'une saison, ce qui augmente beaucoup les frais.

Action de l'éthéphon sur le groupement de la maturation

Le groupement de la maturation, en diminuant le nombre des passages, a toujours été considéré comme un facteur important et dès les premières découvertes sur les effets physiologiques des substances de croissance les investigateurs en café ont essayé de les employer pour résoudre le problème.

L'effet de l'Ethrel ou éthéphon, l'acide 2-chloroéthyl-phosphonique, sur la maturation de beaucoup de fruits a conduit à de nombreuses études sur l'emploi de ce produit pour le groupement de la maturation du café. En moins de dix ans beaucoup d'essais ont été conduits en ce sens dans divers pays et une ample littérature est maintenant disponible sur la question quoiqu'il y ait encore plusieurs doutes à éclaircir. Récemment Claude (1976a) a présenté une mise au point de la question et les intéressés pourront y trouver des renseignements détaillés qu'il serait trop long de donner ici.

L'effet de l'éthéphon est dû à la libération, en condition acide, d'éthylène dans la plante (Claude 1976a). A son tour, l'effet de l'éthylène sur la maturation des fruits est connu depuis de nombreuses années. Les essais entrepris sur le café ont présenté certaines contradictions. Ceci est dû au fait qu'une série de facteurs entrent en action, par exemple la concentration et la quantité du produit appliqué, l'époque et la méthode d'application et la constitution génétique du matériel traité.

On va citer seulement quelques données sur des résultats de premier ordre obtenus sur le groupement des récoltes avec l'emploi d'Ethrel dans divers pays. Avec le Robusta, en Inde, Gopal (1976) a obtenu trois

fois plus de fruits mûrs, 94 % au lieu de 31 % pour le témoin, neuf jours après le traitement. A Abengourou, Côte d'Ivoire, 98 % de Robusta sont récoltés douze jours après le traitement, contre 34 % pour le témoin (IFCC, 1975).

Encore en Côte d'Ivoire, Snoeck (1973) rapporte qu'aux doses les meilleures d'éthéphon trois passages suffisent à la récolte tandis que huit sont nécessaires pour les témoins. Au Kenya, on a trouvé qu'au cours du premier mois après le traitement des Arabica à 1.400 ppm, 64 % des cerises avaient été récoltées contre seulement 20 % chez les témoins (Cannell *et al.* 1970).

La concentration du produit employé varie beaucoup selon les essais et affecte non seulement son efficacité mais aussi sa phytotoxicité.

En général, la dose la plus communément employée semble être aux alentours de 1.500 ppm, quoiqu'il y ait de nombreuses exceptions. Marcondes *et al.* (1974) ont trouvé qu'il fallait une concentration de 4.800 ppm pour avoir un effet sur la maturation de l'Arabica, tandis que Oyebade (1976) rapporte un groupement dans la maturation avec 300 ppm.

La méthode d'application a été aussi étudiée et il est maintenant admis qu'il est nécessaire d'appliquer le produit non sur les feuilles mais directement sur les fruits (Snoeck 1973, Gopal 1976). Gopal a aussi trouvé que si l'on pratique le traitement sur seulement la moitié de l'arbre, il n'y a pas d'effet sur l'autre moitié.

L'éthéphon n'est pas encore employé sur une grande échelle malgré les avantages que présente parfois son usage. Ceci est dû aux aléas qui surviennent si le produit n'est pas appliqué dans des conditions idéales. Dès le début des études on a noté sa phytotoxicité caractérisée particulièrement par une défoliation excessive et une chute prématurée des fruits (Rodríguez et Morelo, 1970 ; Upegui et Valencia 1972). Ceci néanmoins peut être contrôlé en n'employant pas de doses trop fortes du produit. Les effets sur la qualité tant physique qu'organoleptique du café sont de grande importance. Arcila Pulgarin (1975) a rencontré 50 à 70 % de fèves de couleur marron après application d'Ethrel à une concentration de 1.000 ppm. On note en Côte d'Ivoire que sur les clones plus éloignés de la maturité, des doses de 1.500 ppm sont nécessaires pour obtenir de 50 à 97 % de groupement, il en résulte une dépréciation du café marchand ; les fèves sont plus petites et roussâtres (IFCC, 1974).

L'effet négatif sur les qualités organoleptiques semble provenir principalement de l'époque d'application. Sondahl *et al.* (1974) employèrent des concentrations de 0 à 2.000 ppm du produit actif à deux époques, le 5 avril et le 6 mai, choisies parce qu'elles présentaient des différences dans le nombre des fruits verts au moment de l'essai. Les fruits traités furent récoltés quinze jours après l'application du produit et les témoins à maturité. Le classement du café sur la base des endospermes immatures ou fèves vertes indiqua la présence de plus de 40 % de ce défaut chez les fruits provenant de la première application alors qu'il n'y en avait plus que 10 % chez ceux provenant de la seconde et 4,5 % chez les témoins. En outre les cafés traités à la première époque donnèrent une boisson « hard » et

ceux de la seconde époque une boisson « mild ». Teixeira *et al.* (1976) ont trouvé qu'une quantité de 5 % de fèves vertes pouvaient être détectées par les dégustateurs et que des quantités supérieures à 10 % affectaient sensiblement la qualité de la boisson.

On peut donc conclure avec Claude (1976a) que si le planteur tente un traitement sur des baies dont l'endosperme n'est pas totalement développé, il s'expose alors à cueillir des fruits rouges, d'apparence externe mûrs, mais dont l'endosperme immature sera à l'origine d'une boisson de qualité à la tasse médiocre. Ceci est un problème sérieux, car, comme on l'a montré précédemment, pour des raisons d'ordre génétique et climatique certains caféiers présentent des endospermes immatures durant une grande partie de l'année.

Il faut mentionner un autre problème très important qui peut empêcher l'usage commercial de ce produit, c'est la très faible concentration admise dans les fèves de café marchand par l'administration intéressée des Etats-Unis. Le produit commercial ne doit pas contenir plus de 0,1 ppm d'éthéphon. S'il n'y a pas de données sur la teneur d'éthéphon dans les grains après traitement, des recherches devraient être immédiatement dirigées dans ce sens.

Récolte mécanique

La récolte mécanique de fruits et de grains n'est pas une nouveauté et est un fait accompli depuis de nombreuses années pour diverses espèces végétales. On a cherché ces dernières années à adapter au café des appareils employés pour d'autres cultures. Les principales recherches à ce sujet ont été conduites à Hawaii, à Porto Rico et au Brésil.

Deux types de machines sont à l'essai : les vibreurs ou secoueurs portatifs et les appareils montés sur roues. Le premier type est de petite dimension et convient mieux aux petits planteurs ; il ne nécessite pas de changements importants dans les dispositifs de plantation. Les appareils sur roues sont de grande dimension, nécessitent de larges interlignes et en conséquence de nouveaux dispositifs de plantation qui sont à l'encontre de ceux que réclame la culture intensive (Claude 1976b). De plus ils ne peuvent être utilisés dans les terrains trop accidentés.

Les avantages et inconvénients des petits appareils ont été démontrés par divers essais. Au Kenya, par exemple, quand la vibration se prolongeait pour enlever presque 100 % des cerises mûres, environ 44 % des baies vertes étaient aussi enlevées et beaucoup de branches étaient complètement défoliées, seulement 15 % des cerises mûres pouvaient être cueillies avec une perte négligeable de baies vertes. Les meilleurs résultats furent obtenus quand les arbres avaient peu de cerises vertes ; dans ce cas, 50 % des cerises pouvaient être récoltées sans une défoliation excessive.

Au Mexique, on a essayé un vibreur portatif à moteur. La machine nécessitait six hommes pour son opération. Le rendement par homme/heure était de 45 kg à la machine et de 40 kg à la main. On nota la

récolte d'un pourcentage élevé de fruits verts, une certaine défoliation des caféiers et le manque d'efficacité de la machine pour enlever toutes les cerises mûres des arbres (Instituto Mexicano, 1974).

En Côte d'Ivoire, une machine type fouetteur fut mise à l'épreuve. L'appareil sélectionne correctement les cerises sans endommager les caféiers. Il reste cependant à résoudre le très difficile problème de la collecte des cerises sur des bâches. Le fouettage des branches envoie les cerises à plusieurs mètres de l'arbre récolté (IFCC, 1976).

Il semble y avoir beaucoup moins d'informations sur les grandes machines sur roues pour récolte en masse. Rigitano (1975) donne ses idées sur ce que devrait être une machine de ce genre en se basant sur les essais d'un prototype (machine à récolter les myrtilles) réalisés au Brésil. Cette machine qui a un poids de 6 à 7 t enveloppe toute la plante qui est soumise à la vibration. Sa dimension permet de travailler avec des plantes de 2,70 m de haut et une couronne de 1,40 m à 1,80 m. Elle est actionnée par un moteur à gasoline ou diesel. La machine au travail doit passer au-dessus des rangées de plantes tout en allant à une vitesse constante. Les arbres doivent être taillés pour ne pas dépasser la hauteur permise par l'appareil ou des variétés de moindre développement doivent être utilisées. On doit pratiquer l'élimination des branches inférieures jusqu'à une hauteur de 40 cm au-dessus du sol.

La machine nécessite seulement un opérateur et deux auxiliaires. On considère qu'elle peut faire le travail de cent à trois cents hommes récoltant à la main. Il faut pratiquer au moins deux passages par an (sous les conditions de l'essai). D'après l'auteur les dommages ne sont pas très importants, consistant principalement en brisures de quelques branches et en la chute d'un certain nombre de feuilles. Ces dommages seraient moins graves qu'en pratiquant la récolte manuelle.

Le point fondamental est probablement la rentabilité. Il n'y a pas de doute que la récolte mécanique est généralement plus rapide et nécessite moins de main-d'œuvre. Néanmoins ce ne sont pas les seuls facteurs à considérer et même si les frais sont moindres, il faut tenir compte de la diminution de la valeur du produit causée par une chute dans sa qualité et son prix sur le marché.

Quand le coût de la main-d'œuvre n'est pas élevé, l'opération peut n'être pas rentable.

Snoeck (1976) rapporte qu'au cours d'un essai la récolte à l'aide d'un fouetteur coûtait, en chiffres ronds, 25 FCFA le kilo tandis qu'elle pouvait se faire à la main pour 21 FCFA.

L'efficacité de la récolte mécanique dépend en grande partie du groupement de la maturation. Si la grande majorité des fruits atteint en même temps la maturité on peut se contenter de deux passages sans encourir des pertes économiques sérieuses dues à la chute de beaucoup de fruits verts. Si, au contraire, la maturation s'étend sur plusieurs mois il faut un nombre excessif de passages avec augmentation du coût de la récolte totale, grandes pertes de fruits verts, défoliation et éventuellement d'autres dommages causés aux plants.

La rentabilité de la récolte mécanique dépend aussi d'une série de facteurs économiques, notamment du prix d'achat des appareils et de leur entretien ainsi que du coût et de la disponibilité de la main-d'œuvre.

Avant d'adopter la pratique on doit aussi tenir compte des facteurs sociaux. Même s'il en résultait une diminution du prix de revient on ne devrait introduire la récolte mécanique qu'avec précaution, surtout les grands appareils, dans les régions où la main-d'œuvre tend à être en excès et où il faut résorber le chômage potentiel. La technique ne pourrait alors se recommander qu'en développant en même temps de nouvelles sources de travail durant l'époque de la récolte.

Récolte sur mailles en matière plastique

Vicente-Chandler, Abruña, Bosque-Lugo et Silva (1969), ont développé à Porto Rico un nouveau système simple et bon marché pour récolter le café des plantations de haute production. Selon leur description on étend des filets en mailles en matière plastique entre les rangées de caféiers de manière à recouvrir tout le terrain. Les fruits tombent naturellement dans les mailles quand ils arrivent à maturité et on les ramasse à intervalles déterminés. La quantité de filet pour recouvrir un hectare de terrain coûte de 500 à 1.000 dollars US et on estime leur durée à cinq ans. Deux hommes peuvent manipuler une section de filet de 3,30 m de large sur 7,50 m de long. Le matériel recueilli se compose d'un grand volume de feuilles sèches, de grains et de quelques fruits en état de fermentation. Si le ramassage s'effectue à de courts intervalles, les fruits prédominent, mais si on ne pratique la récolte que toutes les quatre ou six semaines, comme il est recommandé, la majorité du produit sera sous forme de grains en parche, la pulpe des fruits s'étant décomposée naturellement. Après le ramassage le café mêlé aux feuilles sèches passe par une simple structure où un courant d'air provenant d'un ventilateur sépare les feuilles des grains. Le café est ensuite lavé et séché.

Les épreuves de dégustation n'ont pas montré de détérioration de la qualité quand le ramassage s'effectue à intervalles de deux, quatre à six semaines. Durant les périodes de pluies quelques grains peuvent germer si la récolte s'effectue avec un intervalle supérieur à huit semaines. Même aux intervalles recommandés Vicente-Chandler, Silva et Abruña (1969) signalent que le prix du café produit par ce système est inférieur

d'environ 4 centimes de dollars la livre à celui du café lavé.

La méthode implique quelques changements dans les méthodes de production ; on doit par exemple choisir des variétés de port élevé comme le Mundo Novo et le Puerto Rico 401. On cultive les plants en plein soleil à une distance de 1,20 m dans la rangée et 3,30 m entre les rangées et on les laisse ultérieurement croître librement. Les études effectuées indiquent que pour chaque ramassage il faut environ dix journées/homme/hectare, ce qui en représente cinquante pour la récolte complète si l'on pratique cinq ramassages. La cueillette traditionnelle nécessiterait par contre cent soixante-quinze journées/hommes (Vicente-Chandler, Abruña, Bosque-Lugo et Silva 1969). Même quand on pratique la cueillette traditionnelle, les auteurs recommandent aussi l'usage de filets à la place de paniers. L'efficacité de la récolte augmente de 50 % et il y a beaucoup moins de café perdu. La rentabilité de la méthode a été étudiée et démontrée durant quatre ans dans une plantation commerciale de quinze cuerdas (environ 6 ha) de café Bourbon (Vicente-Chandler *et al.* 1975). Les auteurs citent plusieurs avantages qu'apporte la récolte de culture intensive au moyen de filets : a) le café ne se perd pas durant la récolte tandis qu'en pratiquant la cueillette traditionnelle ces pertes atteignent un tiers des fruits tombant sur le sol, b) le coût de la main-d'œuvre est réduit de moitié, c) il n'est pas nécessaire d'émonder les caféiers, d) les arbres croissent d'une façon si exubérante que les désherbages sont inutiles.

Cette méthode ne permet pas l'aspersion normale des plantes pour la protection phytosanitaire quand elle est nécessaire. A Porto Rico, le seul aléa foliaire d'importance est la mineuse (*Leucoptera coffeella* Guer. Men.) qui est contrôlée au moyen d'une application annuelle au sol de disyston. Cet insecticide systémique est un produit à base de phosphore éminemment toxique pour l'homme. Il exige des précautions extrêmes dans sa manipulation et son emploi, est dangereux dans les régions où la récolte se répartit sur une grande période de l'année, car en ce cas la concentration de résidus toxiques dans les grains est probablement inévitable. Ceci est encore plus vrai dans les régions où l'on pratique deux récoltes par an.

Par divers exemples on a montré durant ce tour d'horizon que les innovations en caféiculture présentent des résultats différents selon les conditions écologiques et socio-économiques. Des essais locaux sont donc nécessaires pour s'assurer de leur succès et de leur rentabilité dans une région donnée.

BIBLIOGRAPHIE

1. P. de T. ALVIM 1958. — Recent advances in our knowledge of coffee trees. I. Physiology. *Coffee and Tea Industries and the Flavor Field*, 81, p. 17-25.
2. I. P. R. ANDRADE, J. C. GONCALVES, J. B. MATIELLO, A. E. PAULINI, H. HASHIZUME 1974. —

Ocorencia de deficiencia de cobre em cafezais, no Espirito Santo, Bahia, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Ceara e Pernambuco. Resumos 2º Congresso Brasileiro sobre pesquisas cafeeiras, Poços de Caldas, 10-14 de setembro de 1974. IBC-GERCA, Rio de Janeiro, p. 266-267.

3. J. ARCILA-PULGARIN 1975. — Efecto del ethephon en la calidad de la bebida del café. *Cenicafé* (Chinchina), 26, p. 49-52.
4. O. BELLAVITA, A. MORALES 1968. — Comparación entre la siembra y poda en vivero de una y dos plantas de café por bolsa. *Agronomía Tropical* (Maracay), 18, p. 293-299.
5. R. BÉNAC 1967. — Etude des besoins en éléments majeurs du caféier Arabica en pays Bamoun (Cameroun), 2^e Partie. Rendements et analyses foliaires. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 11, n° 3, juil.-sept., p. 203-219.
6. J. N. BOUDRAND 1974. — Le bouturage du caféier Canephora à Madagascar. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 18, n° 1, janv.-mars, p. 31-48.
7. J. BOYER 1968. — Influence de l'ombrage artificiel sur la croissance végétative, la floraison et la fructification des caféiers Robusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 12, n° 4, oct.-déc., p. 302-320.
8. M. G. R. CANNELL 1975. — Crop physiological aspects of coffee bean yield. A review. *Journal of Coffee Research* (Mysore), 5, p. 7-20.
9. M. G. R. CANNELL, G. BROWNING, A. TURK 1970. — Towards more efficient and cheaper coffee harvesting. *Kenya Coffee* (Nairobi), 35, p. 25-27.
10. J. F. CARVAJAL 1972. — Cafeto. Cultivo y fertilización. *Institut International de la Potasse* (Berne), 141 p.
11. J. F. CARVAJAL, A. ACEVEDO, C. A. LOPEZ 1969. — Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. *Turrialba* (Turrialba), 19, p. 13-20.
12. J. CASTILLO Z., A. R. LOPEZ 1966. — Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. *Cenicafé* (Chinchiná), 17, p. 51-60.
13. B. CLAUDE 1976 a. — L'éthéphon en caféiculture. Son utilisation pour le groupement de la maturité. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 20, n° 3, juil.-sept., p. 232-237.
14. B. CLAUDE 1976 b. — Récolte mécanique des fruits. Possibilités d'application au caféier. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 20, n° 4, oct.-déc., p. 310-319.
15. R. COSTE 1955. — Les Caféiers et les Cafés dans le Monde. Tome Premier. Les Caféiers. Editions Larose, Paris. 381 p.
16. W. H. COWGILL 1958. — Recent advances in coffee production technology. The sun-hedge system of coffee growing. *Coffee and Tea Industries and the Flavor Field*, 81, p. 87-88, 90.
17. E. D. EARLE, R. W. LANGHAM 1974. — Propagation of *Chrysanthemum in vitro*: II. Production, growth and flowering of plantlets from tissue cultures. *Journal of the American Society for Horticultural Science* (Saint Joseph), 99, p. 352-358.
18. Ethephon (Plant Regulator) 1977. — *Pesticide and toxic chemical news*, 5(23) : 56.
19. L. M. FERNIE 1958. — The supply of better planting material. 3. Asexual propagation of coffee. *Coffee and Tea Industries and the Flavor Field*, 81, p. 64-65, 67.
20. L. M. FERNIE 1962. — The vegetative propagation of the new Arabica hybrid coffees on a commercial scale. *Tanganyika Coffee News*, 2, p. 225-228.
21. D. R. FIESTER 1957. — Revisión de literatura sobre propagación asexual de café por estacas. *Turrialba* (Turrialba), p. 57-64.
22. L. M. M. FREITAS, F. P. GOMES, W. L. LOTT 1972. — Effects of sulfur fertilizer on coffee. IRI Research Institute Inc. (New York) Bulletin 41, 17 p.
23. L. GOMEZ G., L. JARAMILLO, R. ALVARO 1974. — Temperaturas en árboles de café al sol. *Cenicafé* (Chinchina), 25, p. 61-62.
24. N. H. GOPAL 1976. — Hastening of fruit ripening in coffee with ethrel. *Planters' Chronicle* (Coonor), 71, p. 167-169.
25. N. H. GOPAL, G. I. D'SOUZA 1975. — Radioisotopes. A new tool for coffee research in India. *Indian Coffee* (Bangalore), 39, p. 139.
26. H. HASHIZUME, J. B. MATIELLO, I. P. R. ANDRADE, A. E. PAULINI 1974. — Estudos sobre aplicação prática da enxertia em café. 2^o Congresso Brasileiro sobre pesquisas cafeeiras, Poços de Caldas, 10-14 de set. 1974. IBC-GERCA, Rio de Janeiro, p. 314-316.
27. E. B. HERMAN, G. J. HASS 1975. — Clonal propagation of *Coffea arabica* L. from callus culture. *HortScience* (Saint Joseph), 10, p. 588-589.
28. A. HERÓN O., H. VALDÉS S. 1966. — Respuesta a la aplicación de fertilizantes en dos proyectos de cafetos bajo sombra. *Cenicafé* (Chinchina), 17, p. 142-146.
29. A. HUERTAS S., P. de T. ALVIM 1962. — Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del cafeto. *Cenicafé* (Chinchiná), vol. 13, p. 75-84.
30. P. A. HUXLEY 1967. — The effects of artificial shading on some growth characteristics of Arabica and Robusta coffee seedlings. I. The effect of shading on dry weight, leaf area and derived growth data. *Journal of applied Ecology*, 4, p. 291-308.
31. P. A. HUXLEY ed. 1969. — Intensification of coffee growing in Kenya. Proceedings of a seminar held in Nairobi on December 16, 17, and 18, 1968. Coffee Research foundation, Ruiru, Kenya. 231 p.
32. P. A. HUXLEY, M. G. R. CANNELL 1970. — Some physiological factors to be considered in intensification. *Kenya Coffee* (Nairobi), 35, p. 176-179.
33. IFCC 1974. Rapport d'activité 1973. Paris. 98 p.
34. IFCC 1975. Rapport d'activité 1974. Paris. 94 p.
35. IFCC 1976. Rapport d'activité 1975. Paris. 114 p.
36. INSTITUTO MEXICANO DEL CAFE. 1974. Tecnología cafetalera Mexicana. 25 años de investigación y experimentación. México. 194 p.
37. W. L. LOTT, A. C. McCLUNG, R. DE VITA, J. R. GALLO 1961. — Estudio de cafetales de San Pablo y Paraná mediante el análisis foliar. IBEC Research Institute, Boletín 26. 67 p.
38. A. LOUÉ 1954. — Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. In Bingerville, Côte d'Ivoire. Centre de Recherches Agronomiques. Contributions à l'étude du caféier en Côte d'Ivoire. Paris, Ministère de la France d'Outre-Mer. p. 241-254. (Bulletin Scientifique n° 5).
39. E. MALAVOLTA, N. MENARD, W. L. LOTT 1959. — Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. II. Absorção do superfosfato radioactivo pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. *Bourbon Amarelo*) em condições de campo. *Anais da Escola Superior de Agricultura «Luis de Queiroz»*, 16, p. 101-111.
40. E. MALAVOLTA, H. P. HAAG, F. A. F. MELLO, M. O. C. BRASIL SOBRIO 1962. — On the mineral nutrition of some tropical crops. *Institut International de la Potasse* (Berne), 155 p.
41. MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA CULTIVAR CAFÉ. 1976. 2^a Edición. Oficina del Café. San José, Costa Rica. 67 p.

42. D. A. S. MARCONDES, J. R. MACHADO, O. BRINHOLI, S. M. BENEZ. — Efeito do Acido 2-cloroetil-fosfónico (Ethrel) na maturação de frutas do cafeeiro na região de Botucatu, S.P. Resumos 2º Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, 10-14 de setembro de 1974. IBC-GERCA, Rio de Janeiro. p. 305.
43. J. C. MEDCALF, W. L. LOTT (1956). — Metal chelates in coffee. IBEC. Research Institute, Bulletin nº 11, 19 p.
44. H. W. MITCHELL 1976. — Research on close spacing systems for intensive coffee production in Kenya. Part. 1. *Kenya Coffee* (Nairobi), 41, p. 124-136.
45. L. W. MÜLLER 1966. — Coffee nutrition. In N. F. Childers, ed. Temperate and Tropical Fruit Nutrition. Somerset Press Inc., Somerville (N. 3), U.S.A., p. 685-776.
46. D. A. NEWTON 1952. — A preliminary study of the growth and flower habits of *Coffea arabica*. Unpublished report, IICA, Turrialba, Costa Rica. 17 p.
47. M. A. NUNES, J. F. BIERHUIZEN, C. PLOEGMAN 1968. — Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica* (Leiden), 17, p. 93-102.
48. M. A. NUNES, J. F. BIERHUIZEN, C. PLOEGMAN 1969. — Studies on productivity of coffee. III. Differences in photosynthesis between four varieties of coffee. *Acta Botanica Neerlandica* (Leiden), 18, p. 420-424.
49. F. J. NUTMAN 1947. — Studies on the physiology of *Coffea arabica*. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Annals of Botany* (n.s.) (Oxford), 11, p. 353-367.
50. F. W. OSTENDORF 1962. — The coffee shade problem. Review article. *Tropical Abstracts* (Amsterdam), 17, p. 577-581.
51. I. T. OYEBADE 1971. — Effect of preharvest sprays of Ethrel (2 chloroethane phosphonic acid) on Robusta Coffee (*Coffea canephora*) berries. *Turrialba* (Turrialba), 21, p. 442-444.
52. I. T. OYEBADE 1976. — Influence of preharvest sprays of ethrel on ripening and abscission of coffee berries. *Turrialba* (Turrialba), 26, p. 86-89.
53. J. PEREZ, G. GUTIÉRREZ 1976. — Respuesta de algunos cultivares y variedades de *C. arabica* a diferentes densidades de siembra. Anales II Congreso Agronómico Nacional, vol. I, resúmenes. San José, Costa Rica. p. 22-27.
54. R. PORTÈRES 1946. — Action de l'eau après une période sèche sur le déclenchement de la floraison chez *Coffea arabica* L. *Agronomie Tropicale* (Paris), 1, p. 148-158.
55. L. RAJU, T. R. SUBRAMANIAN 1969. — Studies on leaf analysis in the NPK nutrition of arabica coffee. *Turrialba* (Turrialba), 19, p. 49-56.
56. E. H. REYNA 1968. — La técnica del injerto hipocotiledonar del café para el control de nemátodos. *Café* (Lima), 7 (1), p. 5-11.
57. A. RIGITANO 1975. — Colheita mecânica, um método eficiente de aproveitamento. *A granja*, 324, 37-44.
58. S. T. RODRIGUEZ, J. J. MOLERO 1970. — Ethrel, a potential coffee ripener. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 54, p. 689-690.
59. J. R. SARRUGE, H. R. de AMORIM, E. MALAVOLTA 1966. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XVIII. Nota sobre a absorção foliar e radicular do fósforo por plantas jovens de *Coffea arabica* L. var *Mundo Novo*. *Anais da Escola Superior de Agricultura « Luis de Queiroz »* (Piracicaba), 23, p. 81-84.
60. J. SNOECK 1968. La rénovation de la caféiculture malgache à partir de clones sélectionnés. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 12, nº 3, juil.-sept., p. 223-235.
61. J. SNOECK 1973. — Adaptation d'une méthode de groupement de la maturation des fruits de caféier Robusta. Essai préliminaire avec l'éthéphon. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 17, avril-juin, p. 129-136.
62. J. SNOECK, P. BERNARD-COFFRE, M. PECHE-REAU 1976. — La récolte mécanique du café à l'aide d'un fouetteur. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 20, p. 297-300.
63. M. R. SONDHAL, A. A. TEXEIRA, L. C. FAZUOLI, L. C. MONACO 1974. Efeitos do etileno sobre o tipo e qualidade de bebida de café. *Turrialba* (Turrialba), 24, p. 17-19.
64. P. G. SYLVAIN 1958. — The photosynthesis of *Coffea* L.; a review of pertinent literature. IAIAS Coffee and Cacao Reviews. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Turrialba, Costa Rica, 14 p.
65. A. A. TEIXEIRA, J. B. MATIELLO, A. E. MIGUEL, J. B. S. SILVA, A. J. PAULINO, J. P. N. JORGE 1976. — Observações preliminares sobre o efeito do ethrel na qualidades do café. Tercero Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Resumos. Curitiba/Parana, 18/21 novembro 1975. IBC-GERCA. Rio de Janeiro. p. 213-216.
66. G. UPEGUI L., A. VALENCIA G. 1972. — Anticipación de la maduración de la cosecha de café con aplicaciones de ethrel. *Cenicafé* (Chinchiná), 23, p. 19-26.
67. A. VALENCIA G. 1964. — La deficiencia de boro en el café y su control. *Cenicafé* (Chinchiná), 15, p. 115-125.
68. A. VALENCIA G. 1973. — Relación entre el índice de área foliar y la productividad del café. *Cenicafé* (Chinchiná), 24, p. 79-89.
69. J. VICENTE-CHANDLER, F. ABRUÑA, R. BOSQUE-LUGO, S. SILVA 1969. — El cultivo intensivo del café en Puerto Rico. Boletín 218, Universidad de Puerto Rico. Estación Experimental Agrícola Recinto de Mayaguez, Rio Piedras, Puerto Rico. 98 p.
70. J. VICENTE-CHANDLER, S. SILVA, F. ABRUÑA 1969. — Plastic netting saves coffee time and money. *World farming* (Kansas City), 11 (11), p. 6-8.
71. J. VICENTE-CHANDLER, F. ABRUÑA, S. SILVA 1975. Aspectos económicos del cultivo intensivo de café recolectando con mallas durante cuatro años en una plantación comercial. Publicación 95, Universidad de Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola, Recinto de Mayaguez, Rio Piedras, Puerto Rico, 16 p.
72. H. A. M. VAN DER VOSSEN, J. OP DE LAAK 1976. — Large scale rooting of softwood cuttings of *Coffea arabica* in Kenya. I. Type of propagator, choice of rooting medium and type of cuttings. *Kenya Coffee* (Nairobi), 41, p. 385-389.

SYLVAIN (P. G.). — **Les innovations agro-techniques en caféiculture.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café. Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 427-438, réf.

On considère que les innovations dans la culture du caféier ne consistent pas tant dans l'application de pratiques nouvelles que dans les façons de les employer. Sans pouvoir mentionner tous les progrès réalisés dans ce domaine, on a retenu la multiplication végétative, le système intensif de plantation, la fertilisation scientifique et la récolte.

Le bouturage tant du Robusta que de l'Arabica est maintenant une pratique facile à réaliser sur une grande échelle. La culture de tissus offre les bases d'une méthode de multiplication rapide et rentable. Le greffage par la méthode d'axes hypocotylédonaires a pris récemment une certaine ampleur. On mentionne d'autre part le greffage sur bouture.

Le système intensif de plantation dépend de l'absence d'arbres d'abris ou de leur émondage sévère. L'auto-ombrage et l'ombrage mutuel pallient les aléas d'un excès de radiation. La forte densité de plantation en permettant d'élever l'indice de superficie foliaire résulte en de augmentations augmentation de rendement.

La fertilisation scientifique repose principalement sur les progrès réalisés dans l'emploi du diagnostic foliaire. Les seuils de carences de divers éléments nutritifs ont pu être établis dans plusieurs pays. L'emploi des radio-isotopes permet d'autre part de déterminer les meilleures méthodes d'application des engrais.

Pour diminuer les frais de récolte on a étudié l'emploi de l'éthéphon (acide 2-chloroéthyl-phosphonique), la récolte mécanique et l'emploi de filets à mailles en matière plastique. L'éthéphon, qui peut parfois aider au groupement de la maturation, diminue la qualité du café quand il est appliqué à une époque où il y a beaucoup de baies dont l'endosperme n'est pas totalement développé, ce phénomène se présente durant une grande partie de l'année dans certaines régions. D'autre part les résidus du produit ne sont tolérés qu'en proportion infime dans les graines, sur le marché américain. La récolte mécanique peut se faire à l'aide de petits appareils portatifs ou de grands appareils montés sur roues. Leur emploi peut diminuer la qualité du café et causer des dommages aux arbres. Leur rentabilité dépend du coût de la main-d'œuvre. L'usage de filets à mailles en matière plastique où on laisse tomber les fruits à maturité s'est montré rentable à Porto Rico. Les arbres ne sont pas taillés et atteignent une grande hauteur. Le contrôle des aléas est un problème quand l'emploi de produits systémiques est trop dangereux en raison des périodes de récoltes.

SYLVAIN (P.G.). — **Technical innovations in the culture of coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 427-438, réf.

It is considered that technical innovations in the culture of coffee do not consist so much in the introduction of new practises as in the way of applying them. Since not all the progress made in this connection can be described here, mention will be made only of propagation, intensive planting systems, scientific fertilisation and harvesting.

The propagation by cuttings both of Robusta and Arabica is a technique that can now be easily used on a large scale. Tissue culture provides the basis of a rapid and profitable method of propagation. The practice of grafting by the hypocotyledonary axes method has recently shown a tendency to increase. Mention is also made of bud grafting.

The intensive planting system depends on the absence of shading trees or on their severe pruning. Self shading and mutual shading mitigate the hazards of excessive radiation. By allowing the foliar area index to increase, high planting density results in great increases in yield.

Scientific fertilisation is based principally on the progress made in the utilisation of foliar diagnosis. The deficiency thresholds of the various nutrient elements have been determined in several countries. The utilisation of radio-isotopes, moreover, enables the best methods of applying fertilisers to be worked out.

To reduce harvesting costs, a study has been carried out on the utilisation of ethephon (2-chloroethyl-phosphonic acid), mechanised harvesting and the use of plastic nets. Ethephon which sometimes can assist in grouping maturation, diminishes the quality of coffee when applied at a time when there are many berries of which the endosperm is not yet completely developed ; this occurs during a large part of the year in some regions. On the other hand, residues of the product in the beans is permitted only in extremely small quantities on the American market. Mechanised harvesting can be carried out with small portable equipment or wheeled large equipment. Using such equipment, however, lowers the quality of the coffee and damages trees. Their profit-earning capacity depends on the cost of labour. The utilisation of plastic nets involving the ripe fruit dropping has proved to be profitable in Porto Rico. The trees are not pruned and attain a great height. The control of hazards is a problem when the utilisation of systemic products is too dangerous because of the harvesting periods.

AMÉLIORATION DE LA RÉSISTANCE À LA VERSE DU CAFÉIER À L'AIDE DE LA THÉORIE DE LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX



Ph. de REFFYE

Ph. de REFFYE, P. DUCEAU

Division de Génétique de l'IFCC, Bingerville, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Dans un précédent article, de Reffye (1976) (1) explicite un modèle mathématique basé sur la résistance des matériaux, permettant de définir avec précision le rôle de chaque paramètre de l'architecture du caféier dans la résistance à la verse.

Celle-ci dépend du « module de Young » et de la forme des sections transversales et longitudinales des

tiges : de Reffye a montré la constance du module de Young pour un clone donné, et sa grande variabilité intra et interspécifique.

Nous nous proposons ici de préciser les moyens d'action (génétiques et agronomiques) susceptibles de donner une amélioration de la résistance à la verse chez le caféier.

MÉTHODE

On compare les tiges orthotropes des caféiers à des barres en forme de tronc de cône encastées à une extrémité et libres à l'autre, sur lesquelles on applique une force concentrée parallèle à l'axe.

La théorie de la résistance des matériaux prévoit que

la barre commencera à fléchir par flambage à partir d'une force critique, qui vaut :

$$FC = \frac{K\pi^2 E \sqrt{I_0 I_h}}{4 h^2} \quad (I)$$

Dans cette formule,

- E est le module de Young,
- I_0 le moment d'inertie de la section encastree,
- I_h le moment d'inertie de la section libre,
- h la hauteur de la tige,
- k un coefficient dependant de I_0/I_h .

De cette formule on peut deduire deux types d'action contre la verse :

- l'amelioration par la selection du module de Young,
- l'amelioration de la forme des tiges par des traitements agronomiques (taille, engrais) afin d'augmenter la valeur du facteur Z .

$$Z = \frac{K \sqrt{I_0 \cdot I_h}}{h^2}$$

Estimation du module de Young

De Reffye (1976) a montre que les modules de Young du bois des tiges orthotropes et celui des rameaux plagiotropes ont la meme valeur pour un cafeier donne.

On prend des rameaux primaires aussi droits que possible, aoutes et vivants, de longueur indifferente. On encastre horizontalement le rameau a sa plus grande extremité et on applique un poids a l'extremité libre. Le deplacement ou « flèche » de celle-ci permet de calculer le module de Young.

L'equation de la courbe que suit le rameau est donnee par la theorie de la resistance des materiaux (voir fig. 1).

$$\text{On a } y'' = \frac{F(x-h)}{EI(x)} \quad \text{(II)}$$

- Y'' est la derivee seconde de la courbe,
- $I(x)$ le moment d'inertie de la section d'abscisse x ,
- F la force appliquee,
- h la longueur de la tige,
- E le module de Young.

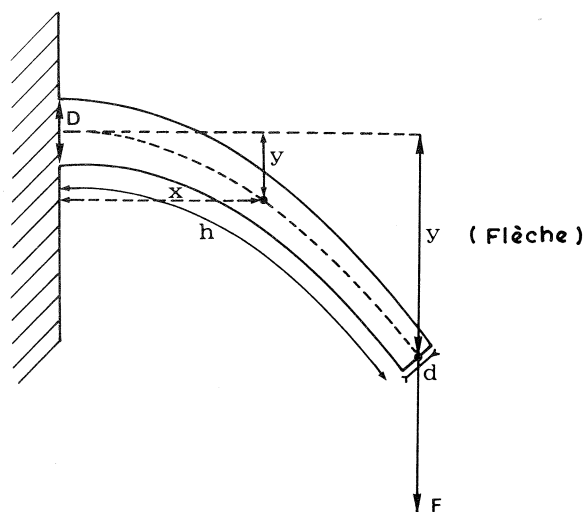
Si D est le diametre de la section encastree et d le diametre de l'extremité libre, (sections supposees circulaires),

$$\text{on a } I(x) = \frac{\pi D^4}{64} (1 - Bx)^4$$

$$\text{avec } B = \frac{D-d}{Dh}$$

La courbe deforme du rameau s'obtient par une double quadrature de l'equation (II).

$$y'' = \frac{F(x-h)}{\frac{E\pi D^4}{64} (1-Bx)^4} \quad \text{posons } C = \frac{64F}{E\pi D^4}$$



$$E = \frac{6,79 \times h^3 \times F}{y \times d \times D^3}$$

Fig. 1. — Calcul du module de Young d'une barre encastree (a profil conique ou cylindrique)

on a, en faisant apparaître $(1 - Bx)$ au numérateur :

$$y'' = \frac{C}{B} \left[\frac{1 - Bh}{(1 - Bx)^4} - \frac{1}{(1 - Bx)^3} \right]$$

une premiere quadrature donne :

$$y = \frac{C}{B^2} \left[\frac{1 - Bh}{3(1 - Bx)^3} - \frac{1}{2(1 - Bx)^2} \right] + a$$

$$\text{si } x = 0; y' = 0; \text{ donc } a = \frac{C}{B^2} \left[\frac{1}{2} - \frac{(1 - Bh)}{3} \right]$$

une deuxieme quadrature donne :

$$y = \frac{C}{B^3} \left[\frac{1 - Bh}{6(1 - Bx)^2} - \frac{1}{2(1 - Bx)} \right] + \frac{C}{B^2} \left[\frac{1}{2} - \frac{(1 - Bh)x}{3} \right] + b$$

$$\text{si } x = 0; y = 0; \text{ donc } b = \frac{C}{B^3} \left[\frac{2 + Bh}{6} \right]$$

en faisant $x = h$ on a alors la flèche. Ce qui donne après simplification :

$$y = -\frac{Ch^3}{3(1 - Bh)}$$

en remplaçant C par sa valeur et en remarquant que $d = D(1 - Bh)$, on a finalement le module de Young par la formule :

$$E = \frac{6,79 F \times h^3}{y \times d \times D^3} \quad (III)$$

la force est exprimée en kilogramme (elle a varié entre 0,02 kg et 0,15 kg suivant les rameaux), les longueurs sont en centimètres.

E s'exprime en kg par cm².

$$\text{Estimation du facteur } K \sqrt{\frac{I_0 I_h}{h^2}} = Z$$

On mesure en champ le diamètre des tiges orthotropes à 80 cm de la base (pour plus de commodité) et le diamètre au dernier nœud aoûté. La distance entre ces deux sections donne h.

k est donné par une table (de Reffye 1976).

AMÉLIORATION DE LA RÉSISTANCE À LA VERSE PAR LE MODULE DE YOUNG

Constance du module d'un clone dans un essai d'engrais

On a essayé de mettre à l'épreuve la constance du module de Young, d'une façon plus fine à travers un essai factoriel NP, déjà en place sur le clone Robusta n° 197.

Le module de Young a été mesuré dans chaque objet et chaque répétition en faisant la moyenne de trois ou quatre rameaux suivant la convergence des résultats.

Histogramme des valeurs observées

Les cent vingt-quatre mesures effectuées permettent d'établir l'histogramme de la figure 2 (p. 442) en prenant des classes de 2 500.

La distribution s'avère normale ; la dispersion observée est en majeure partie imputable au fait que les branches ne sont pas de parfaits troncs de cône et sortent plus ou moins du domaine d'application de la formule (III).

On observe une moyenne $E = 63\,900$
et un écart type $S = 8\,500$

Tableau I. — Effet nul des traitements agronomiques sur le module de Young

Variations	ddl	test F
Blocs	3	0,97
Traitements (engrais)	8	0,61
Erreur	24	écart type résiduel $s = 5.500$

Interprétation de l'essai

L'essai peut se résumer par le tableau I.

On voit clairement exprimé dans cet essai qu'on ne peut modifier le module de Young par des traitements agronomiques ; celui-ci s'avère d'une constance remarquable.

Variabilité génétique du module de Young dans une famille de *C. arabusta*

Des observations ont été faites sur six clones Arabusta appartenant à la même famille (n° 1300) et soumis à un essai « split-split-plot » avec un traitement engrais et un traitement écimage des tiges. Cet essai peut être résumé par le tableau II (p. 442).

Il résulte de cet essai que seule la variabilité génétique du module de Young est hautement significative. Ceci malgré le fait que les six clones sont tous frères puisque issus du même croisement.

La ppds vaut 3 040 (seuil 5 %), 4 020 (seuil 1 %).

Les six clones ont les moyennes données dans le tableau III.

Tableau III

n° clone	Module de Young
1.302	53.600
1.324	51.250
1.312	48.500
1.307	47.750
1.310	40.900
1.331	38.300

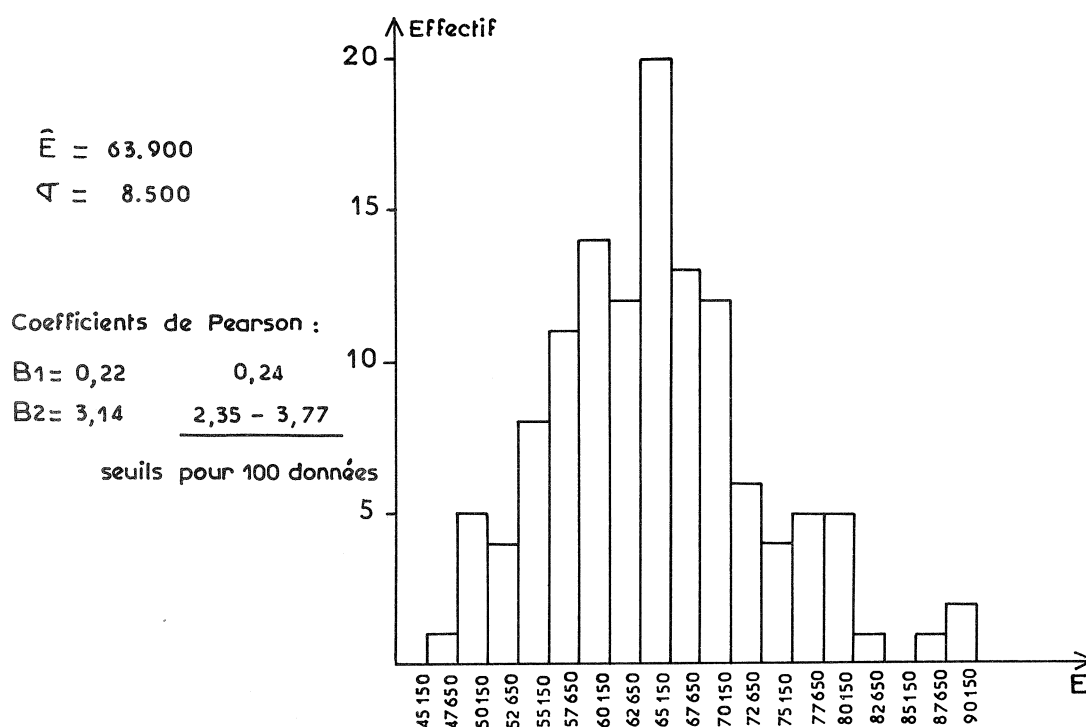


Fig. 2. — Histogramme du module de Young du Robusta n° 197

Tableau II. — Variabilité génétique du module de Young

Variation	ddl	Test F	F table 0,01
Blocs	5	1,7	11,0
Engrais	1	6,6	16,3
Erreur (a)	5		
Ecimage	1	1,7	10,0
Interaction :			
- écimage x engrais	1	0,5	"
Erreur (b)	10		
Effet clone	5	29,9**	3,2
Interactions :			
- écimage x clone	5	1,1	"
- engrais x clone	5	0,6	"
- écimage x engrais x clone	5	3,1	"
Erreur (c)	100		
Total	143		

La séparation s'effectue facilement entre ces clones (tableau IV).

Le module de Young est donc confirmé comme une variable très discriminante.

Héritabilité du module de Young dans le croisement *C. canephora* × *C. arabica*

Le croisement du *C. canephora* tétraploïde (T73) par *C. arabica* (Guinée Pita) a donné la famille *C. arabusta*

1300 dont vingt-cinq clones ont été observés pour le module.

Les valeurs des modules de Young sont données dans le tableau V.

Le tableau V nous permet de tirer de premières conclusions sur la transmission héréditaire du Module de Young dans le croisement hybride *C. canephora* tétraploïde × *C. arabica*.

La moyenne n'est pas différente de celle des parents et l'étendue de la variation est importante. La variabilité du caractère serait donc due probablement à des

Tableau IV. — Le Module de Young est une variable discriminante

	1302	1324	1312	1307	1310	1331
1302	0	0	**	**	**	**
1324		0	0	*	**	**
1312			0	0	**	**
1307				0	**	**
1310					0	0
1331						0

0 = non significatif ;
 * = significatif à P 0,05 ;
 ** = significatif à P 0,01

sommes de gènes mineurs (à action additive) en disjonction.

La stratégie à suivre dans le croisement *C. arabica* × *C. canephora* est donc de choisir des parents avec des modules de Young élevés et de sélectionner les plus forts modules de Young dans la descendance.

L'Arabica ayant le plus fort module connu (65 000) croisé avec le tétraploïde ayant le plus fort module connu (49 000) devrait donc donner une descendance avec une moyenne E = 57 000 et des individus avec des modules supérieurs à 65 000.

L'Arabusta ayant le module de Young connu le plus élevé jusqu'à présent est le X 233 (E = 63 400).

Cet arbre a une dureté comparable à celle des Robusta moyens. L'amélioration (due uniquement au module de Young) contre la verse est de 70 % par rapport à un *C. arabusta* moyen. Le gain est donc très appréciable.

Il se trouve que cet arbre possède également une très

Tableau V. — Module de Young de clones Arabusta

Arbre	Module de Young
Parent tétraploïde T 73	43.800
Parent Arabica Guinée Pita	44.600
Descendant Arabusta (famille 1300)	
1328	54.800
1302	53.600
1313	52.200
1334	51.900
1324	51.200
1316	50.600
1318	49.500
1320	49.300
1304	49.200
1312	48.500
1307	47.700
1338	47.000
1311	45.300
1306	43.700
1321	43.400
1303	42.300
1322	41.400
1310	40.900
1333	40.500
1315	40.100
1331	38.300
1323	38.200
1332	34.900
Moyenne de la famille 1300	45.600
Etendue de la variation	20.000

bonne fertilité (moins de 30 % de caracolis et moins de 10 % de loges vides), ce qui prouve qu'il n'y a pas antinomie entre ces deux caractères.

AMÉLIORATION DE LA RÉSISTANCE À LA VERSE PAR DES TRAITEMENTS AGRONOMIQUES

Si le module de Young d'un clone ne peut être modifié par des traitements agronomiques, il n'en va pas de même pour la forme des tiges orthotropes qui influent considérablement sur la force critique de flambage par l'intermédiaire du facteur

$$Z = \frac{K \sqrt{I_0 I(h)}}{h^2}$$

Notons que le facteur Z peut être aussi l'objet d'une amélioration génétique, par la sélection d'hybrides à entre-nœuds courts (ce qui diminue la valeur de h). On a ainsi réalisé des croisements Caturra × Robusta tétraploïde. Mais le Caturra est caractérisé à la fois par un entre-nœud court et un module très faible (20 000). Ces deux caractères se transmettant dans la descen-

dance, il n'en a pas résulté d'amélioration. D'autres croisements viennent d'être réalisés avec des Arabica à entre-nœuds courts et module de Young plus élevé (ex : San Bernado, E = 40 000). On en attend une amélioration substantielle.

Action de l'engrais sur la force critique des tiges

Dans le même essai qui a servi à mettre à l'épreuve la constance du module de Young d'un clone *C. canephora* dans un traitement avec et sans engrais (n° 197) on a mesuré la valeur du facteur Z par des mensurations sur les tiges.

$$\left(\text{On a } \frac{\pi^2}{4} E \times Z = \text{force critique.} \right)$$

L'analyse de l'essai peut se résumer par le tableau VI :

Tableau VI

Traitement	Force critique, kg
Sans engrais	11,6
Avec engrais	19
ppds	2,8

La différence est très significative.

Ceci montre que l'on a un gain de force critique de 64 % par le traitement avec engrais. Cela est dû au fait que les tiges ont gagné en vigueur grâce à l'apport de l'engrais.

Pendant ces tiges produisant également une récolte presque double, on n'a pas amélioré la résistance à la verse, car les poids que supportent les tiges ont augmenté proportionnellement aux forces critiques.

Action de l'écimage sur les forces critiques des tiges

Le même clone *C. canephora* 197 a été soumis à un écimage à 1,80 m du sol, sur une tige, deux tiges, trois tiges, quatre tiges par pied. Les forces critiques sont données dans le tableau VII.

Le tableau VII montre clairement l'augmentation de

Tableau VII

Traitement (écimage) et nombre de tiges par pied	Force critique (kg)
1	108
2	65
3	66
4	61
Témoin sur 4 tiges sans écimage	11

la force critique qui résulte de l'écimage. Celle-ci est multipliée par dix pour un caféier conduit en unicaulie et par six pour la multicaulie.

Cela est dû évidemment au fait que l'écimage n'arrête pas la croissance en largeur des tiges, qui peuvent ainsi se fortifier.

Mais il résulte en échange un effet dépressif sur le rendement dû à la suppression temporaire de la formation de plagiotropes.

Une autre solution agronomique possible pour empêcher la verse, qui n'a pas encore été expérimentée, serait de lier les tiges (non serrées) sur des arbres jeunes (âgés d'environ deux ans) près du sommet (environ 1,80 m du sol). A cet âge les tiges sont encore dressées et souples. La verse s'effectuant de façon centrifuge, la résultante de l'action des quatre tiges devrait être nulle, et celles-ci maintenues à 1,80 m devraient résister beaucoup mieux. L'arbre n'étant pas mutilé, il n'y a pas lieu de craindre une action dépressive sur le rendement. En outre ce mode d'action préventif est plus simple à réaliser que le tuteurage.

CONCLUSION

L'amélioration de la résistance à la verse peut être obtenue par deux moyens très différents et complémentaires, qui sont la sélection sur le module de Young et les traitements agronomiques (taille et engrais).

L'étude d'un croisement *C. canephora* tétraploïde × *C. arabica* a permis de montrer le caractère additif du module de Young en moyenne, et le caractère étendu de la variabilité génétique.

Ceci offre des possibilités intéressantes d'amélioration donnant des modules de l'ordre de 65 000.

La troisième vague d'Arabusta est suffisamment importante pour supporter ce tri supplémentaire (pour l'instant le plus fort module connu chez *C. arabusta* est de 63 400). L'amélioration résultant de ce tri serait de 70 % par rapport au module de Young moyen de la première vague.

Un autre caractère de résistance à la verse, qui peut être sélectionné, est le caractère « entre-nœud court ».

Celui-ci se trouve chez plusieurs variétés d'Arabica. Mais il faut prendre garde que ce caractère soit couplé avec un bon module de Young, car les deux caractères se transmettent ensemble, des croisements ont été réalisés dans ce sens.

Les traitements agronomiques modifient aussi la force critique des tiges d'une façon spectaculaire, mais tous ne sont pas sans inconvénient. L'écimage a certainement un effet dépressif sur le rendement (au moins temporaire). Si l'unicaulie s'avère la meilleure pour la tenue en champ des tiges, elle est certainement moins bonne que la multicaulie pour le rendement.

Enfin l'apport d'engrais, s'il rend les tiges plus robustes, n'augmente pas pour autant la résistance à la verse, car les arbres sont plus développés et plus chargés de fruits en proportion.

Les essais en cours montreront quelle est la meilleure formule à retenir.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ph. de REFFYE. — Modélisation et simulation de la verse du caféier à l'aide de la théorie de la résistance des matériaux. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XX, n° 4, oct.-déc. 1976, p. 251-272.

2. BRUHAT. — Mécanique. Masson (Paris), 1967.

3. COURBON. — Résistance des Matériaux, Dunod (Paris), 1971.

REFFYE (Ph. de), DUCEAU (P.). — **La sélection contre la verse du caféier à l'aide de la théorie de la résistance des matériaux.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris) 1979, p. 439-445, fig., tabl., réf.

REFFYE (Ph. de), DUCEAU (P.). — **The selection against the coffee lodging with the aid of the strength of materials theory.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 439-445, fig., tabl., réf.

L'hybride tétraploïde, entre *C. canephora* et *C. arabica*, appelé *C. arabusta*, présente fréquemment le phénomène de la verse. Puisque la stabilité d'une plante relève de la théorie de la résistance des matériaux, on peut appliquer cette théorie pour choisir des critères de sélection efficaces.

The tetraploid hybrid between *C. canephora* and *C. arabica* called *C. arabusta* frequently gives rise to lodging. Since the stability of the plant depends on the strength of materials theory, it is possible to apply this theory to choose the most efficient selection characters.

La théorie du flambage des tiges montre que la force critique est proportionnelle au module de Young du matériau qui constitue la tige, et proportionnelle au carré du rapport de sa section sur sa longueur. Une étude systématique sur bois vert du module de Young a été réalisée sur les différentes espèces *C. arabica*, *C. canephora* var. *robusta*, *C. arabusta*.

The twisting theory of the stems reveals that the critical force is proportional of the Young's Modulus of the material of which the stem is made and proportional to the square of its section/length ratio.

Le module de Young se révèle être une constante génétique caractéristique d'un clone de caféier. L'importante variabilité inter et intraspécifique de ce module permet d'envisager une sélection efficace contre la verse. En effet, les modules de Young varient de 20 000 kg/cm² pour les plus faibles à plus de 80 000 kg/cm² pour les plus forts.

A systematic investigation on the Young's Modulus of the green wood has been carried out on the different species *C. arabica*, *C. canephora* var. *robusta* and *C. arabusta*.

The Young's Modulus was revealed to be a genetic constant characteristic of a coffee clone. The considerable inter and intraspecific variability of this modulus enables to expect an effective selection against lodging.

Un modèle mathématique de croissance du caféier a été mis au point. Celui-ci intègre toutes les données morphologiques et dynamiques de la croissance d'un clone donné. Une simulation sur ordinateur permet d'analyser avec précision l'influence de chaque paramètre sur la verse, et de prévoir les gains qui peuvent être obtenus par la sélection.

In fact, the Young's Moduli fluctuate between 20 000 kg/cm² for the weakest and 80 000 kg/cm² for the strongest.

A mathematical model of the coffee growth has been carried out. It integrates all the morphological and dynamical data concerning the growth of a given clone. A simulation on computer enables an accurate analysis of the influence of each parameter on the lodging and the forecasting of the gains which may be obtained through selection.

CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS DE *COFFEA ARABICA* L. MEDIANTE UN ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Lic. Ma. T. CORNIDE, Lic. M. ALVAREZ e Ing. S. MONTES

Instituto de Ciencia Agrícola
San José de las Lajas, La Habana, Cuba

INTRODUCCIÓN

El reconocimiento y la cuantificación de la diversidad genética disponible es de importancia crucial para la elección del material de base para un programa de mejoramiento.

La utilidad del análisis multivariado para medir el grado de divergencia entre diferentes poblaciones o variedades y para conocer la contribución relativa a la divergencia total de los diferentes caracteres ha quedado demostrada por numerosos autores (Seal, 1964 ; Ottaviano y col. 1974 y Verna y col., 1974).

El análisis de las componentes principales es uno de estos métodos. Este ha sido empleado con propósitos similares al estudio de colecciones de variedades (de Reffye, 1974 ; Alvarez, 1977 y Hussaini y col., 1977).

El presente trabajo tuvo como objetivos estudiar la variabilidad en un grupo de variedades y líneas de café arábigo y clasificarlas de acuerdo a sus caracteres comunes.



Ma. T. CORNIDE

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se estudiaron ciento y siete líneas de *Coffea arabica* L., provenientes de dos ensayos de campo sembrados a una distancia de plantación de 3×2 m.

En el primer ensayo se contó con setenta y nueve líneas seleccionadas de diferentes poblaciones de las variedades Caturra Amarillo y Caturra Rojo, estando representadas cada una de ellas por un total de veinte individuos.

El segundo ensayo comprendió el estudio de veinte y ocho líneas seleccionadas por presentar características deseables, en diferentes plantaciones de café del país. Cada línea contaba con quince individuos.

En ambos casos, las líneas difirieron significativamente entre sí para las principales componentes del rendimiento (Cornide & Montes, 1977). Por ello, resultaba de interés complementar el estudio de estas líneas mediante su clasificación para determinar su uso futuro en programas de mejoramiento.

Caracteres analizados

Se escogieron cuatro caracteres de la planta en el campo para los años 1974, 1975 y 1976 :

- x_1 rendimiento en cereza (kg/planta),
- x_2 rendimiento en pergamino (kg/planta),
- x_3 altura de la planta (cm),
- x_4 número de pases en la cosecha.

Para el año 1973 se analizaron los caracteres anteriores con excepción de la altura.

Metodología estadística

Para cada uno de los años estudiados se efectuó un análisis de componentes principales (Kendall, 1957) sobre la base de ciento y siete individuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Año 1973

Según la matriz de varianzas y covarianzas, el 81,03 % de la varianza total es aportada por la variable x_4 , en tanto que las variables relativas al rendimiento no aseguran más que el 18,96 %.

Existe una correlación muy elevada entre las variables x_1 y x_2 , tal como era de esperar (tabla I). La variable x_4 presenta una correlación similar con las dos variables anteriores.

Tabla I. — Matriz de correlación (1973)

	x_1	x_2	x_4
x_1	1,0000		
x_2	0,9127	1,0000	
x_4	0,6143	0,6357	1,0000

En la tabla II podemos apreciar que las dos primeras componentes responden por el 97 % de la varianza total, por lo cual se seleccionan para agrupar los datos.

Tabla II. — Valores y vectores propios (1973)

λ_i	2,4511	0,4620
%	82	15
% Acumulado		97
Vectores propios	0,60 0,60 0,52	-0,39 -0,34 0,85

La primera componente caracteriza por igual las tres variables estudiadas. La segunda componente define el número de pases (x_4). En la figura 1 podemos apreciar que los individuos se agrupan de acuerdo con sus rendimientos (eje horizontal) y con el número de pases (eje vertical). La mayor parte de las líneas de Caturra

quedaron comprendidas en los grupos 4 y 5 con un número de pases medio (cuatro y cinco pases) y rendimientos aceptables durante este primer año de cosecha. Las variedades de porte alto aparecen distribuidas en los restantes grupos.

Año 1974

El 99,36 % de la varianza total se debe a la variable altura (x_3); mientras que las restantes que caracterizan la cosecha no contienen más que un 0,64 % de ésta.

La matriz de correlación correspondiente (tabla III) permite apreciar una estrecha correlación entre las variables x_1 y x_2 y entre las variables x_3 y x_4 .

Tabla III. — Matriz de correlación (1974)

	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	1,0000			
x_2	0,6116	1,0000		
x_3	0,3054	0,3730	1,0000	
x_4	0,3430	0,1587	0,5879	1,0000

En la tabla IV podemos observar que las tres primeras componentes contienen la mayor parte de la variabilidad. Si se proyecta la nube de puntos sobre estas componentes obtenemos la figura 2.

Tabla IV. — Valores y vectores propios (1974)

λ_i	2,1928	1,0207	0,5155
%	55	26	13
% Acumulado		81	94
Vectores propios	0,51 0,49 0,51 0,47	-0,42 -0,55 0,42 0,58	-0,55 0,39 0,58 -0,44

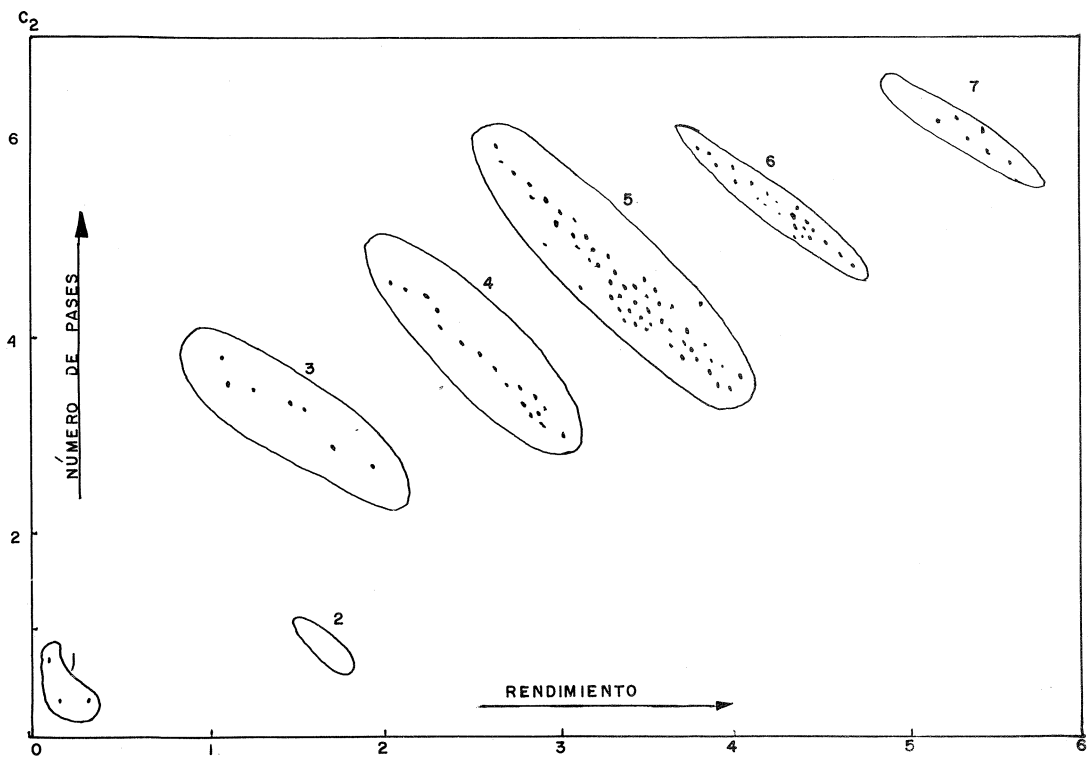


Fig. 1. — Evaluación de los individuos, 1973

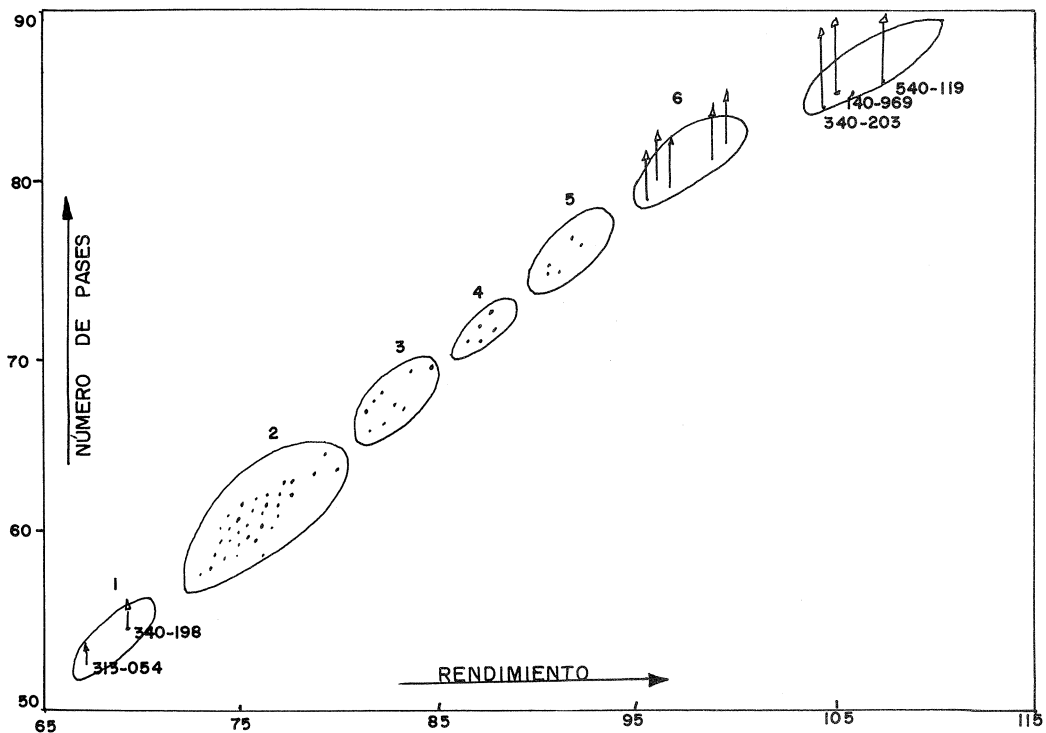


Fig. 2. — Evaluación de los individuos, 1974

La primera componente responde a todas las variables por igual ; la segunda, corresponde al número de pases el cual está en oposición con ambos rendimientos ; por último, la tercera componente discrimina los grupos por la altura.

Las líneas Caturra aparecen en su mayoría en el segundo grupo. Este se caracteriza por presentar una relación rendimiento/número de pases = 0,95 kg/pase. Hacia la derecha de este grupo se presentan otros con rendimientos superiores pero acompañados de un número de pases y de una altura mucho mayor. En estos, la relación rendimiento/número de pases es $\leq 0,75$ kg/pase.

Años 1975 y 1976

La estabilidad de la cosecha de estas líneas fue estudiada anteriormente (Cornide & Montes 1977).

Estos resultados arrojaron una diferencia significativa entre las cuatro primeras cosechas, destacándose los años 1973 y 1975 por una baja producción y los años 1974 y 1976 por alta producción. El rendimiento aumentó significativamente en todos los años.

Las matrices de varianzas y covarianzas de estos dos años arrojaron que el 99 % de la variabilidad era aportada por la variable x_3 .

Las matrices de correlación de estos años (tabla V) indican : una elevada correlación entre x_1 y x_2 ; valores altos entre x_4 y las dos variables anteriores y valores negativos para las correlaciones de la variable altura (x_3).

Esta última actúa de forma independiente. En ambos casos las tres primeras componentes responden por la mayor parte de la variabilidad (tabla VI). En las figuras 3 y 4 se representan los individuos en estos años.

Las dos primeras componentes correspondiente al

Tabla V. — Matrices de correlación (1975 y 1976)

	x_1		x_2		x_3		x_4	
	1975	1976	1975	1976	1975	1976	1975	1976
x_1	1,0000							
x_2	0,9381	0,8220	1,0000					
x_3	-0,2062	-0,2278	-0,1284	-0,1234	1,0000			
x_4	0,7062	0,5058	0,6761	0,4569	-0,1417	-0,1556	1,0000	

Tabla VI. — Valores y vectores propios (1975 y 1976)

	1975		1976		1975		1976	
λ_i	2,6008	2,2740	0,9556	0,9395	0,3858	0,6168		
%	65	57	24	23	10	15		
% Acumulado			89	80	99	95		
Vectores propios	0,59	0,61	0,05	0,09	-0,33	-0,29		
	0,58	0,58	0,13	0,21	-0,41	-0,38		
	-0,16	-0,22	0,98	0,96	-0,005	0,05		
	0,52	0,48	0,09	0,06	0,84	0,87		

Tabla VII. — Caracterización de las líneas (1975-1976)

	1975			1976		
	Grupo 1	Grupo 1'	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 1'	Grupo 2
Rendimiento Cereza (kg/planta)	1	1	1	≥ 4	≥ 4	3
Altura (cm)	162	165	198	185	180	222
No de Pases	3	2	2	4	4	5
	Bajos rendimientos Poca altura Pocos pases		Bajos rendimientos Altura mayor Pocos pases		Altos rendimientos Poca altura Más pases	
					Rendimientos medios Aumento en altura Más pases	

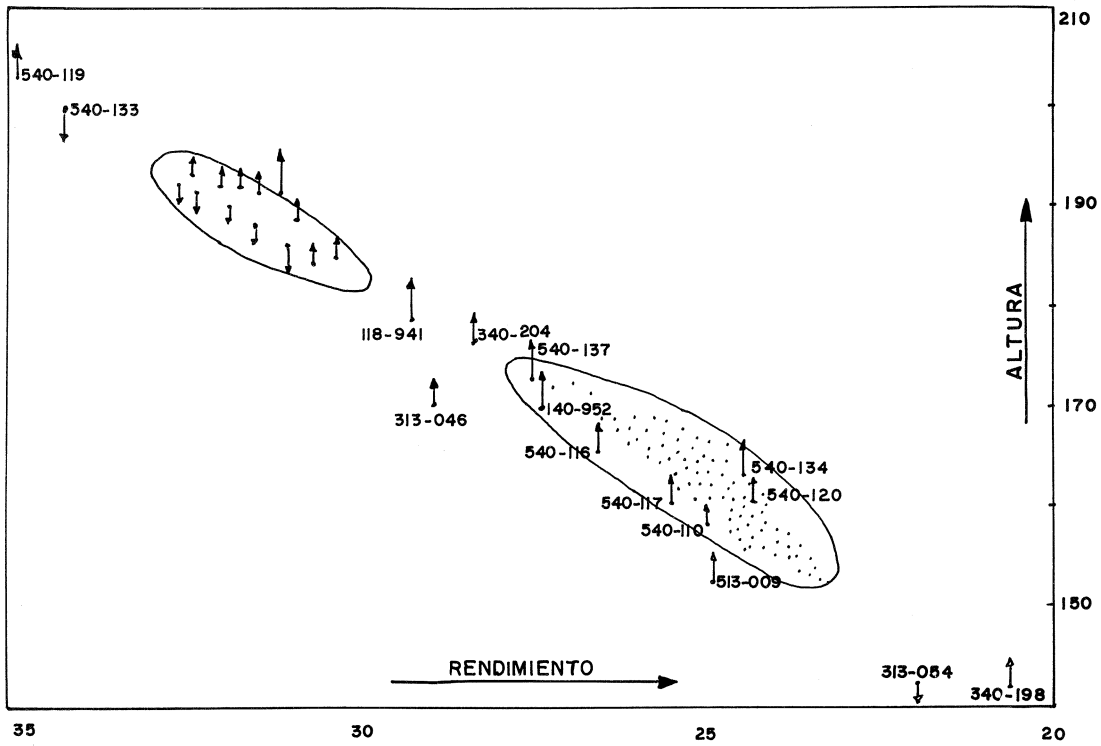


Fig. 3. — Evaluación de los individuos, 1975

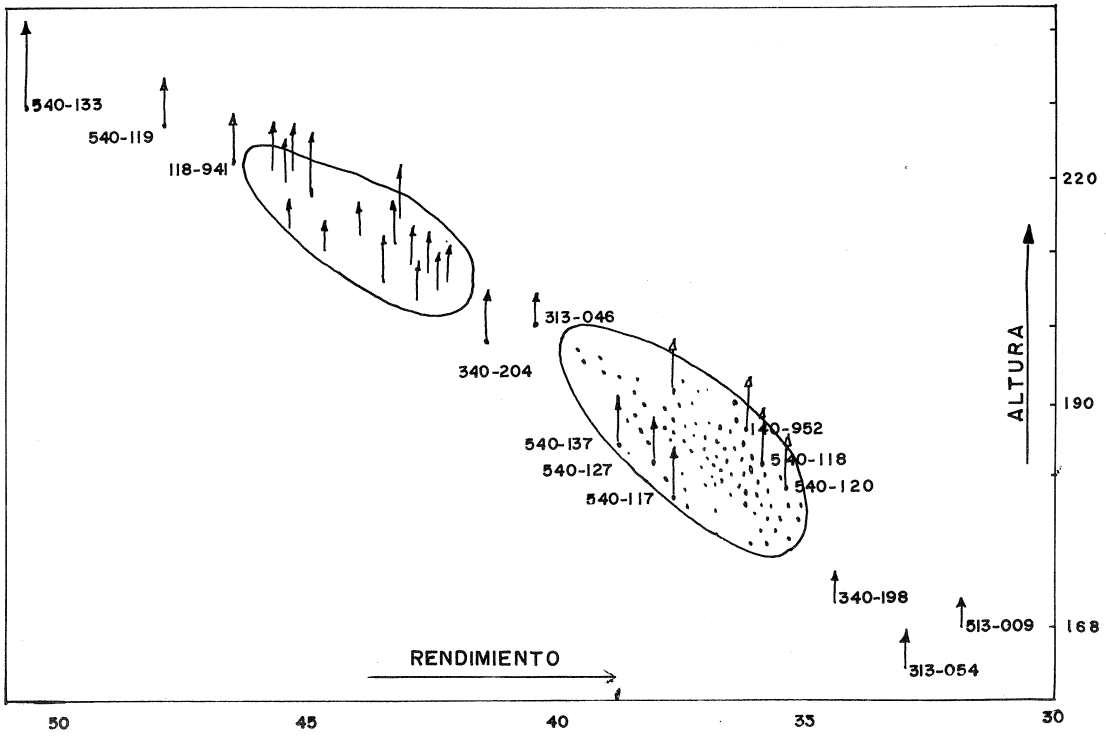


Fig. 4. — Evaluación de los individuos, 1976

rendimiento y a la altura fueron las más efectivas para la discriminación de las líneas. La tercera componente explica el número de pases.

Si comparamos la distribución de las líneas en las figuras 3 y 4 se distinguen dos grupos principales: el primero formado por la mayoría de las líneas Caturra (grupo 1) y por ocho líneas de las restantes (grupo 1') y

el segundo el cual agrupa diez líneas (grupo 2). Las características de estos grupos aparecen en la tabla VII (p. 450).

La distribución de los datos según la primera y la tercera componente fué similar a los anteriores. Por otra parte, no se encontraron diferencias en la distribución de las líneas Caturra Rojo y Amarillo.

CONCLUSIONES

El análisis de las componentes principales permitió clasificar las líneas en dos grupos.

De las veinte y ocho líneas provenientes de diferentes plantaciones en el país, ocho fueron clasificadas dentro del grupo de las Caturra.

Se encontraron tres componentes principales, de las cuales las que definen el rendimiento y la altura resultaron ser de mayor utilidad para discriminar los individuos.

Las variables estudiadas:

— presentaron correlaciones fenotípicas altas y positivas entre el rendimiento en cereza y el rendimiento en pergamino y entre el número de pases y las variables anteriores;

— la altura resultó ser independiente.

El tipo más prometedor es el del Caturra por presentar rendimientos aceptables, porte bajo y un número de pases medio.

Es aconsejable continuar este estudio incluyendo un mayor número de variables.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. ALVAREZ. — Una aplicación al análisis de componentes principales efectuado a un grupo de variedades de arroz (*Oriza sativa* L.) atendiendo a variables de rendimiento agrícola e industrial. Presentado en el II Simposium de Inv. Agrop. de Las Villas, agosto 24-26, 1977.
2. Ma. T. CORNIDE, S. MONTES. — Genotype-Environment interaction analysis: variance components and harvest stability in selected coffee lines in Cuba (unpublished), 1977.
3. S. H. HUSSAINI, M. M. GOODMAN, D. H. TIMOTHY. — Multivariate analysis and the geographical distribution of the world collection of finger millet. *Crop Sci.* (Madison), 1977, vol. 17, p. 257-263.
4. M. G. KENDALL. — A course in Multivariate Analysis. Griffin, Londres, 1957.

5. E. OTTAVIANO, T. SCHIVA, M. SARI-GORLA. — Analisi multivariata per lo studio delle differenze genetiche in popolazioni di *Gerbera jamesonii*. *Genet. agr.* (Pavie), 1974, 28, fasc. 3-4, p. 292-306.
6. Ph. de REFFYE. — La recherche de l'optimum en amélioration des plantes et son application à une descendance F_1 de caféiers hybrides « Arabusta ». *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVIII, n° 3, juil.-sept. 1974, p. 167-177.
7. H. SEAL. — Multivariate statistical Analysis for Biologists. Methuen, Londres, 1964, 208 p.
8. M. M. VERMA, B. R. MURTY, O. P. JAIN, U. M. B. RAO. — Factor analysis of diversity in soybean. *Genet. agr.* (Pavie), 1974, vol. XXVIII, fasc. 2.

CORNIDE (Ma. T.), ALVAREZ (M.), MONTES (S.). — **Classification de lignées de *Coffea arabica* L. au moyen de l'analyse des composantes principales.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 447-453, fig., tabl., réf.

CORNIDE (Ma. T.), ALVAREZ (M.), MONTES (S.). — **Classification of *Coffea arabica* L. lines by the method of principal component analysis.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 447-453, fig., tabl., réf.

Nous avons étudié cent sept lignées de *Coffea arabica* L. pour leur classement. Nous avons employé la méthode de l'analyse des composantes principales pour les variables:

In the present work one hundred and seven coffee lines (*Coffea arabica* L.) were studied in order to be classified. The method of the principal component analysis was employed in

rendement de café en cerise et de café en parche, hauteur et nombre de passages successifs au cours de la cueillette.

Les résultats des analyses correspondant aux quatre premières récoltes mettent en évidence l'existence de deux groupes dans le matériel étudié, les lignées « Caturra » étant les plus prometteuses.

Les composantes qui sont à la base du rendement et de la hauteur se sont avérées fondamentales.

CORNIDE (Ma. T.), ALVAREZ (M.), MONTES (S.). — **Clasificación de líneas de *Coffea arabica* L. mediante un análisis de componentes principales.** VIII^o Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 447-453, fig., tabl., réf.

Se estudiaron ciento y siete líneas de *C. arabica* L. para su clasificación. Se empleó el método del análisis de las compo-

order to study the variables included which were the cherry and parchment coffee yield per plant, the plant height and the number of recollections during the harvest. Two groups were distinguished, based on the results obtained during the first four harvests. The most promising type was that of the Caturra lines.

The components that respond for the yield and the plant height were the most useful.

nentes principales para las variables rendimiento en cereza y pergamino, la altura y el número de pases en la cosecha. Los resultados de los análisis correspondientes a las cuatro primeras cosechas arrojaron la existencia de dos grupos en el material estudiado siendo el tipo más prometedor el correspondiente a las líneas « Caturra ».

Las componentes que explican el rendimiento y la altura resultaron ser las fundamentales.

PRUEBA COMPARATIVA DE DOS SUSTRATOS PARA EL ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE *COFFEA ARABICA* L. VARIEDAD *CATURRA* COLECTADOS A LA SOMBRA Y AL SOL

S. MONTES

Instituto de Ciencia Agrícola
San José de las Lajas, La Habana, Cuba

INTRODUCCIÓN

La propagación vegetativa es el método utilizado para multiplicar especies o variedades de plantas por medio de órganos caulinares o propalos (Ferne, L. M. 1958 ; Acosta Solís, M. 1959 ; Puentes y col. 1977).

Desde el punto de vista genético se conoce que en la propagación vegetativa se conservan los caracteres morfológicos intrínsecos de la especie o variedad a través de las generaciones (Ferne, L. M. 1958 ; Acosta Solís, M. 1959 ; Surya Kantra Raju 1972 ; Puentes y col. 1977).

El perfeccionamiento del método de reproducción vegetativa mediante esquejes en café reviste una gran importancia por ser el método de reproducción de este tipo más rápido para este cultivo (Mendes 1950). Tiene aplicación en la reproducción de material experimental de interés en los programas de mejoramiento, pudiendo hacerse uso más racional del material estudiado, este método es empleado en diversos países como vía para la reproducción de estacas y esquejes de café a escala comercial ; además, otro aspecto no menos importante es su posible empleo en trabajos de Sanidad Vegetal ya que facilita el estudio de patógenos en general (Mendes, 1950 ; Cornide, M. T. 1969 ; André M. 1973 ; Boudrand, J. 1974).

Son diversos los factores que conducen al éxito o no de esta forma de propagación. Entre los que influyen

en la mortalidad del esqueje se citan : el regadío, manejo de esta práctica ; deficiencias del sustrato y parásitos. Los factores que influyen en el porcentaje de esquejes logrados pueden ser : condiciones climáticas (luz, temperatura y humedad), sustrato de enraizamiento, factores genéticos, estado fisiológico de los vástagos (Boudrand 1974).

Las yemas existentes en el café son dimórficas, obteniéndose plantas normales cuando la propagación es por medio de ramas ortotrópicas y solo ramas laterales cuando se propaga por medio de ramas plagiotrópicas (Mendes J. E. T. 1938 ; Carvalho A., Krug C. A. y Mendes J. E. T. 1950 ; Surya Kantra Raju 1971 y 1972) de modo que para esta forma de propagación deberán escogerse ejes ortotrópicas.

El incremento constante en cuanto a la introducción de material vegetal en este cultivo en nuestro país, así como los trabajos de mejoramiento genético que se conducen, nos llevan al estudio de las posibles vías de propagación del cafeto bajo nuestras condiciones. Estos aspectos motivaron que se efectuara en nuestro Instituto un estudio sobre el método de reproducción vegetativa mediante esquejes en dos tipos de sustrato de enraizamiento y con esquejes procedentes de plantas a plena exposición solar y a la sombra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento fue ejecutado durante los años 1975 y 1976 en el Instituto de Ciencia Agrícola (INCA) en San José de las Lajas, La Habana.

Los datos climáticos de ambos años son ofrecidos en el gráfico 1 (p. 456).

Se estudiaron los porcentos de esquejes que logra-

ron enraizar, así como los períodos de enraizamiento en intervalos de treinta, hasta los doscientos y diez días.

Este estudio se efectuó en *Coffea arabica* L. variedad *catarra*, donde se emplearon los tratamientos: esquejes provenientes de plantas a plena exposición solar y a la sombra, tipo de sustrato de enraizamiento (arena de río y cáscara de arroz).

Para el análisis estadístico fué utilizado un modelo de clasificación simple, evaluándose los factores por un método factorial $2 \times 2 \times 2$ (tipo de esqueje \times año \times tipo de sustrato), transformándose los datos según $\arcsen \sqrt{\%}$. Los cafetos seleccionados para el estudio fueron plantados en el año 1968, velándose por su óptimo estado fitosanitario y por las restantes prácticas culturales según las orientaciones establecidas por las normas técnicas para este cultivo (INRA 1970).

Para la obtención de esquejes o chupones se realizó el agobio de las plantas en los meses de diciembre-enero y enero-febrero en los años 1975 y 1976 respectivamente. Cuando los vástagos emitidos contaron con tres-cuatro pares de hojas fueron cortados, procediéndose a la preparación de los mismos según el método de esquejes doblemente hendido (Capot, J. 1966).

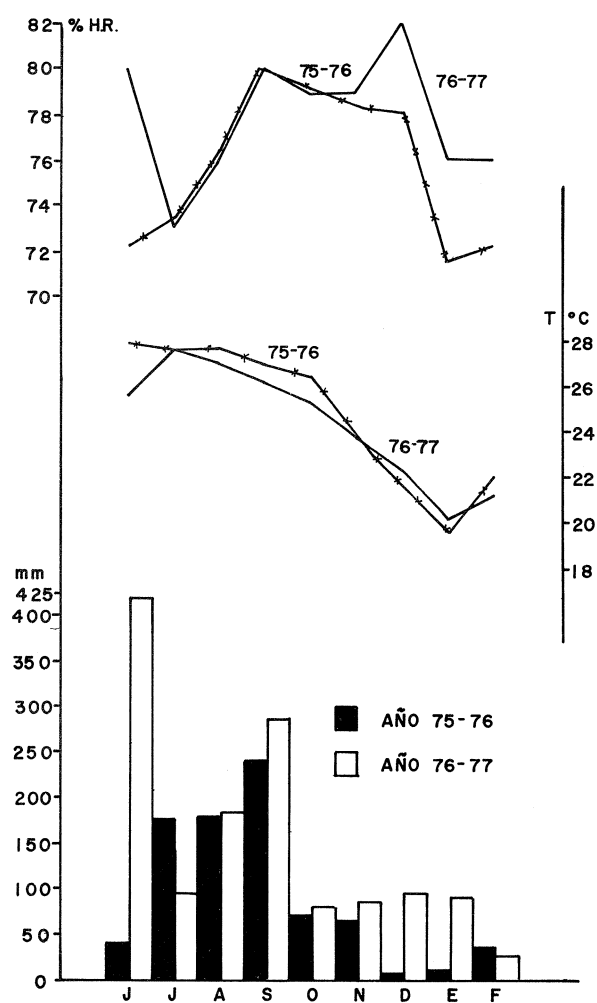
Se realizó la selección del material previa a la siembra con el objetivo de emplear aquellos esquejes de consistencia intermedia (de madera ni muy leñosa, ni excesivamente tierna).

Los propagadores empleados fueron de cemento de 1×1 m de ancho (diez propagadores en total) los que contaron con tapas forradas con polietileno blanco transparente además con orificios y una capa de gravilla en su interior para facilitar el drenaje. Tres capas de tela cheese-cloth fueron colocadas en el vivero para atenuar la incidencia directa de la luz solar sobre los esquejes.

La siembra en propagadores se efectuó en los meses de junio y agosto en los años 1975 y 1976 respectivamente utilizándose un marco de 4×4 cm entre esquejes, evaluándose 2.560 esquejes en total.

Las atenciones culturales contemplaron el riego diario a los propagadores por medio de una asperjadora manual, de forma que se mantuviera una adecuada humedad en el interior de ellos; se levantaron diariamente las tapas durante las horas de la mañana con el fin de facilitar la aeración dentro de los mismos.

El trasplante a bolsa se efectuó cada vez que los



Gráf. 1. — Promedio de lluvias, temperaturas, humedad relativa

esquejes contaron con un desarrollo radicular de 5-6 cm de longitud, enmarcándose los trasplantes en períodos de treinta días a partir de la fecha de plantados, hasta los doscientos y diez días en que fué realizado el último trasplante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se presentan los porcentos de esquejes que enraizaron durante los períodos de junio-enero y agosto-febrero de 1975 y 1976 respectivamente.

En el análisis del porcentaje de enraizamiento para ambos años, tipo de esqueje y tipo de sustrato, se observó que los esquejes sembrados en el sustrato cáscara de arroz tuvieron un mayor porcentaje de

enraizamiento con un 76,92 %, superando significativamente con $P < 0,05$ a los sembrados en arena de río con un 68,35 % de enraizamiento. No existiendo diferencias significativas en los otros factores estudiados.

Este comportamiento similar de los esquejes procedentes de plantas al sol y a la sombra en nuestro experimento, difiere de lo encontrado por Surya Kan-

Tabla I. — Media de esquejes enraizados. Periodo de cero - ciento y veinte días

Tratamientos	Datos transformados	Datos sin transformar
<u>Años</u>		
1975	58,57	71,53
1976	58,79	73,75
E.S.	1,99	
<u>Sustrato</u>		
Cáscara de arroz	62,17 a	76,92
Arena de río	56,19 b	68,35
E.S.	1,99 *	
<u>Tipo de esqueje</u>		
Sol	58,47	71,62
Sombra	59,89	73,65
E.S.	1,99	
P < 0,05		

ab:Medias de tratamientos con letras iguales, no difieren entre sí significativamente según Dócima de Ducan al 0,05.

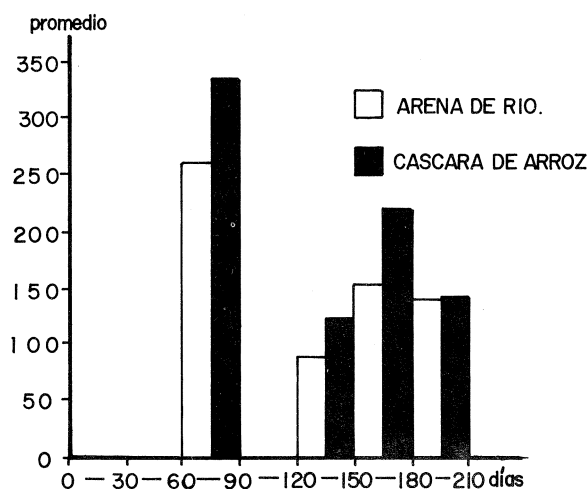
tra Raju K. 1972, ya que en su trabajo obtuvo una mejor respuesta al enraizamiento en esquejes de plantas sembrados a plena exposición solar.

En el gráfico 2 se presentan los totales de esquejes enraizados desde cero a doscientos y diez días por periodos de treinta días para ambos tipos de sustrato.

Al analizar los esquejes enraizados, se observó diferencias altamente significativas entre periodos con $P < 0,01$.

El enraizamiento comenzó a partir de los sesenta días de plantados los esquejes en propagador, ocurriendo el mayor porcentaje de enraizamiento en el período comprendido entre los sesenta-noventa días.

Fernie L. M. 1958 apuntó que el período de enraizamiento oscila entre uno-seis meses, variando éste en dependencia de las condiciones ambientales.



Gráf. 2. — Promedio de esquejes enraizados 1975 y 1976

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo durante los años 1975 y 1976 se concluye:

Consideramos que esta técnica de propagación vegetativa mediante esquejes puede ser utilizada en la propagación de material vegetal de interés en los programas de mejoramiento en cafetos así como en el campo de la Sanidad Vegetal en experimentos en que se requiera su uso en nuestro país.

El sustrato de enraizamiento que arrojó los mejores resultados fué la cáscara de arroz por lo que podrá ser empleada en trabajos de propagación vegetativa en cafetos.

El período en que ocurrió el mayor porcentaje de enraizamiento fué entre los sesenta-noventa días a partir de plantados los esquejes en propagadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. ACOSTA-SOLÍS. — Propagación vegetativa de leñosas y forestales. *La Hacienda* (N. Y.), Abril 1959.
2. M. ANDRÉ. — Observations sur l'orthotropisme et le plagiotropisme des rameaux chez *Coffea arabica* L. *Café*

3. J. N. BOUDRAND. — Le bouturage du caféier *Canephora* à Madagascar. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 18, n° 1, janv.-mars 1974, p. 31-48.

4. J. CAPOT. — La production de boutures de clones sélectionnés de caféiers *Canephora*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 10, n° 3, juil.-sept. 1966, p. 219-227.
5. A. CARVALHO, C. A. KRUG, J. E. T. MENDES. — O dimorfismo das ramas em *Coffea arabica* L. *Bragantia* (Campinas), 10 : 151 : 159, est. 1-4-1950.
6. M. T. CORNIDE. — Resumen bibliográfico sobre el mejoramiento del *Coffea arabica* L. 1969.
7. L. M. FERNIE. — Asexual Propagation of Coffee. *Coffee & Tea Industry*, nov. 1958, p. 64-67.
8. INRA. — Normas técnicas para el cultivo del café, 1970.
9. J. E. T. MENDES. — A enxertia do cafeeiro I. *Bol. Téc. do Instituto Agronômico de Campinas*, 1938, 39, 1-18.

10. J. E. T. MENDES. — Multiplicação do cafeeiro por estacas com uma fôlha. *Bragantia* (Campinas), vol. 10, n° 7, julio 1950.
11. R. L. NARASIMHASWAMY. — Vegetative propagation of *Coffea arabica* L. Bud Grafting. *Planter's Chronicle* (Coonoor), 1946, 41 : 340.
12. PUENTES y col. — Apuntes sobre Fitotecnia General. Habana, Cuba, año 1977.
13. K. SURYA KANTHA RAJU. — Vegetative propagation in Coffee. *Indian Coffee* (Bangalore), vol. 36, n° 11-12, nov.-déc. 1972, p. 384-391.

MONTES (S.). — **Etude comparative de deux substrats pour l'enracinement de boutures de *Coffea arabica* L. variété *caturre*, prélevées sur des plantes cultivées à l'ombre et au soleil.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 455-458, fig., tabl., réf.

MONTES (S.). — **Comparative study of two rooting media using cuttings of *Coffea arabica* L. variety *caturre*, collected under shade and full solar exposure.** — VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 455-458, fig., tabl., réf.

Cette expérience a été mise en place à l'Institut des Sciences Agricoles, San José de Las Lajas, La Havane, pendant les années 1975 et 1976. Son objectif était l'étude de l'enracinement de boutures de *Coffea arabica* L. variété *caturre*.

This experiment was conducted from 1975 to 1976 in the Agricultural Science Institute, San José de las Lajas, Havana, with the aim of studying how the cuttings of *Coffea arabica* L. variety *caturre* root.

On a choisi des plantations établies depuis 1968. Les substrats utilisés ont été du sable de rivière et de la balle de riz. Les boutures ont été prélevées de plantes cultivées au soleil et à l'ombre.

Plantations settled since 1968 were chosen, using river sand and rice hull as rooting media and cuttings from plants under shade and full sun exposure as treatments.

On a utilisé pour l'analyse un modèle de classement simple, les facteurs étant évalués par une méthode factorielle $2 \times 2 \times 2$ (années \times type de substrat \times type de bouture).

A model of single classification was used for this analysis while the factors were evaluated by a factorial method $2 \times 2 \times 2$ (years \times type of rooting medium \times type of cutting). Rooting percentage as well as its periods were determined at a range of thirty-two hundred and ten days after planting the cuttings in propagating frames. There was not any significant difference between the type of cuttings and the years. However significant differences were found concerning the type of rooting medium used, the most positively remarkable being the rice hull with a rooting percentage of 72.92. The highest rooting percentage occurred during the period between sixty and ninety days.

On a déterminé le pourcentage d'enracinement et aussi les périodes où cet enracinement a lieu, de trente à deux cent dix jours après la plantation des boutures.

Il n'y a pas de différence significative en ce qui concerne les types de bouture employés et les années, mais on a constaté des différences significatives quant au substrat utilisé : l'utilisation de la balle de riz se révèle très positive avec un enracinement de 72,92 %. La période pendant laquelle on a constaté le pourcentage d'enracinement le plus haut se situe entre le soixantième et le quatre-vingt-dixième jour après la plantation.

MONTES (S.). — **Prueba comparativa de dos sustratos para el enraizamiento de esquejes de *Coffea arabica* L. variedad *caturre* colectados a la sombra y al sol.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 455-458, fig., tabl., réf.

Fuè utilizado para el análisis un modelo de clasificación simple, evaluándose los factores por un método factorial $2 \times 2 \times 2$ (años \times tipo de sustrato \times tipo de esqueje).

Este experimento se condujo en el Instituto de Ciencia Agrícola, San José de Las Lajas, La Habana, durante los años 1975 y 1976 con el objetivo de estudiar el enraizamiento de esquejes de *Coffea arabica* L. variedad *caturre*.

Se determinó el porcentaje de enraizamiento así como los períodos en que ocurrieron en un rango de treinta a doscientos y diez días a partir de plantados los esquejes en propagador.

Fueron escogidas plantaciones establecidas desde el año 1968 utilizándose como sustratos de enraizamiento arena de río y cáscara de arroz y esquejes provenientes de plantas situadas al sol y a la sombra.

No hubo diferencias significativas en cuanto al tipo de esquejes ni los años, existiendo diferencias significativas en cuanto al tipo de sustrato empleado destacándose positivamente la cáscara de arroz con un 72,92 % de enraizamiento. El período en que ocurrió el mayor porcentaje de enraizamiento fuè entre los sesenta y noventa días.

ESTUDIO DE DIFERENTES MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE VARIOS TALLOS POR PLANTÓN DESDE EL VIVERO EN *COFFEA ARABICA* L.

S. L. CORTÉS HERNÁNDEZ

Instituto de Ciencia Agrícola
San José de las Lajas, La Habana, Cuba

Obtener una alta producción de café por unidad de superficie, ha sido siempre la preocupación de todos los países y estaciones de investigación cafetalera, razones por las cuales se han ensayado distintas variedades y prácticas de cultivo.

Dentro de esta última se encuentra la siembra de varias plantas/hoyo variando la distancia. Siendo esta la más importante ya que es el despegue para iniciar una plantación que será responsable en el futuro de una mayor o menor producción (A. Guerra Díaz, 1974).

Además esta práctica de cultivo nos proporciona un mejor autosombreado de las plantas y por consiguiente una reducción en la caída de las hojas, que en el momento de la floración tiene una relación directa con el volumen de cosecha lograda ese año ; en esto juega un papel fundamental la presencia de agua disponible en el suelo, por ser una época crítica debido a la escasez de lluvia (ISIC 1972).

Esta nueva práctica de cultivo nos ahorraría gran cantidad de mano de obra utilizada actualmente en los labores de poda, para la obtención de varios tallos por planta como es el agobio, desoque, la siembra inclinada, etc. ; actividad que se realiza en plantas de más de ocho meses, en el momento en que se van a plantar, como es el caso de la siembra inclinada, o después de plantada como ocurre en el agobio, o desoque. Por todo lo antes expuesto es que se hace necesario analizar el posible empleo de otros métodos en la obtención de plantas con varios tallos para que no se produzca una reducción tan marcada en los rendimientos en los dos primeros años de aplicada, motivo por lo cual se realizó este trabajo con el objetivo de obtener varios tallos por plantón desde el vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se ejecutó en el Instituto de Ciencia Agrícola (INCA) en San José de las Lajas, La Habana, en un suelo ferralítico rojo compactado (2^{da} clasificación genética de los suelos, Academia de Ciencias de Cuba, 1975).

Fueron utilizadas para este trabajo semillas de (*Coffea arabica* L.) variedad Catuai, realizándose el experimento en la fase de vivero.

Se utilizó un método factorial 2×2 analizando los tratamientos en dos grupos, podados y no podados.

Los factores estudiados fueron : el tamaño de la bolsa (13,5 cm de diámetro con 25 cm de altura y 22 cm

de diámetro, con 25 cm de altura) ; densidad de siembra (dos y cuatro posturas por bolsa) y poda que se realizó después que las plantas tenían su tercer par de hojas verdaderas, empleándose 25 u 80 bolsas por parcela en dependencia del tamaño de la misma.

Las atenciones culturales se realizaron según las normas técnicas establecidas para el cultivo del café (INRA 1970).

Para el factor tamaño de bolsa fueron utilizadas bolsas de polietileno de color negro, colocándose en los canteros en parcelas de cinco hileras de cinco bolsas para las de mayor tamaño y diez hileras de ocho bolsas

para las pequeñas. Dándosele el tamaño igual a la parcela dentro del cantero.

Para el factor densidad de siembra fueron sembradas cuatro ó seis semillas por bolsa de polietileno, seleccionándose dos y cuatro de las que presentaban mejor distribución en la bolsa.

La poda se realizó después que las plantas tenían el tercer par de hojas verdaderas, eliminándose la yema terminal por encima de estos, con el objetivo de producir dos ramas verticales que darían origen a la formación de dos tallos.

La altura de las plantas, diámetro del tronco (a los 5 cm del cuello), largo de la raíz por planta, área foliar (según Watson, 1952) y peso seco por planta y por bolsa fueron medidos cuando las plantas alcanzaron el octavo par de hojas, con una diferencia de un mes, entre las podadas y las no podadas.

La ocurrencia de temperatura, humedad relativa y lluvias caídas aparecen en la figura 1.

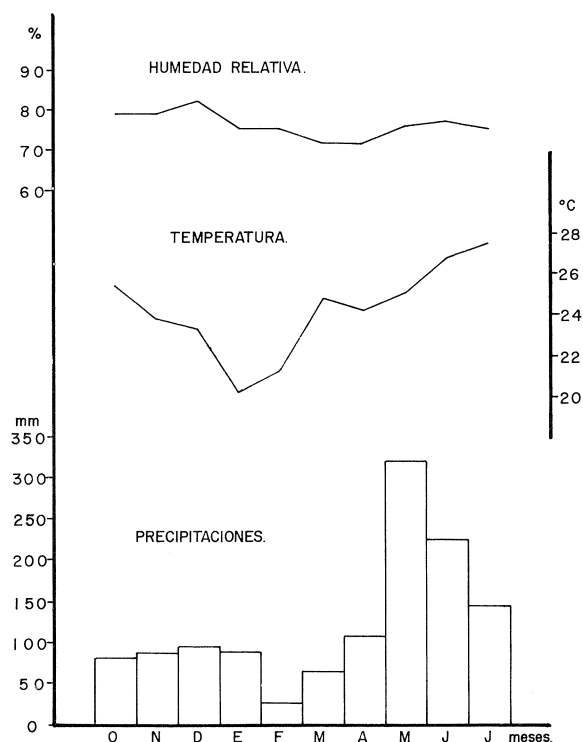


Fig. 1. — Promedio de lluvia, temperatura y humedad relativa

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la altura promedio de las plantas al octavo par de hojas no se observó diferencias significativas entre los distintos factores estudiados, reafirmando lo planteado por Guerra Díaz.

El diámetro promedio de los tallos (tabla I) en las plantas no podadas manifestó una diferencia altamente significativa para $P < 0,01$, para los tratamientos tamaño de la bolsa y cantidad de posturas por bolsa.

Tabla I. — Diámetro promedio del tallo por planta

Variantes	Diámetro (mm)
Plantas no podadas	
Bolsa pequeña	3,212 b
Bolsa grande	3,637 a
E.S.	0,07 **
2 plantas	3,643 a
4 plantas	3,202 b
E.S.	0,07 **
Plantas podadas	
2 plantas	3,493 a
4 plantas	2,800 b
E.S.	0,14 **

** $P < 0,01$

ab : Medias de tratamientos con letras iguales no difieren significativamente según Dócima de Duncan a un 0,05

Observándose un mayor diámetro en las plantas sembradas en bolsas grandes, corroborando lo planteado por Calville 1966, en cuanto al comportamiento del diámetro de acuerdo a la distancia entre plantones.

La cantidad de posturas por bolsa manifestó un mayor diámetro en las bolsas con dos posturas y menor en las de cuatro posturas, comportamiento similar fué reportado por Termundo, 1963 y Guerra Díaz en cuanto al efecto de competencia entre las plantas.

El diámetro en las plantas podadas se mostró similar al de las plantas no podadas en relación al número de plantas por bolsa.

El largo de la raíz (tabla II) por planta no podada presentó diferencias altamente significativas para $P < 0,01$ en los tratamientos tamaño de las bolsas con mayor longitud en las bolsas grandes; pudiendo deberse este mayor desarrollo de la raíz a causa de un mayor espacio vital, en la bolsa.

El factor densidad de posturas por bolsa mostró una diferencia significativa para $P < 0,05$ con una longitud mayor en las bolsas sembradas con dos plantas.

El largo de la raíz en las plantas podadas no manifestó diferencias significativas entre los tratamientos.

En el peso seco (tabla III) por planta no podada se observó una diferencia altamente significativa para $P < 0,01$ entre los tratamientos tamaño de bolsa y cantidad de posturas por bolsa.

Observándose además un mayor peso seco en las

Tabla II. — Largo de la raíz por planta

Variantes	Largo raíz/planta (cm)
Bolsa pequeña	29,345 b
Bolsa grande	35,531 a
E.S.	0,70 **
2 plantas	33,800 a
4 plantas	31,076 b
E.S.	0,70 *

* P < 0,05
** P < 0,01

ab : Medias de tratamientos con letras iguales no difieren significativamente según Dócima de Duncan a un 0,05

Tabla IV. — Area foliar por planta y por bolsa

Variantes	Area foliar/planta (cm ²)	Area foliar/bolsa (cm ²)
Plantas no podadas		
Bolsa pequeña	349,2531 b	1.104,0102 b
Bolsa grande	555,715 a	1.460,5739 a
E.S.	20,19 **	105,15 **
2 plantas	521,8939 a	896,2355 b
4 plantas	392,0743 b	1.668,2986 a
E.S.	20,19 **	105,15 **
Plantas podadas		
2 plantas	496,3536 a	
4 plantas	325,5182 b	
E.S.	49,23 *	

* P < 0,05
** P < 0,01

ab : Medias de tratamientos con letras iguales no difieren significativamente según Dócima de Duncan a un 0,05

plantas sembradas en bolsas grandes y menor en las plantas sembradas en bolsas pequeñas tanto para peso seco/planta como/bolsa.

Al analizar la densidad de plantas por bolsa se manifestó un mayor peso seco por planta en la densidad menor.

Al comparar los datos de peso seco por bolsa mostró

Tabla III. — Peso seco por planta y por bolsa

Variante	Peso seco/planta (g)	Peso seco/bolsa (g)
Plantas no podadas		
Bolsa pequeña	3,4004 b	9,2394 b
Bolsa grande	5,9088 a	15,4177 a
E.S.	0,23 **	0,96 **
2 plantas	5,3210 a	10,5391 b
4 plantas	3,9882 b	14,1180 a
E.S.	0,23 **	0,96 **
Plantas podadas		
Bolsa pequeña	3,5090 b	9,7694 b
Bolsa grande	5,2142 a	14,2406 a
E.S.	0,13 **	0,50 **
2 plantas	5,2398 a	10,0577 b
4 plantas	3,4834 b	13,9523 a
E.S.	0,13 **	0,50 **

** P < 0,01

ab : Medias de tratamientos con letras iguales no difieren significativamente según Dócima de Duncan a un 0,05

un mayor peso seco las bolsas sembradas con cuatro plantas. Reafirmando lo planteado por Bellavita y Morales.

El comportamiento del peso seco por planta y por bolsa en las plantas podadas fué similar.

El área foliar por planta y por bolsa (tabla IV) presentó en las plantas no podadas una diferencia altamente significativa para P < 0,01 para el tamaño de la bolsa.

En cuanto a la cantidad de posturas por bolsa se manifestó una diferencia altamente significativa por planta y una diferencia significativa P < 0,05 por bolsa.

El área foliar por planta fué mayor en las bolsas sembradas con dos plantas y por bolsa en las sembradas con cuatro, estos datos concuerdan con lo planteado por Valencia 1973 ; Bellavita y Morales.

En las plantas podadas hubo una diferencia significativa para P < 0,05 solamente por planta entre los tratamientos de dos y cuatro posturas siendo mayor en las de dos con 496,35 cm² y menor en las de cuatro con 325,51 cm².

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo se concluye lo siguiente :

- Al alcanzar las plantas el octavo par de hojas, la altura promedio fué similar aunque se varíe el tamaño de las bolsas y se siembren dos ó cuatro plantas.
- En general el diámetro de las plantas manifestó una tendencia negativa al aumento de la densidad.
- Se obtuvo respuesta del largo de raíz al aumento del

tamaño de la bolsa y a la densidad en las plantas no podadas.

- El peso seco por planta se comportó inversamente proporcional al aumento de la densidad y por bolsa directamente proporcional.
- Se manifestó un incremento en el peso seco por planta y por bolsa al aumentar el tamaño de la bolsa.
- El efecto de la poda provoca un retraso en el desarrollo de la postura de aproximadamente un mes.

BIBLIOGRAFÍA

1. O. BELLAVITA, A. MORALES. — Comparación entre la siembra y poda en vivero de una y dos plantas de café por bolsa. *Revista Agronomía tropical*, vol. XVIII, nº 2, abril-jun 1968.
2. A. GARCÍA y col. — Comparación de varias densidades de siembra en caféto (fotocopias).
3. D.J. GÓMEZ. — Cultivo del café bajo distintas modalidades en el departamento de Huila. Monografía 12/73.
4. A. GUERRA DÍAZ. — Siembra del caféto bajo distintas modalidades. ISIC, 1974.
5. S.A. MACHADO. — El sistema de libre crecimiento de varios cafétos por hoyo. Notas técnicas.
6. G. VALENCIA. — Relación entre el índice de área foliar y la productividad del caféto. *Cenicafé*, vol. 24, nº 4, 1973, p. 79-89.
7. WALSON. — Advances in agronomy. Departamento Americano. *Society of Agronomy*, vol. 4, p. 101-245, Edit. by A.G. Norman.
8. — Normas técnicas del INRA para el cultivo del café, 1970.
9. — Instituto salvadoreño de investigaciones de café, 1972.
10. Anónimo. — Resultados preliminares con tres distancias de siembra, dos fuentes de materia orgánica en plantas de almaciguera sembradas en bolsas de polietileno. ISIC. 1966.
11. Clasificación genética de los suelos. Academia de Ciencias de Cuba, 1975.

CORTES H. (S. L.). — **Etudes de différentes méthodes pour obtenir, en pépinière, des plantules de *Coffea arabica* L. à plusieurs tiges.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 459-462, tabl., fig., réf.

L'expérience, réalisée à l'Institut des Sciences Agricoles de San José de Las Lajas, La Havane, avait pour but l'obtention de plantules multicaules en pépinière.

Cette étude a été réalisée avec *Coffea arabica* L. var. *Catuai* sur sol ferrallitique rouge compact. Les facteurs étudiés furent : deux dimensions de sacs, deux densités de semis et la taille effectuée après l'apparition de la troisième paire de feuilles vraies.

Une méthode factorielle 2×2 a été utilisée pour analyser les traitements en deux groupes : les plantes taillées et les plantes non taillées.

La hauteur des plantes, le diamètre de la tige et la longueur de la racine par plante, la surface foliaire et le poids par plante et par sac ont été évalués quand les plantes avaient leur huitième paire de feuilles vraies.

Les diamètres moyens des tiges ont montré des différences hautement significatives, les plus grands étant ceux des plantes placées par deux dans les grands sacs.

Les longueurs des racines ont présenté des différences significatives : elles sont les plus grandes chez les plantes non taillées, cultivées dans les grands sacs et à la densité la plus faible.

Le poids sec et la surface foliaire ont montré un comportement similaire à celui du rendement chez les plantes adultes.

CORTES H. (S. L.). — **Estudio de diferentes métodos para la obtención de varios tallos por plantón desde el vivero en *Coffea arabica* L.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 459-462, tabl., fig., réf.

El experimento se realizó en el Instituto de Ciencia Agrícola en San José de las Lajas, La Habana con el objetivo de obtener varios tallos por plantón desde el vivero.

Este estudio fué realizado en *Coffea arabica* L. variedad *Catuai* en un suelo ferralítico rojo compactado. Los factores estudiados fueron : dos tamaños de bolsas, dos densidades de siembra y poda, realizada después que las plántulas alcanzaron el tercer par de hojas verdaderas.

Para el análisis fué utilizado un método factorial de 2×2

Study of different methods in the obtention of several stems per seedlings of *Coffea arabica* L. from the nursery VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 459-462, tabl., fig., réf.

This experiment was carried out in the Agricultural Science Institute, San José de las Lajas, Havana, with the objective of producing several stems per seedling from the nursery, using the variety *Catuai* of *Coffea arabica* L. on ferralitic-red-heavy soils. The factors studied are as follows :

Two bag sizes, two plantation densities and the pruning which was made after the seedlings had achieved the third pair of true leaves. A factorial method of 2×2 was used, analyzing the treatments into two groups : the pruned and non-pruned plants.

The height of the plants, diameter of the stem, length of the root per plant, foliar area and the dry weight per plant as well as per bag were measured when the plants had obtained the eight pair of true leaves.

The mean diameter of the stems showed highly significant differences, the highest being for the plants sown into big bags and where two seedlings were sown together.

The length of the root per plant showed significant differences, the biggest being for the plants sown into big bags and for the ones that had less density, concerning the non-pruned plants.

The dry weight and foliar area had similar behaviour to the yield in adult plants.

analizandose los tratamientos en dos grupos : plantas podadas y no podadas.

La altura de las plantas, diámetro del tallo y largo de la raíz por planta, área foliar y peso por planta y por bolsa fueron medidos cuando las plantas alcanzaron el octavo par de hojas verdaderas.

El diámetro promedio de los tallos mostró diferencias altamente significativas, siendo mayor el de las plantas sembradas en bolsas grandes y donde se sembraron dos posturas.

El largo de la raíz por planta presentó diferencias significativas siendo mayor en las plantas sembradas en bolsas grandes y en las de menor densidad, todo ello en las plantas no podadas.

El peso seco y el área foliar tuvo un comportamiento similar al del rendimiento en plantas adultas.

L'IRRIGATION DU CAFÉIER ROBUSTA EN CÔTE D'IVOIRE

J. SNOECK

Division d'Agronomie de l'IFCC, Bingerville, Côte d'Ivoire

I. Etude de quelques méthodes d'alerte à l'irrigation

INTRODUCTION

Les besoins en eau des caféiers sont fonction de leur évapotranspiration qui intègre :

- la quantité d'eau disponible dans le sol,
- le pouvoir évaporant de l'atmosphère,
- les caractéristiques physiologiques de la plante.

La disponibilité de l'eau dans le sol peut se mesurer avec une tarière, un humidimètre à neutron, un tensiomètre ou un évapotranspiromètre (lysimètre, pesées). Le pouvoir évaporant de l'atmosphère est une synthèse de paramètres tels que l'énergie radiative, le flux de chaleur sensible et de chaleur latente, le déficit hydrique de l'air, la vitesse du vent, la température ambiante.

Du point de vue évapotranspiration, les caractéristiques physiologiques de la plante les plus importantes sont les mouvements des stomates qui déterminent l'intensité des échanges gazeux et donc de la transpiration.

Pour étudier l'influence de quelques-uns de ces facteurs sur le développement et la production des caféiers, un essai d'irrigation a été implanté en 1971 à la ferme des cultures irriguées, gérée par l'IRAT et située à Tombokro, dans la zone de transition entre la forêt dense humide et la savane arborée. La pluviosité moyenne annuelle est d'environ 1 270 mm et la durée de la saison sèche est de trois à quatre mois.

Deux rythmes d'irrigation par aspersion furent comparés à la non irrigation :

- Apports de 50 mm tous les neuf jours, déduction faite des pluies des neuf jours précédents, de manière à donner environ 166 mm d'eau par mois aux caféiers et à compenser une évapotranspiration moyenne journalière de 5,5 mm (traitement A).
- Apports de 50 mm lorsque les tensiomètres placés à 25 cm de profondeur arrivent à 50 centibars (traitement B).

QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE DANS LE SOL

Le calcul de la réserve utilisable (RU) par la plante a été fait au laboratoire de l'IFCC à Bingerville à partir d'échantillons de terre (F. Dupré et P. Jadin).

$$RU = (Ch - Hf) \times d_{app} \times h \times 1/100$$

RU = réserve utilisable en mm

Ch = humidité à la capacité au champ, en % de terre sèche

Hf = humidité au point de flétrissement, en % de terre sèche

d app = densité apparente de terre fine

h = profondeur d'enracinement utile pour l'alimentation en eau de la culture considérée, en mm (h = 600 mm pour les caféiers)

Dans le cas du sol dérivé des alluvions argilo-

Tableau I. — Valeurs caractérisant la quantité d'eau disponible des alluvions du Bandama pour les horizons 0-30 cm et 30-60 cm

	Horizons	
	0-30 cm	30-60 cm
Ch (%)	14,5 à 16,5	16,5 à 18,5
Hf (%)	5,7	6,9
Eau disponible (%) : (Ch - Hf)	8,8 à 10,8	9,6 à 11,6
Argile + limon (%)	29,0	34,2
d app	1,4	1,4
h (mm)	300	300
RU (mm)	37,0 à 45,4	40,3 à 48,7
RFU = 1/3 à 2/3 RU (mm)	13,7 - 27,4	14,8 - 29,6
RFU du profil (0 à 60 cm) (mm)	28,5 - 57,0	
pF à 1/3 RU	2,6	2,2
pF à 2/3 RU	3,2	2,9

RFU : réserve facilement utilisable pour laquelle la plante ne réduit pas notablement sa transpiration

sableuses du Bandama sur lequel se trouve l'essai, les valeurs sont présentées dans le tableau I.

Ces valeurs ont été étudiées sur le terrain par Ridders durant les saisons sèches 1972, 1973 et 1974 à l'aide d'un humidimètre à neutrons. Il a suivi les fluctuations des teneurs en eau dans le sol et déterminé la réserve utile et la réserve facilement utilisable par l'analyse de deux tubes, l'un jusqu'à 77 cm de profondeur, l'autre jusqu'à 97 cm. Il a trouvé :

Ch (%) : 19,6

Hf (%) : 12,3

Eau disponible % : 7,5 et 8,6

RU, sur 60 cm, (mm) : 43,8

RFU, sur 60 cm, (mm) : 26,6 et 32, 1 (saison sèche 1972-1973)

RFU, sur 60 cm, (mm) : 35,1 et 41,6 (saison sèche 1973-1974)

Le point de flétrissement semble surestimé ce qui donne une RU trop faible. Si l'on considère que $RU = 2 \text{ RFU}$, on devrait avoir une réserve utilisable variant entre 53 et 80 mm pour 60 cm de profondeur. Ceci correspond aux valeurs trouvées en laboratoire. Il est rare que des caféiers arrivent au point de flétrissement irréversible correspondant à pF 4,2. En général,

les caféiers perdent une partie de leurs feuilles, ont des nécroses sur les jeunes tiges et sur les jeunes feuilles, mais ne flétrissent pas de manière définitive. En outre, les saisons sèches 1971, 1972 et 1973 n'étaient pas exceptionnellement rigoureuses.

Elles ont été interrompues par des petites pluies qui n'ont pas permis de déterminer avec précision, en champ, le point de flétrissement des caféiers.

La disponibilité de l'eau dans le sol est contrôlée en permanence par les tensiomètres placés à 25 cm de profondeur en divers endroits dans le traitement B. Lorsque ces appareils indiquent 50 centibars, Ridders a déterminé que le poids d'eau prélevé était de 4,5 % de celui de la terre sèche. Ceci correspond à près de la moitié de l'eau disponible et pour un profil de 60 cm, cela équivaut à 27 mm. La réserve utile du profil étant en moyenne de 85 mm, le déclenchement de l'irrigation par les tensiomètres indiquant 50 centibars se fait lorsque le tiers de la RU est consommé. La RFU est à peine entamée et les caféiers ne souffrent jamais d'un déficit hydrique au niveau des racines.

Pour compenser la consommation des caféiers, les pertes par drainage et par évaporation au cours de l'aspersion, on a estimé qu'il fallait apporter 50 mm par arrosage.

CONSOMMATION EN EAU DES CAFÉIERS

Du fait de la présence d'un horizon gravillonnaire induré à environ un mètre de profondeur, Ridders n'a pu réaliser des bilans hydriques complets, faute de moyens de pénétration dans cet horizon. L'eau de percolation n'a pas été déterminée.

Ces bilans incomplets permettent cependant d'évaluer des « consommations apparentes » proches des évapotranspirations maximales. Les mesures ont été faites à l'aide de l'humidimètre à neutron pendant certaines périodes sèches de durées suffisantes de 1971 à 1974.

Les résultats des mesures figurent dans le tableau II, et sur le graphique 1, dans lesquels sont reportées les moyennes d'évaporation du bac Classe A en mm/jour pour les mêmes périodes, ainsi que les rapports CA/Ev.

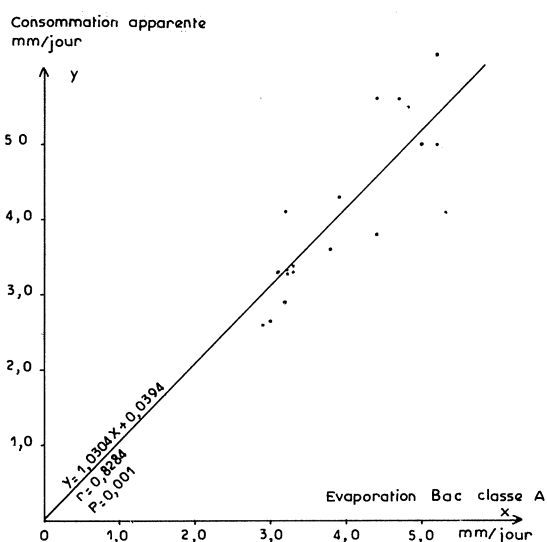
Le calcul de CA/Ev donne $75,0/72,1 = 1,04$ avec une déviation standard de $\pm 0,14$ et un coefficient de variation de 12,7 %. La droite de régression de l'évaporation sur la consommation est (graph. 1) :

$$Y = 1,0304X + 0,0394$$

Ceci signifie que l'évaporation du bac Classe A est

Tableau II. — Consommations apparentes (CA) et évaporation bac Classe A (Ev) ; moyennes en mm/jour

Périodes	CA (mm)/jour	Ev (mm)/jour	CA/EV
Caféiers avec couverture de <i>Pueraria</i>			
Du 2 au 20 nov. 1971	2,9	3,2	0,91
2 au 15 janv. 1972	2,6	2,9	0,90
10 au 22 oct. 1972	3,4	3,3	1,03
9 au 23 nov. 1972	3,3	3,1	1,06
24 nov. - 9 déc. 1972	3,3	3,2	1,03
Caféiers sans couverture (sol nu)			
Du 2 au 15 janv. 1973	4,3	3,9	1,10
16 au 24 janv. 1973	5,0	5,2	0,96
25 janv. - 12 fév. 1973	5,0	5,0	1,00
13 au 25 fév. 1973	5,5	4,8	1,14
26 fév. - 10 mars 1973	4,2	5,3	0,79
11 au 31 mars 1973	6,2	5,2	1,19
20 août - 4 sept. 1973	3,3	3,3	1,00
24 nov. - 9 déc. 1973	3,3	3,2	1,03
15 au 26 déc. 1973	4,1	3,2	1,28
27 déc. - 9 janv. 73/74	3,6	3,8	0,95
10 au 23 janv. 1974	3,8	4,4	0,86
24 janv. - 1 fév. 1974	5,6	4,7	1,19
2 au 13 fév. 1974	5,6	4,4	1,27
Totaux	75,0	72,1	



Graph. 1. — Relation entre évaporation bac Classe A et consommation apparente des caféiers

une très bonne mesure pour évaluer la consommation apparente des caféiers et que cette consommation est presque égale à cette évaporation à la constante 0,039 près. Dans ces conditions, il paraît évident que l'on peut établir des bilans hydriques valables en partant de données climatiques aussi simples que les pluies et l'évaporation du bac Classe A. Ces bilans permettent de connaître à tout moment la quantité d'eau consommée par les caféiers et, par déduction, la quantité d'eau disponible dans le sol. Grâce à ces calculs simples, il est possible de décider à quel moment il faut déclencher les irrigations, et à quelle dose.

A partir de 1975, le traitement « irrigation A » fut modifié et les apports de 50 mm furent faits lorsque le bilan :

[Evaporation bac (mm) × 1,1] — Pluies (mm) > 50 mm.

Le coefficient 1,1 est celui qui avait été calculé par Ridders :

$$CA/Ev = 1,04 \pm 0,14$$

COMPARAISON DES METHODES D'ALERTE A L'IRRIGATION

Dans l'essai d'irrigation, deux rythmes sont comparés :

Traitement A : apports de 50 mm tous les neuf jours, déduction faite des pluies des neuf jours précédents, de manière à donner environ 166 mm d'eau par mois et à compenser une évapotranspiration moyenne journalière de 5,5 mm.

Ce système a été modifié comme il a été dit ci-des-

sus, à partir de 1975, on apportait 50 mm chaque fois que :

[Evaporation bac (mm) × 1,1] — Pluies (mm) > 50 mm.

Traitement B : apports de 50 mm lorsque les tensiomètres placés à 25 cm de profondeur arrivent à 50 centibars

Les effets de ces deux modes d'irrigation sur la

croissance et sur la production des caféiers sont très nets.

A onze mois, le développement des caféiers était :

Irrigation A : 2,10 cm de diamètre, au collet,
Irrigation B : 2,28 cm de diamètre, au collet,
Non irrigués : 1,56 cm de diamètre, au collet.

Les deux modes d'irrigation sont très significativement supérieurs à la non irrigation, mais l'écart observé n'est pas significativement valable.

Cependant les premières récoltes confirment l'importance de ce léger écart (tabl. III).

Les analyses de variance départagent les traitements :

1973 : Irrig. B = Irrig. A > Non irrig. à P = 0,01
1974 : Irrig. B = Irrig. A > Non irrig. à P = 0,01
1975 : Pas de différence entre les traitements
1976 : Irrig. B = Irrig. A > Non irrig. à P = 0,01

La diminution de production dans les parcelles irriguées en 1975 s'explique par l'alternance naturelle des productions chez les caféiers. Cette alternance est d'autant plus accentuée que les sols de l'essai sont assez pauvres en matières organiques et en éléments minéraux.

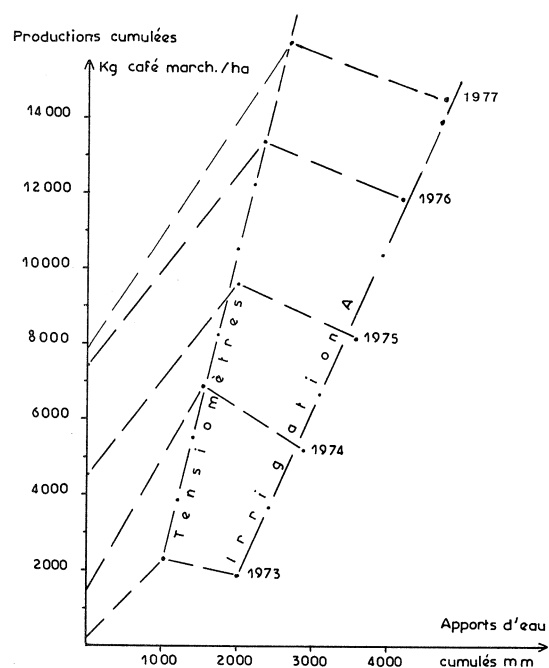
Les apports d'eau correspondant à ces productions sont mentionnés dans le tableau IV.

Le graphique 2 montre les relations entre les quantités d'eau apportées et les productions.

Le système d'alerte A, basé uniquement sur les pluies reçues pendant des périodes de neuf jours, apporte des quantités d'eau beaucoup plus importantes que le système par tensiométrie. On a vu que les tensiomètres entraînent en alerte lorsque seule la RFU était entamée. Il est donc évident que des apports d'eau supplémentaires et plus fréquents induisent des pertes d'eau par drainage. Ceci entraîne des gaspillages inuti-

les et coûteux et également un lessivage des éléments minéraux hors de portée des racines. En 1974, la réponse aux engrais dans le système A est moins bonne que dans le système tensiométrique B (graphique 3 et tableau V).

En 1975 et en 1976, lorsque le système d'alerte A fut modifié pour passer au bilan hydrique calculé à partir de l'évaporation du bac Classe A, les productions des deux systèmes d'irrigation devinrent très voisines et les



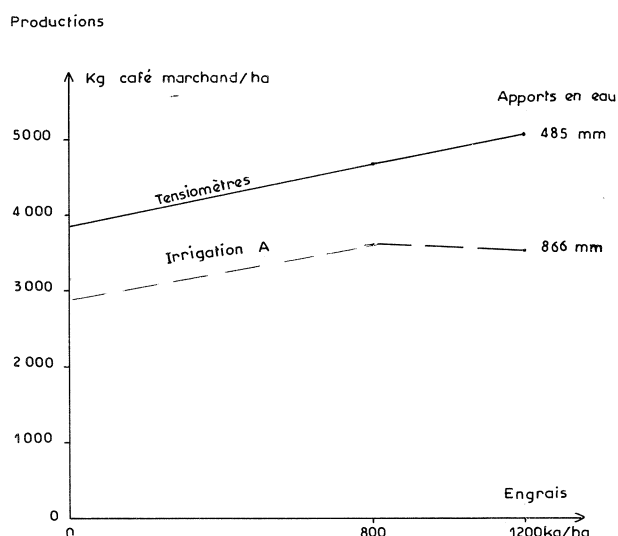
Graph. 2. — Essai d'irrigation. Récoltes et apports d'eau

Tableau III. — Productions de l'essai d'irrigation, en kg de café marchand/ha, (moyennes des trois sous-traitements avec et sans engrais)

Traitement irrigation	Production café marchand (kg /ha)				
	1973	1974	1975	1976	Cumul
Irrigation A	1.885	3.366	2.931	3.735	11.917
Irrigation B (tensiomètres)	2.315	4.534	2.776	3.820	13.445
Non irrigués	224	1.319	3.002	2.807	7.352

Tableau IV. — Apports annuels d'eau et nombres d'irrigations

Années	Pluies (mm)	Irrigations						% A/B
		A-50 mm/9 jours		A- Classe A		B-tensiomètres		
		mm	Nbre	mm	Nbre	mm	Nbre	
1971	1.279,8	600	14	-	-	383	9	157
1972	1.262,9	838	20	-	-	411	9	204
1973	1.430,0	1.140	24	-	-	630	13	181
1974	1.447,8	866	21	-	-	485	10	178
1975	1.018,2	-	-	730	15	450	9	162
1976	1.077,9	-	-	610	13	370	8	165



Graph. 3. — Influence des apports d'eau sur les réponses aux engrais (récolte 1974)

Tableau V. — Récolte 1974 en kg de café marchand/ha

Engrais	Irrigation A	Irrigation B
Sans engrais	2.942	3.837
800 kg/ha	3.634	4.686
1.200 kg/ha	3.521	5.080

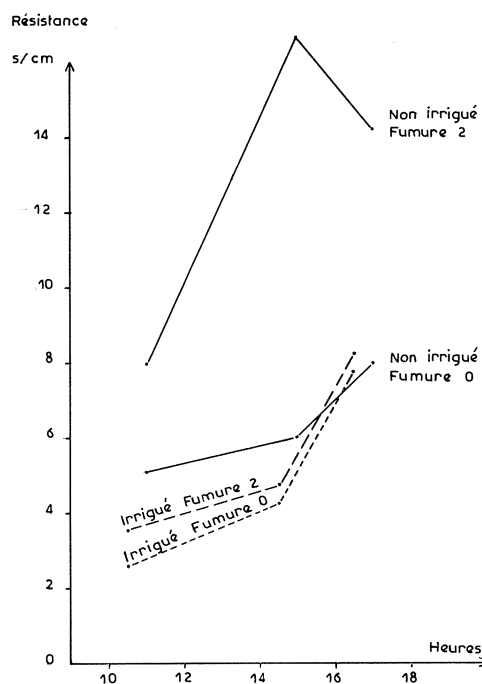
réponses aux engrais meilleures pour l'irrigation A, (tabl. VI).

Les productions des caféiers étant voisines, on peut en conclure que les apports d'eau déterminés par la méthode tensiométrique sont suffisants et satisfaisants pour la plante. Des mesures sur l'activité des stomates faites en saison sèche 1977 montrent que les caféiers irrigués restent physiologiquement actifs pendant la saison sèche.

Les variations de la résistance au flux d'air des troisièmes feuilles sont représentées par les graphiques 4, 5, 6 et le tableau VII (p. 468).

On constate que :

— sur caféiers irrigués, les stomates restent plus perméables que sur caféiers non irrigués et les écarts



Graph. 4. — Essai d'irrigation. Mesures de la perméabilité des stomates, 15 décembre 1976

vont en s'accroissant après deux mois de saison sèche (mesures c du 3 février 1977) ;

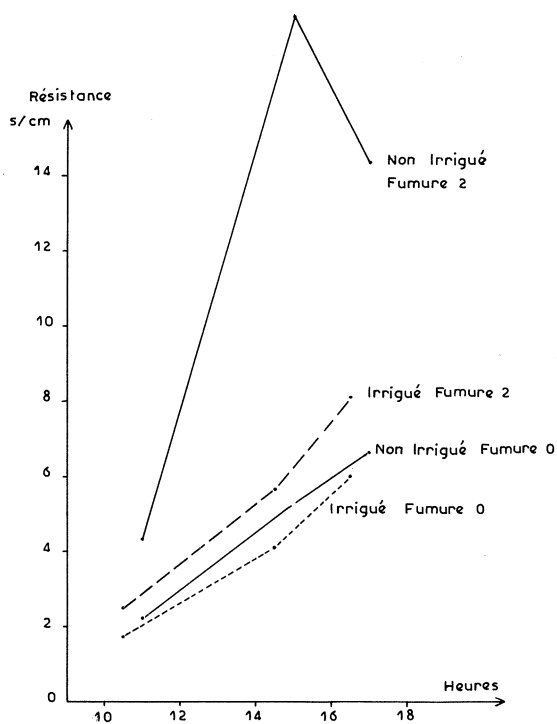
— avec engrais, sur caféiers irrigués, en décembre, la fermeture des stomates est légèrement plus forte que sans engrais, parce que les caféiers portent une plus grande masse foliaire. Les tensiomètres des parcelles avec engrais indiquaient d'ailleurs un déficit hydrique du sol plus élevé que dans les parcelles sans engrais ;

— sur caféiers non irrigués, en fin de saison sèche, les stomates sont très fermés à partir de 14 h 30, surtout dans les parcelles sans engrais, où la chute des feuilles adultes obligeait à faire les mesures sur de jeunes feuilles.

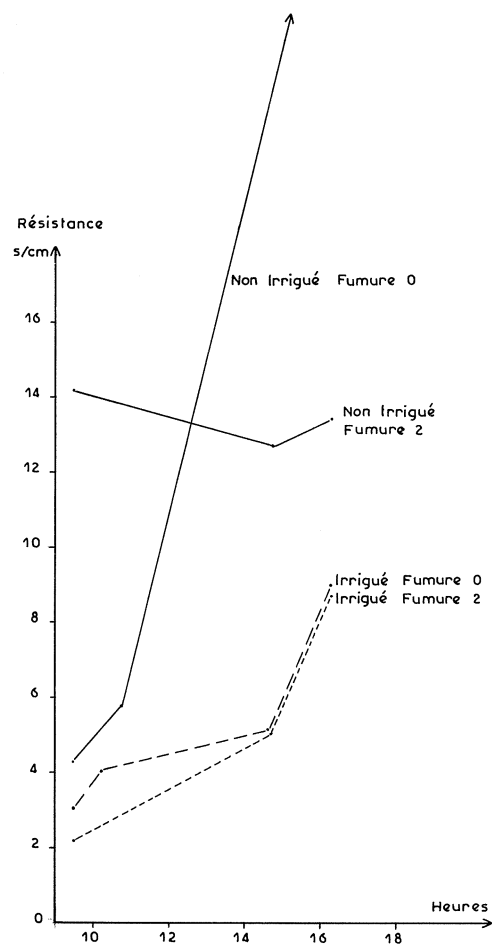
Il semble donc bien qu'on puisse prendre le système d'alerte par tensiomètres comme système de référence, puisqu'il donne les productions les plus élevées pour des apports d'eau les plus faibles. Dès lors on peut tenter de retrouver les mêmes rythmes et doses d'arrosages à partir des mesures climatiques simples qui sont faites sur la ferme des cultures irriguées.

Tableau VI. — Récoltes 1975 et 1976 en kg de café marchand/ha

Engrais	Irrigation A - Bac classe A			Irrigation B - Tensiomètres		
	1975	1976	Cumulés	1975	1976	Cumulés
Sans engrais	2.086	2.961	5.047	1.950	3.142	5.092
800 kg/ha	3.332	3.735	7.067	2.936	4.207	7.143
1.200 kg/ha	3.374	4.510	7.884	3.442	4.110	7.552



Graph. 5. — Essai d'irrigation. Mesures de la perméabilité des stomates, 16 décembre 1976



Graph. 6. — Essai d'irrigation. Mesures de la perméabilité des stomates, 3 février 1977

Tableau VII. — Résistance au flux d'air des troisièmes feuilles, en secondes par centimètre (s/cm)

	10 h 30			14 h 30			17 h		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Caféiers irrigués									
Sans engrais	2,6	1,7	4,0	4,2	4,1	5,1	7,7	6,0	9,1
Avec engrais	3,5	2,5	2,7	4,7	5,7	5,0	8,2	8,1	8,7
Caféiers non irrigués									
Sans engrais	5,0	2,2	5,4	5,9	5,0	47,0	7,6	6,3	++
Avec engrais	8,0	4,3	13,9	15,6	16,6	12,6	14,5	15,1	13,4

a : mesures du 15/12/76, début saison sèche
 b : mesures du 16/12/76, début saison sèche
 c : mesures du 3/2/77, saison sèche
 ++ : non mesurable, stomates trop fermées.

COMPARAISON DES BESOINS EN EAU DÉTERMINÉS PAR LES TENSIOMÈTRES ET PAR DIVERS BILANS CLIMATIQUES

Tensiomètres et bac Classe A

En reprenant les données du bac Classe A depuis 1971, il est possible de recalculer les quantités d'eau qu'on aurait dû appliquer si on avait employé l'évaporation du bac Classe A pour déclencher les irrigations. La formule générale est :

[Evaporation bac Classe A (mm) \times CA/Ev] — Pluies (mm) = Déficit hydrique

où :

CA = consommation apparente des caféiers.

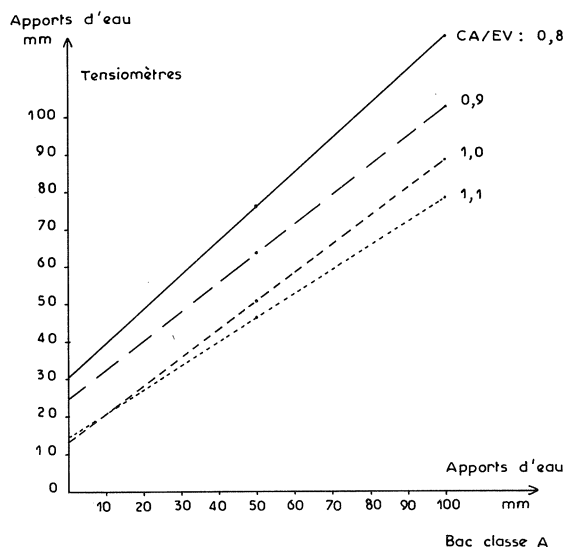
Ev = évaporation du bac Classe A.

Pluies : les pluies de moins de 3 mm ne sont pas déduites, parcequ'elles ne pénètrent pas dans le sol (les tensiomètres ne réagissent pas).

Déficit hydrique : déclenchement de l'irrigation à 50 mm.

On a vu que Ridders avait trouvé une valeur de $1,04 \pm 0,14$ pour le coefficient CA/Ev. En appliquant ce coefficient, on s'aperçoit que l'on apporte plus d'eau et plus souvent qu'avec les tensiomètres. On a donc essayé les valeurs de 1,1-1,0-0,9 et 0,8 pour le coefficient CA/Ev. Les résultats figurent dans le tableau VIII (p. 470) et sur le graphique 7.

Les relations entre les apports avec tensiomètres et les apports calculés à partir de l'évaporation du bac Classe A sont toutes très hautement significatives. Le graphique 7 montre clairement qu'à un rapport Y de 50 mm déterminé par tensiométrie correspond un bilan



Graph. 7. — Relation entre les apports d'eau par tensiomètres et par bilan bac Classe A

X de 50 mm pour la valeur 1,0 du rapport CA/Ev. Cependant, en valeurs cumulées, ce coefficient 1,0 donne des arrosages plus fréquents et trop élevés. Le graphique 7 indique que la valeur 0,9 donne une valeur X proche de 100 pour Y = 100. En examinant les bilans trimestriels du tableau VIII et le graphique 8 (p. 471) des apports mensuels, on voit que la valeur CA/Ev de 0,9 est celle qui donne les écarts les plus faibles pour les six années observées. Il faudrait donc déclencher les irrigations lorsqu'on arrive à :

[Evaporation Bac Classe A (mm) \times 0,9] — Pluies (> 3 mm) = 50 mm.

Dans ces conditions les caféiers donneraient les mêmes niveaux de production que ceux des parcelles avec tensiomètres.

En appliquant un coefficient de 0,8 les apports d'eau et le coût de l'irrigation seraient réduits. Cependant il faudrait faire de nouveaux essais pour savoir comment serait influencée la production.

Bac Classe A, bac Colorado, évaporomètre de Piche

Ces trois appareils donnent des mesures de l'évaporation. Le bac Colorado est une cuve de 60 cm de profondeur, présentant une nappe d'eau libre carrée de 1 m \times 1 m. Ce bac est enterré et la nappe d'eau est au niveau du sol. Comme pour le bac Classe A, on compense chaque jour l'évaporation en ajoutant la quantité d'eau nécessaire pour revenir au niveau initial. Les jours de pluie, on enlève l'eau excédentaire et l'évaporation du jour est obtenue en faisant :

mm pluies — mm eau enlevée = évaporation en mm.

L'évaporomètre de Piche est un tube gradué en verre, rempli d'eau, scellé à sa partie supérieure et fermé à sa partie inférieure par une rondelle de papier buvard. Il est placé sous l'abri climatologique. Le papier est humecté par la colonne d'eau. L'eau s'évapore lentement et les différences de hauteur de la colonne donne les mesures du pouvoir évaporant de l'air sous l'abri. La lecture de la quantité d'eau évaporée est faite chaque jour.

On a comparé les mesures décennales de ces trois appareils de 1972 à 1976, dans les conditions de Tombokro.

Les corrélations par année et pour les cinq années sont très bonnes et toutes très hautement significatives, comme il fallait s'y attendre (tableau IX, p. 470).

Cependant si on veut établir les comparaisons mensuelles, on s'aperçoit qu'il y a des écarts très importants entre les diverses mesures. C'est ce que montre le tableau X (p. 472).

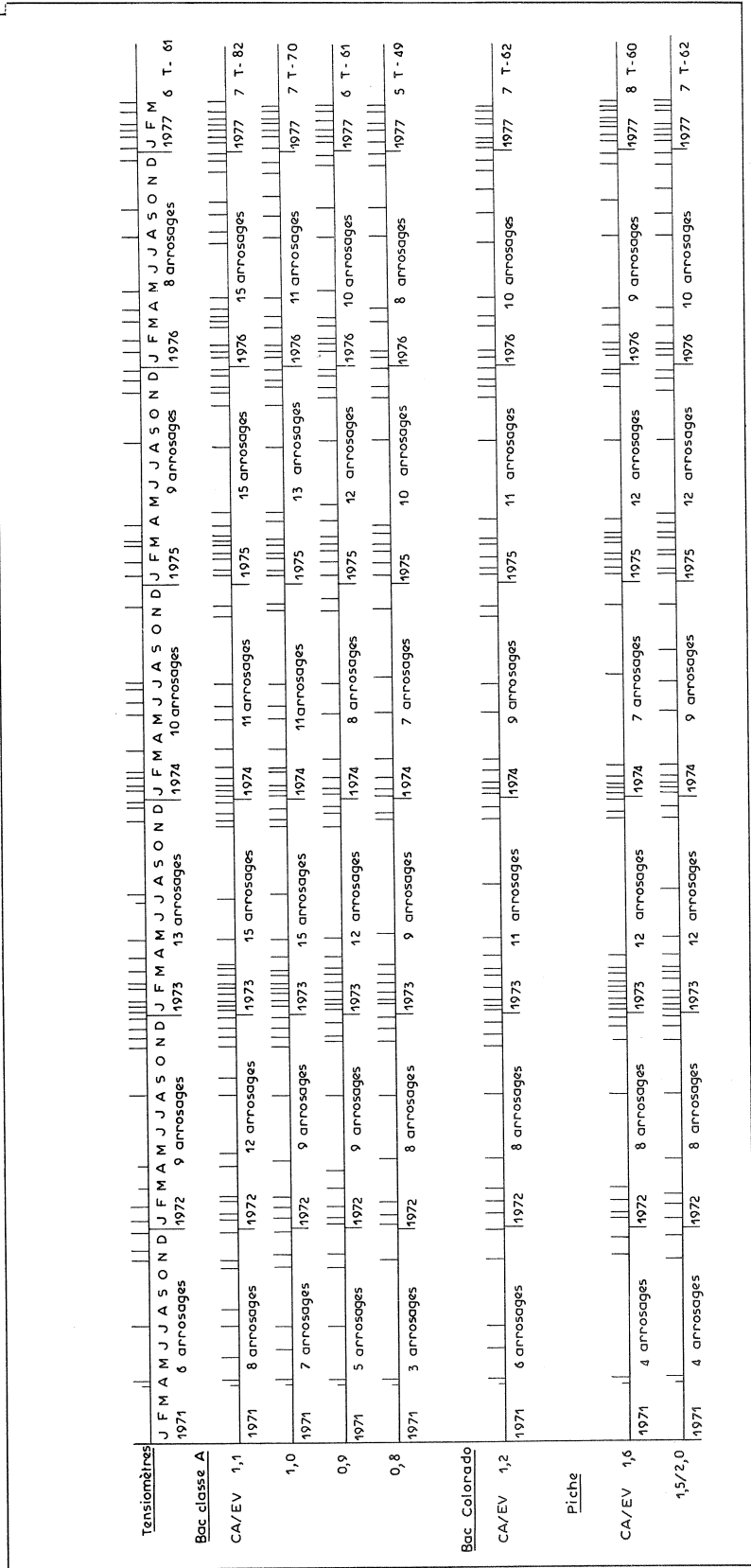
Tableau VIII. — Comparaison des apports en eau : Tensiomètres. Bac Classe A. Quantités d'eau apportées par trimestre en mm.
N = nombre d'irrigations par trimestre

Trimestres	Tensiomètres		Bac Classe A - Coefficients CA/Ev								
			1,1		1,0		0,9		0,8		
			mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	
1971	2	80	2	125	3	125	3	75	2	75	2
	3	38	1	100	2	50	1	50	1	0	0
	4	150	3	150	3	150	3	100	2	50	1
	Totaux	268	6	375	8	325	7	225	5	125	3
1972	1	131	3	200	4	150	3	200	4	150	3
	2	30	1	100	2	50	1	50	1	50	1
	3	50	1	100	2	50	1	50	1	50	1
	4	200	4	200	4	200	4	150	3	150	3
	Totaux	411	9	600	12	450	9	450	9	400	8
1973	1	300	6	400	8	300	6	300	6	250	5
	2	100	2	50	1	100	2	100	2	50	1
	3	80	2	50	1	50	1	0	0	0	0
	4	150	3	200	4	150	3	150	3	100	2
	Totaux	630	13	700	14	600	12	550	11	400	8
1974	1	250	5	300	6	300	6	200	4	200	4
	2	100	2	100	2	100	2	50	1	50	1
	3	85	2	50	1	50	1	50	1	50	1
	4	50	1	100	2	100	2	100	2	50	1
	Totaux	485	10	550	11	550	11	400	8	350	7
1975	1	200	4	350	7	300	6	250	5	250	5
	2	50	1	100	2	100	2	100	2	50	1
	3	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1
	4	150	3	250	5	200	4	200	4	150	3
	Totaux	450	9	750	15	650	13	600	12	500	10
1976	1	150	3	300	6	250	5	250	5	150	3
	2	100	2	100	2	50	1	50	1	50	1
	3	100	2	150	3	100	2	100	2	100	2
	4	50	1	200	4	150	3	100	2	100	2
	Totaux	400	8	750	15	550	11	500	10	400	8
1977	1	300	6	350	7	350	7	300	6	250	5
	Totaux	2.944	61	4.075	82	3.475	70	3.025	61	2.425	49
Corrélations r				0,8550		0,9043		0,8522		0,8790	
Droites		Y = aX + b									
Coefficient a				0,6396		0,7563		0,7785		0,9123	
Coefficient b				14,066		13,152		24,544		30,480	

Tableau IX. — Coefficients de corrélation (r)

	Bac Classe A x Bac Colorado	Bac Classe A x Piche	Bac Colorado x Piche
1972	0,7980	0,7189	0,6010
1973	0,8637	0,7358	0,7531
1974	0,8252	0,5671	0,5486
1975	0,7870	0,8403	0,7700
1976	0,8555	0,7038	0,5864
5 années	0,7784	0,7233	0,6639

Tous ces coefficients de corrélation sont significatifs à P = 0,001



Graph. 8. — Comparaison des apports mensuels. Tensiomètres. Bac Classe A. Colorado. Piche

Les corrélations entre Bac Classe A et Bac Colorado sont bonnes sept mois sur douze. L'absence de corrélation se produit aussi bien en saison des pluies (avril, juin, septembre) qu'en saison sèche (novembre, décembre). L'insolation ne semble pas intervenir non

plus dans ces écarts (tableau X). Les variations entre les mesures des deux bacs d'évaporation n'ont donc pas d'explication évidente, si ce n'est que le bac Colorado est enterré et le bac Classe A ne l'est pas. Quant à l'évaporomètre de Piche, le fait qu'il se

Tableau X. — Coefficients de corrélation (r) et seuils de signification

1972 à 1976	Bac Classe A x Bac Colorado	Bac Classe A x Piche	Bac Colorado x Piche	Climatologie (moyenne 1972 à 1976)	
				Pluies mensuelles (mm)	Insolation heures/mois
Janvier	0,8809 xxx	0,9546 xxx	0,8377 xxx	14,8	230
Février	0,5305 x	0,0625 NS	0,0236 NS	55,6	204
Mars	0,5227 x	0,7847 xxx	0,7050 xxx	115,0	207
Avril	0,3688 NS	0,0734 NS	0,0379 NS	139,8	209
Mai	0,6546 xx	0,7933 xxx	0,8381 xxx	184,8	204
Juin	0,3980 NS	0,3434 NS	0,2521 NS	171,0	162
Juillet	0,8219 xxx	0,8493 xxx	0,8154 xxx	98,5	131
Août	0,6291 x	0,3644 NS	0,5099 NS	87,5	98
Septembre	0,4401 NS	0,0814 NS	0,0558 NS	210,6	131
Octobre	0,5822 x	0,3639 NS	0,3414 NS	139,4	167
Novembre	0,2486 NS	0,0035 NS	0,1879 NS	35,4	186
Décembre	0,2447 NS	0,7600 xx	0,1332 NS	5,0	108
Total				1.247,4	2.137

xxx P = 0,001 x P = 0,05 Nombre de couples : n = 15
xx P = 0,01 NS = Non significatif

Tableau XI. — Consommations apparentes des caféiers (CA) et évaporation Bac Colorado (Ev Col) et Piche (EvP) ; moyenne en mm/jour

Périodes	CA mm/jour	Bac Colorado		Piche	
		Ev Col. mm/jour	CA/Ev Col.	Ev P. mm/jour	CA/Ev P.
2 au 20 nov. 1971	2,9	2,02	1,44	1,60	1,81
2 au 15 janv. 1972	2,6	1,87	1,39	1,87	1,39
10 au 22 oct. 1972	3,4	2,71	1,25	1,22	2,79
9 au 23 nov. 1972	3,3	2,41	1,37	1,45	2,28
24 nov. - 9 déc. 1972	3,3	2,20	1,50	1,77	1,86
2 au 15 janv. 1973	4,3	3,19	1,35	3,05	1,41
16 au 24 janv. 1973	5,0	3,86	1,30	4,22	1,18
25 janv. - 12 fév. 1973	5,0	3,44	1,45	3,33	1,50
13 au 25 fév. 1973	5,5	3,44	1,60	3,10	1,77
26 fév. - 10 mars 1973	4,2	3,96	1,06	3,79	1,11
11 au 31 mars 1973	6,2	3,83	1,62	3,37	1,84
20 août - 4 sept. 1973	3,3	2,37	1,39	1,43	2,30
24 nov. - 9 déc. 1973	3,3	2,32	1,42	1,74	1,89
15 au 26 déc. 1973	4,1	2,45	1,67	2,10	1,95
27 déc. - 9 janv. 73/74	3,6	3,07	1,17	2,38	1,51
10 au 23 janv. 1974	3,8	3,46	1,10	3,63	1,05
24 janv. - 1 fév. 1974	5,6	3,92	1,43	3,62	1,55
2 au 13 fév. 1974	5,6	3,40	1,65	3,18	1,76
Totaux	75,0	53,92		46,85	
CA/Ev			1,398		1,719
Déviation standard			0,177		0,445
Coefficient variation (%)			12,7		25,9
Corrélations r		0,8326*		0,7547*	
Droite régression		Y = 1,2648 x + 0,3779		Y = 0,8363 x + 1,9899	

* P = 0,001

trouve sous abri, le place dans un micro-climat confiné qui tamponne les variations de l'énergie radiative, du vent et du pouvoir évaporant de l'atmosphère.

Pour savoir si les mesures du bac Colorado et du Piche permettent d'établir des bilans pour déclencher les irrigations, il ne suffit donc pas de multiplier le rapport CA/Ev Bac Classe A par un coefficient qui serait fonction de la liaison entre Bac Classe A et Bac Colorado ou Bac Classe et Piche. Il faut reprendre toutes les données depuis 1971 et recalculer les bilans :

(Evaporation Bac Colorado en mm \times CA/Ev Col) — Pluies en mm.

(Evaporation Piche en mm \times CA/Ev Piche) — Pluies en mm.

Les rapports CA/Ev pour le bac Colorado et pour le Piche sont obtenus à partir du tableau XI, où figurent les consommations apparentes des caféiers enregistrées pendant les périodes sèches de 1971 à 1974, et les évaporations du bac Colorado et du Piche.

Les corrélations entre consommations apparentes des caféiers et les mesures de l'évaporation avec le Bac Colorado et avec le Piche sont hautement significatives ($P = 0,001$) et les droites de régression sont (graphique 9) :

Bac Colorado :

Consommation apparente $Y = 1,2648 X + 0,3779$

Piche :

Consommation apparente $Y = 0,8363 X + 1,9899$
où X est la mesure de l'évaporation en mm/jour.

Les rapports CA/Ev sont :

Bac Colorado : 1,398 avec une déviation standard de 0,177 et un coefficient de variation de 12,7 %

Piche : 1,719 avec une déviation standard de 0,445 et un coefficient de variation de 25,9 %.

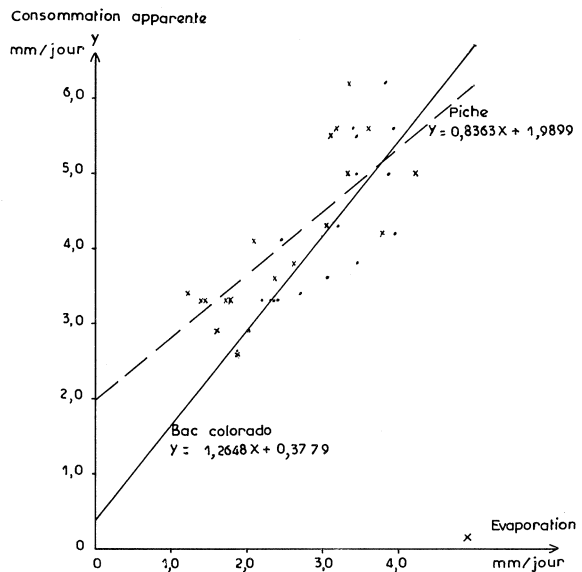
La relation avec le Piche est moins bonne qu'avec le bac Colorado. Par contre, celui-ci est aussi bon que le bac Classe A, qui avait aussi un coefficient de variation de 12,7 %.

Le **bac Colorado** donne donc également une **évaluation très acceptable de la consommation apparente des caféiers** et permet de savoir à quel moment il faut déclencher les irrigations, en calculant le bilan hydrique.

[Evaporation bac Colorado (mm) \times 1,2] — Pluies (mm) = Déficit hydrique

Le tableau XII (p. 474) et le graphique 8 montrent que 1,2 est la valeur du rapport CA/Ev Col qui donne les plus petits écarts par rapport à l'irrigation avec les tensiomètres. Cet écart n'est jamais supérieur à ± 1 arrosage par trimestre, sauf au quatrième trimestre 1976.

Il n'en va pas de même pour les calculs des bilans à partir de l'évaporomètre de Piche. Le rapport CA/Ev P de 1,6 est celui qui donne les moindres écarts, mais il apparaît que cet appareil surestime les besoins en eau au cours des trimestres secs (trimestre 1 et 4) et sous-estime les besoins pendant les périodes pluvieuses. Jadin et Chauchard avaient trouvé un coefficient de 1,44 pour le cacaoyer au cours des périodes sèches à Divo. Il semble donc qu'il est préférable de moduler le coefficient suivant les saisons. En effet, le tableau XII



Graph. 9. — Relations entre consommation apparente des caféiers et évaporation bac Colorado (...), évaporation Piche (xx)

et le graphique 8 montrent qu'il y a très bonne concordance entre les apports d'eau déterminés par tensiométrie et par le Piche, si on emploie un coefficient pour le rapport CA/Ev P de 1,5 pendant les mois secs de novembre à mars et de 2,0 d'avril à octobre inclus. Le mois de mars est compris dans la période sèche, car malgré des pluies parfois assez abondantes, le pouvoir évaporant de l'air reste très grand à cause des vents d'harmattan qui sévissent encore pendant cette période.

En réalité, la relation avec le Piche serait sans doute meilleure si on modulait le coefficient suivant la valeur de l'évaporation du Piche. Il faudrait appliquer le coefficient 1,5 pour des évaporations journalières supérieures à 2 mm et le coefficient 2,0 pour les évaporations inférieures. Mais ceci complique les calculs et le bilan simplifié paraît très acceptable. On peut donc déclencher les irrigations à partir des mesures du Piche, en faisant :

[Evaporation Piche (mm) \times 1,5/2,0] — Pluies (mm) = Déficit hydrique.

Pour les sols alluvionnaires de Tombokro, les irrigations seront faites lorsque le déficit hydrique atteint 50 mm.

On aurait peut-être un meilleur ajustement avec le Piche s'il n'était pas placé dans l'abri, mais à l'ombre avec sa partie inférieure, portant la rondelle de papier buvard, à l'air libre.

Tableau XII. — Comparaison des apports en eau : Tensiomètres. Bac Colorado et tensiomètres. Piche. mm = quantités d'eau apportées par trimestre ; N = nombre d'irrigations par trimestre

Trimestres	Tensiomètres		Bac Colorado Coefficients CA/Ev Col.						Évaporomètre de Piche Coefficients CA/Ev P.						
			1,3		1,2		1,1		1,7		1,6		1,5/2,0		
			mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	
1971	2	80	2	150	3	150	3	100	2	100	2	100	2	100	2
	3	38	1	100	2	50	1	50	1	0	0	0	0	0	0
	4	150	3	100	2	100	2	100	2	100	2	100	2	100	2
Totaux		268	6	350	7	300	6	250	5	200	4	200	4	200	4
1972	1	131	3	150	3	150	3	100	2	150	3	200	4	150	3
	2	30	1	50	1	50	1	0	0	50	1	0	0	50	1
	3	50	1	100	2	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1
	4	200	4	200	4	150	3	150	3	150	3	150	3	150	3
Totaux		411	9	500	10	400	8	300	6	400	8	400	8	400	8
1973	1	300	6	300	6	300	6	250	5	450	9	400	8	350	7
	2	100	2	100	2	100	2	50	1	50	1	50	1	100	2
	3	80	2	50	1	50	1	0	0	0	0	0	0	50	1
	4	150	3	150	3	100	2	100	2	150	3	150	3	100	2
Totaux		630	13	600	12	550	11	400	8	650	13	600	12	600	12
1974	1	250	5	250	5	250	5	200	4	250	5	250	5	250	5
	2	100	2	100	2	50	1	50	1	50	1	0	0	50	1
	3	85	2	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1	100	2
	4	50	1	150	3	100	2	100	2	50	1	50	1	50	1
Totaux		485	10	550	11	450	9	400	8	400	8	350	7	450	9
1975	1	200	4	250	5	250	5	200	4	350	7	350	7	300	6
	2	50	1	50	1	50	1	50	1	100	2	50	1	100	2
	3	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1	50	1
	4	150	3	250	5	200	4	200	4	150	3	150	3	150	3
Totaux		450	9	600	12	550	11	500	10	650	13	600	12	600	12
1976	1	150	3	200	4	200	4	200	4	300	6	200	4	200	4
	2	100	2	100	2	50	1	50	1	0	0	50	1	50	1
	3	100	2	100	2	100	2	100	2	50	1	50	1	100	2
	4	50	1	200	4	150	3	150	3	150	3	150	3	150	3
Totaux		400	8	600	12	500	10	500	10	500	10	450	9	500	10
1977	1	300	6	350	7	350	7	300	6	450	9	400	8	350	7
Totaux		2.944	61	3.550	71	3.100	62	2.650	53	3.250	65	3.000	60	3.100	62
Corrélations r				0,8373		0,8757		0,8476		0,8627		0,8852		0,8915	
Droites		Y = aX + b													
Coefficient a				0,7750		0,7826		0,8432		0,5150		0,5748		0,7288	
Coefficient b				8,0299		21,5870		29,5579		52,9272		50,8100		28,5330	

CONCLUSION

Les études de la consommation apparente en eau des caféiers faites avec l'humidimètre à neutron montrent qu'il existe une bonne concordance entre cette consommation et les mesures de l'évaporation du bac Classe A, du bac Colorado et de l'évaporomètre de Piche. Ce dernier appareil donne cependant un coefficient de variation plus élevé que les deux bacs d'eau libre.

En comparant les irrigations faites par tensiométrie avec les besoins déterminés par les calculs des bilans hydriques, on peut proposer les formules suivantes pour déclencher les irrigations. Pour un déficit hydrique cumulé de 50 mm, on irriguera lorsque :

Bac Classe A : [Évaporation (mm) × 0,9] — Pluies (mm) > 50 mm

Bac Colorado : [Évaporation (mm) × 1,2] — Pluies (mm) > 50 mm

Évaporomètre de Piche : [Évaporation (mm) × 1,5/2,0] — Pluies (mm) > 50 mm.

Il est bien évident cependant que le déficit cumulé, qui conditionne le déclenchement de l'irrigation, variera suivant le type de sol et sa capacité de rétention en eau.

II. Aspects économiques des réponses aux engrais et aux apports d'eau

INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, l'intensité des pluies diminue progressivement du sud vers le nord. Du point de vue des plantes pérennes, la région marginale de culture correspond à la zone de transition entre la forêt dense humide et la savane arborée. Elle est caractérisée par une pluviosité moyenne de 1 100 à 1 400 mm, par un déficit hydrique cumulé de 400 à 500 mm et une durée de la saison sèche de deux à trois mois avec une fréquence de sécheresse supérieure à 4 (la fréquence de sécheresse correspond au nombre d'années sur dix au

cours desquelles il tombe moins de 50 mm de pluie pendant les trois mois consécutifs les plus secs).

Tombokro, qui se trouve à mi-chemin entre Yamoussoukro et Bouaflé, est un site représentatif de la région marginale de la culture du caféier comme le montre le tableau XIII et le graphique 10 (p. 476) représentant la répartition mensuelle des pluies.

D'après Eldin, l'évapotranspiration potentielle annuelle est de 1 574 mm. Le déficit hydrique cumulé serait donc proche de 300 mm.

Tableau XIII. — Moyennes annuelles et répartition mensuelle des pluies (en mm), à Tombokro

	Moyennes annuelles	Mois secs				Fréquences de sécheresse
		Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	
Plantation Tombokro 1963 à 1972	1.271,8	40,9	33,0	17,5	60,2	3/10
Ferme cultures irriguées 1970 à 1975	1.266,2	30,1	17,2	24,3	54,9	6/10

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Essai d'irrigation avec et sans engrais à Tombokro

Lors de la création de la ferme des cultures irriguées gérée par l'IRAT, un essai fut planté en 1971 avec les six clones vulgarisés par l'IFCC et la SATMACI ; il est installé sur des alluvions du Bandama. Le sol est très pauvre en matières organiques (6,60 % de C), en azote (0,658 % de N), en phosphore (0,209 % de P₂O₅ total), en potasse (0,058 meq %) et en magnésie (0,58 meq %). Le pH est élevé : 7,03.

Deux rythmes d'irrigation par aspersion sont comparés à la non irrigation :

— Apports de 50 mm tous les neuf jours, déduction faite des pluies des neuf jours précédents, de manière à

donner environ 166 mm d'eau par mois aux caféiers et à compenser une évapotranspiration moyenne journalière d'environ 5,5 mm (irrigation A).

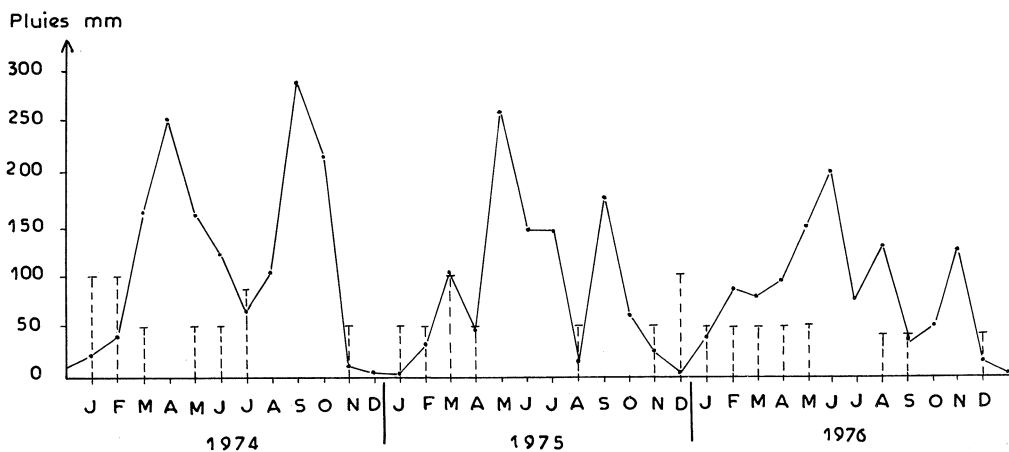
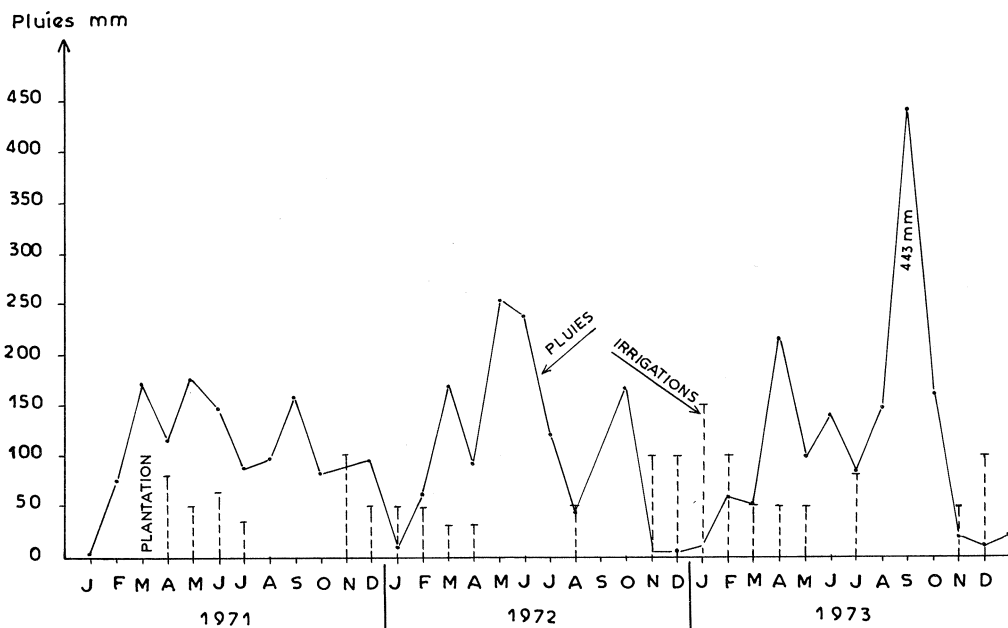
En 1975, ce système a été modifié et les apports sont faits en calculant le bilan hydrique à partir de l'évaporation du bac Classe A. On apporte 50 mm chaque fois que :

[Évaporation bac (mm) × 1,1] — Pluies (mm) > 50 mm

Le coefficient 1,1 est le rapport CA/Ev, soit la consommation apparente du caféier/évaporation bac Classe A.

CA a été déterminé par Ridders, qui a établi des profils hydriques de 1971 à 1974, à l'aide de l'humidimètre à neutron, dans la tranche de sol reposant sur

PLUIES ET IRRIGATIONS MENSUELLES (TENSIOMETRES)



Graph. 10. — Essai d'irrigation avec ou sans engrais. Pluies et irrigations mensuelles (tensiomètres)

Tableau XIV. — Apports annuels d'eau (en mm) et nombres d'irrigations

Années	Pluies mm	Irrigations					
		A - 50 mm/9 jours		A - Classe A		Tensiomètres	
		mm	Nbre	mm	Nbre	mm	Nbre
1971	1.279,8	600	14	-	-	383	9
1972	1.262,9	838	20	-	-	411	9
1973	1.430,0	1.140	24	-	-	630	13
1974	1.447,8	866	21	-	-	485	10
1975	1.018,2	-	-	730	15	450	9
1976	1.077,9	-	-	610	13	370	8
1977	1.178,6	-	-	620	15	380	9

l'horizon gravillonnaire induré qui se trouve à environ 1 m de profondeur. Ridders a obtenu un rapport moyen $CA/Ev = 1,05 \pm 0,15$ pour le caféier cultivé sans plante de couverture.

— Apports de 50 mm lorsque les tensiomètres placés à 25 cm de profondeur arrivent à 50 centibars (irrigation B).

Les apports d'eau pour les deux systèmes d'irrigation figurent dans le tableau XIV et sur le graphique 10.

Il est très net que les tensiomètres permettent une économie en eau très appréciable et l'analyse des récoltes montre que les doses apportées sont suffisantes. Il faut également noter que l'alerte à l'irrigation à partir de l'évaporation du bac Classe A entraîne une diminution du nombre annuel d'arrosages, mais cette diminution n'est peut-être pas encore suffisante. Un coefficient CA/Ev de 0,9 donnerait sans doute de meilleurs résultats.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

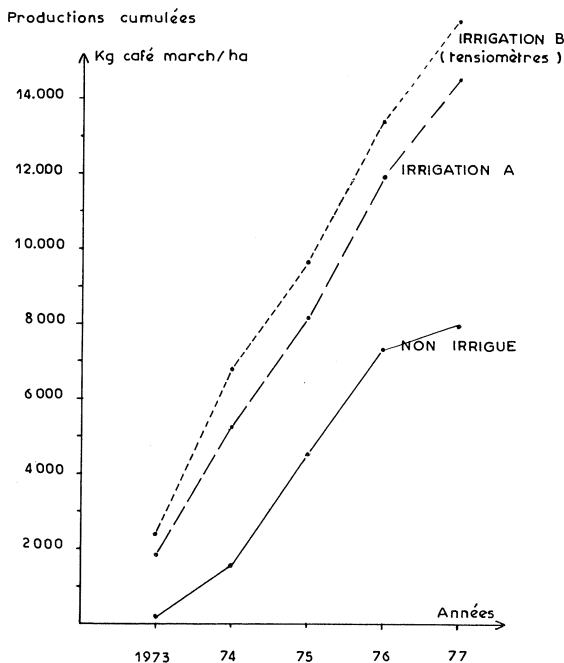
Croissance des caféiers

Des mesures de diamètre au collet ont été faites pour apprécier l'évolution du développement des caféiers. A onze mois, il y a peu de différence entre les deux modes d'irrigation, mais tous deux sont très significativement supérieurs aux caféiers non irrigués :

Irrig. A : 2,10 cm de \varnothing

Irrig. tensiomètres : 2,28 cm de \varnothing

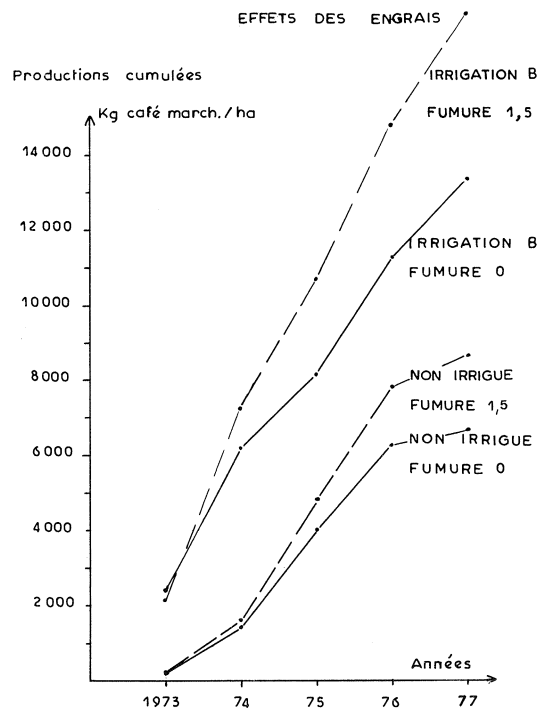
Non irrigués : 1,56 cm de \varnothing



Graph. 11. — Essai d'irrigation. Effets des irrigations

Production des caféiers (graphiques 11 et 12)

Les cinq premières récoltes démontrent l'intérêt de l'irrigation dans les régions à pluviosité marginale et mal répartie (tabl. XV, p. 478).



Graph. 12. — Essai d'irrigation. Effets des engrais

Tableau XV. — Récoltes en kilogrammes de café marchand par hectare

Fumures	Irrigation A 50 mm/9 jours	Irrigation B tensiomètres	Non irrigués
<u>Récolte 1973</u>			
Fo sans	1.818	2.374	218
F1 dose 1	1.814	2.402	240
F2 dose 1,5	2.023	2.169	214
Moyennes	1.885	2.315	224
<u>Récolte 1974</u>			
Fo sans	2.924	3.837	1.248
F1 dose 1	3.634	4.686	1.357
F2 dose 1,5	3.521	5.080	1.353
Moyennes	3.366	4.534	1.319
	<u>Bac Classe A</u>	<u>Tensiomètres</u>	<u>Non irrigués</u>
<u>Récolte 1975</u>			
Fo sans	2.086	1.950	2.540
F1 dose 1	3.332	2.936	3.297
F2 dose 1,5	3.374	3.442	3.169
Moyennes	2.931	2.776	3.002
<u>Récolte 1976</u>			
Fo sans	2.961	3.142	2.282
F1 dose 1	3.735	4.207	3.002
F2 dose 1,5	4.510	4.110	3.136
Moyennes	3.735	3.820	2.807
<u>Récolte 1977</u>			
Fo sans	2.359	2.011	404
F1 dose 1	2.809	2.882	637
F2 dose 1,5	2.618	2.938	766
Moyennes	2.596	2.610	602

RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE

Rentabilité des engrais

Caféiers non irrigués (graphique 13)

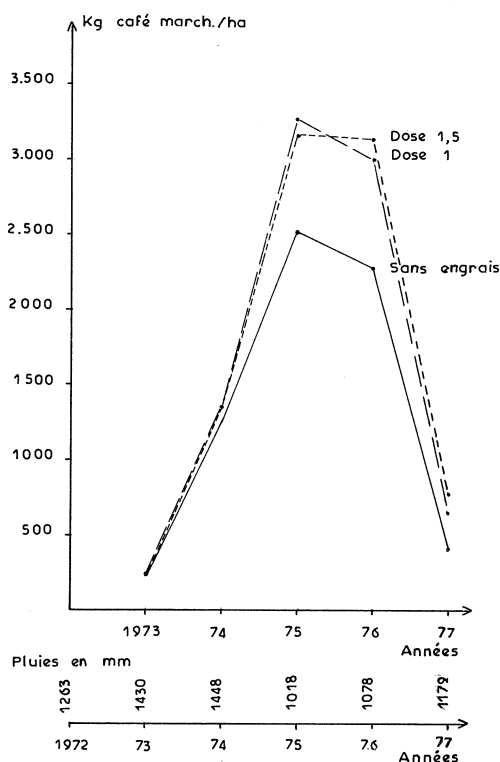
Les productions des cinq premières récoltes sont mentionnées dans le tableau XVI.

La récolte 1973 doit être négligée, car on a épandu des engrais en 1972 sur l'ensemble du champ, bordures et témoins compris.

Ce n'est qu'en 1975 et en 1976 que la fumure a donné une augmentation appréciable de la production grâce à une bonne répartition des pluies en 1973 et en 1974. En 1977, les écarts dus aux engrais sont très faibles.

Tableau XVI. — Productions des cinq premières récoltes, en kg de café marchand/ha

Engrais	1973	1974	1975	1976	1977	Moyennes 1974 à 1977
Sans engrais	218	1.248	2.540	2.282	404	1.618
800 kg/ha	240	1.357	3.297	3.002	637	2.073
1.200 kg/ha	214	1.353	3.169	3.136	766	2.106



Graph. 13. — Production des caféiers non irrigués. Effet des engrais

Pour 1974, l'augmentation de production due aux engrais est négligeable et l'apport de 800 kg/ha d'engrais laisse un déficit de 43 686 FCFA/ha. Mais pour 1975 et pour 1976, la rentabilité des apports d'engrais est certaine. Ce n'est plus le cas pour 1977. Les courbes de réponse sont (graphique 14) :

$$Y_{1975} = -0,001,055 X^2 + 1,79041 X + 2,540$$

$$Y_{1976} = -0,000,471 X^2 + 1,27664 X + 2,282$$

$$Y_{1977} = +0,000,026 X^2 + 0,27042 X + 404$$

Les optimums sont obtenus en égalant la dérivée à $PX/PY-PR$

pour lesquels PX = prix du kg d'engrais (52 FCFA en moyenne)

PY = prix de vente du kg de café marchand (150 FCFA en 1974 et en 1975, 180 FCFA en 1976, 250 FCFA en 1977)

PR = prix de la récolte et de l'usinage du kg de café marchand (environ 50 FCFA/kg café marchand).

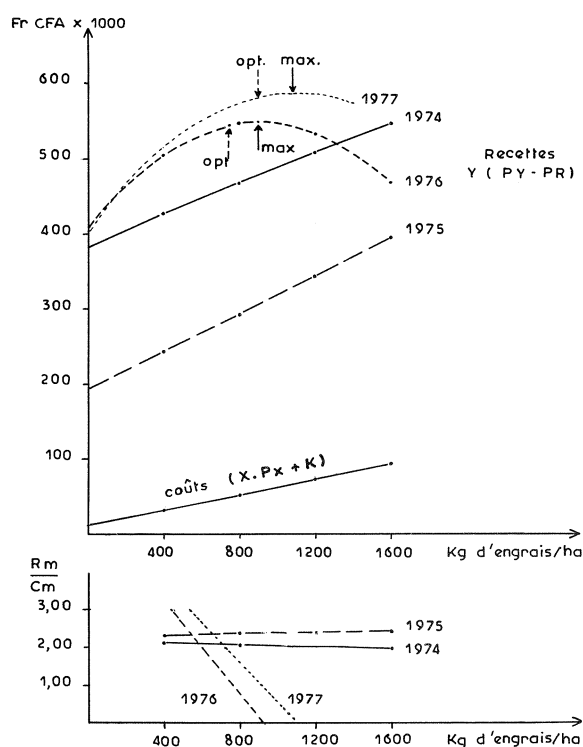
$Y_{opt. 1975}$ = 3 253 kg de café marchand pour 602 kg/ha d'engrais

$Y_{opt. 1976}$ = 3 062 kg de café marchand pour 931 kg/ha d'engrais

$Y_{opt. 1977}$ = 536 kg de café marchand pour 467 kg/ha d'engrais.

A partir de ces optimums, on peut calculer les bénéfices dus aux engrais et les rapports

$$\frac{\text{Recettes marginales}}{\text{Coûts marginaux}}$$



Graph. 14. — Caféiers non irrigués. Réponses économiques aux engrais

Suivant les normes de la FAO, ce rapport Rm/Cm doit être au moins égal à 2 pour que la nouvelle méthode culturale soit vulgarisable. Si ce rapport est inférieur à 2, le bénéfice est insuffisant pour que le paysan comprenne l'intérêt de l'innovation proposée.

Bénéfice dû à l'engrais :

$$\Delta Y \cdot (PY - PR) - \Delta X \cdot PX - K \text{ et}$$

$$\text{et } \frac{\text{Recette marginale}}{\text{Coût marginal}} = \frac{(PY - PR) \cdot \Delta Y}{PX \cdot \Delta X}$$

où : ΔY = supplément de production dû à l'engrais (kg café marchand/ha)

PY = prix de vente du kg de café marchand (150 FCFA en 1974 et en 1975, 180 FCFA en 1976, 250 FCFA en 1977).

PR = prix de la récolte et de l'usinage du café (environ 50 FCFA/kg café marchand).

ΔX = quantité d'engrais apporté.

PX = prix du kg d'engrais épandu (52 FCFA en moyenne).

K = frais fixes (amortissement des engrais apportés avant l'entrée en production des caféiers, sur le premier cycle de récoltes).

Pour cet essai $K = 12\,986$ FCFA/ha/an.

En effet :

Engrais épandus en 1972 : non comptabilisé puisque l'engrais a été épandu sur tous les caféiers, témoins compris.

Engrais épandus en 1973 :

800 kg/ha de 10.18.18, 41 600 FCFA.
quatre journées à 350 F, 1 400 FCFA.

Amortissement sur quatre récoltes (1974 à 1977) et intérêt de 8 % :

$43\ 000\ \text{FCFA} \times 0,302 = 12\ 986\ \text{FCFA/ha/an}$.

On obtient alors les données du tableau XVII et du graphique 14.

Il faut conclure que, dans les conditions de Tombokro et sur caféiers non irrigués, l'engrais est peu rentable et difficilement vulgarisable. Faute de pluie, les éléments minéraux sont très lentement mobilisés et ils ne produisent des bénéfices intéressants qu'en années pluvieuses.

Caféiers irrigués (graphique 15)

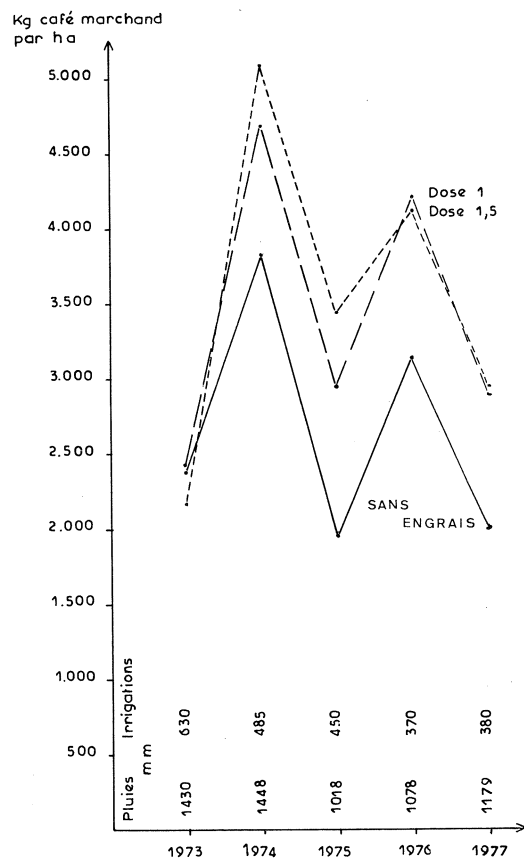
Avec tensiomètres, les cinq premières récoltes ont été celles mentionnées dans le tableau XVIII, en kg café marchand/ha.

L'absence de différence en 1973 entre les traitements sans et avec engrais est due au fait qu'en 1972, pendant le stade de développement végétatif des caféiers, on a épandu du sulfate d'ammoniaque et du phosphore sur l'ensemble du champ, bordures et témoins compris. En 1973, il y a eu un net arrière-effet de l'engrais sur les témoins qui n'ont plus reçu d'engrais cette année-là.

Les calculs de rentabilité doivent tenir compte de l'épandage fait en 1973. L'investissement s'élève à :

800 kg/ha de 10.18.18, soit 43 000 FCFA.

Cet investissement doit être amorti sur le premier cycle de production (quatre récoltes : 1974 à 1977). En comptant 8 % d'intérêts, il revient à : $43\ 000\ \text{FCA} \times 0,302 = 12\ 986\ \text{FCFA}$.



Graph. 15. — Productions des caféiers irrigués avec tensiomètres. Effets des engrais

Tableau XVII. — Rentabilité des apports d'engrais : supplément de production, bénéfices ou déficits (caféiers non irrigués)

	Supplément optimal de production (café marchand kg/ha)	Quantité d'engrais correspondante (kg/ha)	Bénéfices/ha ou Déficit/ha (F CFA)	Rm/Cm
Récolte 1974	109	800	- 43.686	0,26
Récolte 1975	713	602	27.010	2,28
Récolte 1976	780	931	40.002	2,09
Récolte 1977	132	467	- 10.870	1,09
Cumulés 1974 à 1977	1.734	2.800	12.456	

Tableau XVIII. — Production des cinq premières récoltes, avec tensiomètres, en kg café marchand/ha

Engrais	1973	1974	1975	1976	1977	Moyennes 1974 à 1977
Sans engrais	2.374	3.837	1.950	3.142	2.011	2.735
800 kg/ha	2.402	4.686	2.936	4.207	2.882	3.678
1.200 kg/ha	2.169	5.080	3.442	4.110	2.938	3.892

Tableau XIX. — Rentabilité des apports d'engrais : supplément de production, bénéfices ou déficits (caféiers irrigués)

	Supplément optimal de production (café marchand kg/ha)	Quantité d'engrais correspondante (kg/ha)	Bénéfices/ha ou Déficit/ha (F CFA)	Rm/Cm
Récolte 1974	1.243	1.200	48.914	1,99
Récolte 1975	1.492	1.200	73.814	2,39
Récolte 1976	1.050	755	84.254	3,48
Récolte 1977	909	902	121.910	3,87
Cumulés 1974 à 1977	4.694	4.057	328.892	

Les courbes de réponses aux engrais permettent de déterminer les apports optimaux correspondant aux productions les plus rentables (graphique 16).

$$Y_{1974} = -0,000,064 X^2 + 1,112,05 X + 3,837$$

$$Y_{1975} = -0,000,027 X^2 + 1,210,90 X + 1,950$$

$$Y_{1976} = -0,001,311 X^2 + 2,380,37 X + 3,142$$

$$Y_{1977} = -0,000,791 X^2 + 1,721,25 X + 2,011$$

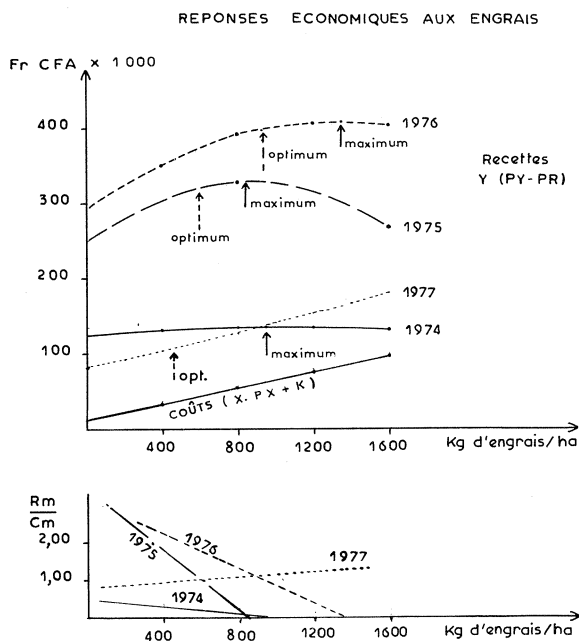
On voit qu'en 1974 et en 1975, les réponses aux doses croissantes d'engrais étaient pratiquement linéaires. On doit donc considérer que la dose de 1 200 kg/ha d'engrais est proche du maximum. Il serait très hasardeux d'extrapoler au-delà de cette valeur.

Pour 1976, l'optimum est obtenu en apportant 755 kg/ha d'engrais. Ce qui donne 4 192 kg/ha de café marchand.

Pour 1977, l'optimum est obtenu pour 902 kg/ha d'engrais et on obtient 2 919 kg/ha de café marchand.

Les bénéfices et les rapports R_m/C_m sont ceux mentionnés dans le tableau XIX et sur le graphique 16).

On peut donc conclure que l'irrigation permet de rentabiliser les engrais et que ceux-ci laissent des bénéfices très importants. Cependant, il faut en déduire les frais dus à l'irrigation.



Graph. 16. — Caféiers irrigués. Réponses économiques aux engrais

Rentabilité de l'irrigation

Récoltes et apports d'eau

Les réponses des caféiers aux apports d'eau et ces mêmes apports figurent dans le tableau XX.

Le graphique 2 représente ces résultats en valeurs cumulées. On constate que l'irrigation déclenchée par les tensiomètres apporte moins d'eau que l'irrigation suivant un rythme pré-déterminé et que la réponse des caféiers est meilleure pour l'irrigation avec tensiomètres. Il semble que le système A apporte trop d'eau et

Tableau XX. — Apports d'eau aux caféiers et production de ceux-ci

	1972	1973	1974	1975	1976	1977
<u>Apports d'eau en mm/an</u>						
Pluies (mm)	1.263	1.430	1.448	1.018	1.078	1.179
Irrigation A	838	1.140	866	730	610	620
Irrigation tensiomètres	411	630	485	450	370	380
<u>Récoltes en kg café marchand/ha</u> (moyennes Fo, Fl, Fl,5)						
Non irrigués	-	224	1.319	3.002	2.807	602
Irrigation A	-	1.885	3.366	2.931	3.735	2.596
Irrigation tensiomètres	-	2.315	4.534	2.776	3.820	2.610

Tableau XXI. — Récoltes 1974, 1975 et 1976, en kilogrammes de café marchand par hectare

Fumures	Irrigation A				Irrigation B - tensiomètres			
	1974	1975*	1976*	Cumulés	1974	1975	1976	Cumulés
Fo sans	2.942	2.086	2.961	7.989	3.837	1.950	3.142	8.929
F1 dose 1	3.634	3.332	3.735	10.701	4.686	2.936	4.207	11.829
F2 dose 1,5	3.521	3.374	4.510	11.405	5.080	3.442	4.110	12.632

* : En 1975 et en 1976, l'irrigation A a été basée sur l'évaporation du bac Classe A et de ce fait les apports d'eau ont diminué par rapport à l'année 1974. C'est pourquoi les réponses aux engrais en 1973 et en 1976 sont assez semblables pour les deux systèmes d'irrigation.

que les éléments minéraux sont en partie lessivés et perdus pour les caféiers. Ceci est particulièrement vrai pour les années 1973 et 1974. En 1975, le système A a été modifié : le déclenchement des arrosages a été basé sur le bilan hydrique calculé à partir de l'évaporation du bac A.

L'excès d'eau diminue également la réponse aux engrais comme le montre le tableau XXI.

Pour le calcul de la rentabilité de l'irrigation, on prendra donc les récoltes de l'irrigation avec tensiomètres puisque ce sont les données les plus favorables, tant du point de vue économie de l'eau que du point de vue réponse à l'irrigation et aux engrais.

Coût du fonctionnement d'un système d'irrigation

Les investissements et les coûts annuels de fonctionnement ont été calculés à partir d'un système d'irrigation installé au CEDAR à Soubré.

Le système peut irriguer 0,75 ha de caféiers par position. La pluviométrie horaire des canons étant de 7 mm, on peut apporter 42 mm d'eau en six heures. En une journée de dix-huit heures, on peut donc irriguer 2,25 ha. En estimant qu'il faut revenir au moins tous les quatorze jours sur la même position, le système peut arroser 2,25 ha x 12 (jours ouvrables) = 27 ha.

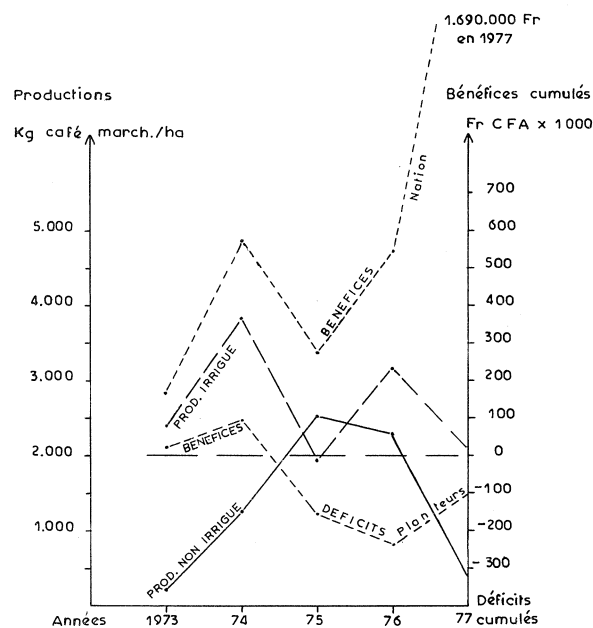
Dans l'essai de Tombokro, avec les tensiomètres, les besoins annuels moyens des caféiers sont de 470 mm, soit 4 700 m³/ha. La moto-pompe débitant 50 m³/h, elle devra fonctionner 4 700/50 = 94 h/ha, soit 2 538 h/an pour 27 ha.

A partir de ces données, on a calculé le coût annuel de cette installation (Snoeck 1977). Ce coût comprend l'amortissement du groupe moto-pompe et du matériel, ainsi que le fonctionnement. Il revient à environ 155 000 FCFA/ha/an.

On peut donc calculer la rentabilité de l'irrigation pour des caféiers ne recevant pas d'engrais, pour des caféiers recevant des engrais et on peut évaluer la rentabilité de la combinaison irrigation + engrais par rapport à la combinaison pas d'irrigation et pas d'engrais.

Rentabilité de l'irrigation sur caféiers sans engrais

Sur caféiers ne recevant pas d'engrais, les récoltes ont donné les résultats du graphique 17 et du tableau XXII (kg de café marchand/ha).



Graph. 17. — Effets de l'irrigation sans engrais

Les bénéfices annuels et les rapports Rm/Cm sont obtenus à partir des formules :

$$\text{Bénéfices} = \Delta Y (PY - Pr) - P \text{ Irr} - K \text{ Irr}$$

$$\text{Rm/Cm} = \Delta Y (PY - PR) / P \text{ Irr}$$

où P Irr est le prix annuel de l'irrigation par hectare (155 000/FCFA et K Irr les frais fixes d'amortissement des irrigations avant l'entrée en production des caféiers.

Pour cet essai, on a commencé les irrigations en 1971, il y a donc les arrosages de 1971 et de 1972 à amortir sur plusieurs cycles de production, soit sur quinze récoltes. Dès lors, par an et en comptant un intérêt de 8 % : $K \text{ Irr} = (155 000 \text{ FCFA} \times 2) / 0,1168 = 36 208 \text{ FCFA/ha/an}$.

Les deux premières récoltes donnent des bénéfices intéressants, parce que les caféiers non irrigués sont plus lents à se développer et à entrer en production. Mais ensuite, les écarts entre les deux traitements sont

Tableau XXII. — Production des caféiers irrigués et ne recevant pas d'engrais (kg café marchand/ha)

	1973	1974	1975	1976	1977	Cumul
Non irrigués	218	1.248	2.540	2.282	404	6.692
Irrigation B - tensiomètres	2.374	3.837	1.950	3.142	2.011	13.314
Gains dus à l'irrigation ΔY	2.156	2.589	-590	860	1.607	6.622
Bénéfices/ha (F CFA)	24.392	67.692			130.192	
Déficits/ha (F CFA)			- 250.208	- 79.408		- 107.340
Rm/Cm	1,39	1,67	-	0,72	2,07	

Tableau XXIII. — Production des caféiers irrigués et recevant des engrais (kg café marchand/ha)

	1973	1974	1975	1976	1977	Cumul
Non irrigués	214	1.353	3.169	3.136	766	8.638
Irrigation B - tensiomètres	2.169	5.080	3.442	4.110	2.938	17.739
Gains dus à l'irrigation ΔY	1.955	3.727	273	974	2.172	9.101
Bénéfices/ha (F CFA)	4.292	181.492			243.192	200.480
Déficits/ha (F CFA)			- 163.908	- 64.588		
Rm/Cm	1,26	2,40	0,18	0,82	2,80	

insuffisants pour rentabiliser l'irrigation. Sans engrais, le sol, qui est assez pauvre, ne peut soutenir des productions élevées et l'irrigation est déficitaire dans les conditions de cet essai.

Rentabilité de l'irrigation sur caféiers recevant des engrais

Sur caféiers recevant 1 200 kg/ha d'engrais, les productions furent celles citées dans le tableau XXIII et représentées par le graphique 18 (kg café marchand/ha).

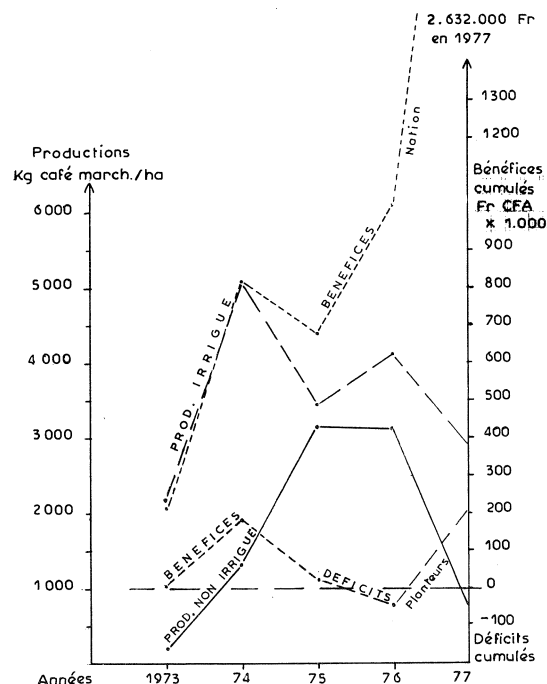
Les bénéfices ou déficits annuels et les rapports Rm/Cm sont calculés comme dans le cas précédent, puisque tous les caféiers reçoivent la même dose d'engrais.

Avec 1 200 kg/ha d'engrais, pour les cinq premières récoltes, l'irrigation est une opération juste bénéficiaire pour le planteur qui ne reçoit que 150 FCFA, 180 FCFA ou 250 FCFA par kg de café marchand.

Dans ce cas aussi, on voit que le gain financier des premières années provient du développement accéléré des caféiers grâce à l'irrigation et aux engrais. En 1977, le gain financier accru provient du meilleur prix d'achat du café au planteur (250 FCFA/kg).

Rentabilité de la caféiculture avec irrigation et avec engrais par rapport à celle non irriguée sans engrais

Les productions des caféiers irrigués avec engrais ou non irrigués sans engrais sont données dans le tableau XXIV et représentées sur le graphique 19 (p. 484).



Graph. 18. — Effets de l'irrigation avec engrais

Tableau XXIV. — Comparaison de la production des caféiers irrigués recevant des engrais avec celle des caféiers non irrigués et ne recevant pas d'engrais (kg café marchand/ha)

	1973	1974	1975	1976	1977	Cumul
Non irrigués sans engrais	218	1.248	2.540	2.282	404	6.692
Irrigation B - tensiomètres 1.200 kg/ha engrais	2.169	5.080	3.442	4.110	2.938	17.739
Gains dus au traitement ΔY	1.951	3.832	902	1.828	2.534	11.047
Bénéfices/ha (F CFA)		118.820			242.420	91.040
Déficits/ha (F CFA)	- 69.280		- 174.180	- 26.740		
Rm/Cm	0,90	1,76	0,41	1,09	2,33	

Les bénéfices annuels découlent de la formule :

$$\Delta Y(PY - PR) - \Delta X \cdot PX - PIrr - KIrr - KEng.$$

$$\frac{R_m}{C_m} = \frac{\Delta Y(PY - PR)}{\Delta X \cdot PX + PIrr}$$

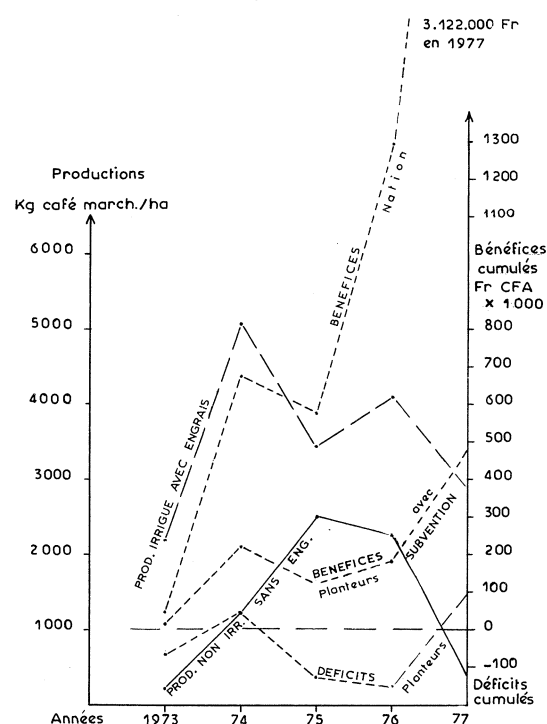
Il faut conclure à la non-rentabilité de l'irrigation pour les premières récoltes dans les conditions écologiques de la ferme de Tombokro. On notera cependant que l'apport d'engrais diminue le déficit dû à l'irrigation.

Cette conclusion est valable à l'échelle du paysan qui recevait en 1973, 1974 et 1975 150 FCFA par kg de café marchand, en 1976 180 FCFA et en 1977 250 FCFA. A l'échelle nationale, les prix du café sont plus élevés et l'irrigation, facteur d'augmentation des productions, devient un investissement intéressant et rentable.

Rentabilité de l'irrigation et des engrais à l'échelle nationale

Si on refait les calculs de rentabilité en se basant sur les prix du café grade 2 supérieur pratiqués en entrepôt nominal au Havre (déduction faite des coûts et frais d'approche qui sont d'environ 35 FCFA) et sur les prix réels des engrais, en incluant les subventions de l'Etat, on obtient les valeurs réunies dans le tableau XXV (p. 486).

On peut conclure que du point de vue national l'augmentation de production due à l'irrigation et aux apports d'engrais est très profitable.



Graph. 19. — Comparaison des caféiers non irrigués sans engrais avec les caféiers irrigués avec engrais

Tableau XXV. — Rentabilité de l'irrigation et des engrais à l'échelle nationale

	1973	1974	1975	1976	1977	Cumu1
PY en F CFA	250-35	320-35	290-35	630-35	915-35	
PY - PR F CFA	165	235	205	545	830	
PX avec subventions	59,51	63,31	62,13	65,00	62,40	
<u>Irrigation sur caféiers sans engrais (graphique 17)</u>						
Gains dus à l'irrigation (kg/ha) : ΔY	2.156	2.589	- 590	860	1.607	6.622
Bénéfices/ha (F CFA)	164.532	417.207		277.492	1.142.602	1.689.675
Déficits/ha (F CFA)			- 312.158			
Rm/Cm	2,30	3,92	-	3,02	8,60	
<u>Irrigation sur caféiers avec 1.200 kg/ha d'engrais (graphique 18)</u>						
Gains dus à l'irrigation (kg/ha) : ΔY	1.955	3.727	273	974	2.172	9.101
Bénéfices/ha (F CFA)	131.367	684.637		339.622	1.611.552	2.631.935
Déficits/ha (F CFA)			- 135.243			
Rm/Cm	2,08	5,65	0,36	3,42	11,63	
<u>Comparaison irrigation + engrais avec non irrigation sans engrais (graphique 19)</u>						
Gains dus à l'irrigation et aux engrais (kg/ha) : ΔY	1.951	3.832	902	1.828	2.534	11.047
Bénéfices/ha (F CFA)	48.523	622.568		716.280	1.826.360	3.122.105
Déficits/ha (F CFA)			- 91.626			
Rm/Cm	1,42	3,90	0,80	4,28	9,15	

DISCUSSION

L'examen des cinq premières récoltes de cet essai permet quelques observations intéressantes :

— En zone marginale, la croissance des caféiers est plus lente qu'en région forestière et l'irrigation accélère le développement des caféiers et leur mise à fruits. La rentabilité de l'irrigation est la plus haute à la deuxième récolte. Il serait peut-être intéressant d'irriguer pendant quatre années, puis d'arrêter les irrigations dès que les caféiers sont bien établis.

— Même sur les alluvions pauvres du Bandama, l'irrigation augmente les productions comparativement à des sites plus fertiles tels que ceux d'Abengourou et de Divo. Les apports d'engrais deviennent rapidement indispensables pour maintenir les hauts niveaux de production. La combinaison irrigation-engrais est plus rentable que celle irrigation sans engrais.

— Pour le caféiculteur qui ne recevait que 150 à 180 FCFA par kg de café marchand, l'irrigation est une opération déficitaire dans les conditions de Tombokro. Cependant, à 250 FCFA par kg, l'irrigation devient très rentable (1 321 900 FCFA de bénéfice en cinq ans).

Elle le serait probablement encore plus dans des régions plus marginales situées plus au nord, telles que celles de Tiébissou, Sakassou ou Béoumi, car dans ces régions, sans irrigation, la production des caféiers est presque nulle et avec irrigation, elle peut atteindre des niveaux aussi élevés qu'à Tombokro.

— A l'échelle nationale, l'irrigation est un investissement très rentable. Dès lors, on pourrait concevoir une participation de l'Etat pour installer le système d'irrigation chez le paysan. Celui-ci n'aurait plus qu'à supporter le fonctionnement annuel sans comptabiliser l'amortissement de l'installation. Dans ces conditions, le coût annuel serait de 108 000 FCFA par hectare, $K \text{ Irr.} = (2 \times 108\,000 \text{ FCFA}) \times 0,1168 = 25\,230 \text{ FCFA}$ et les bénéfices deviendraient ceux mentionnés dans le tableau XXVI.

On voit d'après le tableau XXVI que les recettes sur le cycle de cinq années sont bonnes, surtout au prix d'achat actuel au planteur, et que l'Etat serait largement remboursé par les exportations accrues.

Tableau XXVI. — Gains de production, bénéfiques et déficits dus à l'irrigation et aux engrais

	1973	1974	1975	1976	1977	Cumul
Gains dus à l'irrigation et aux engrais (kg/ha)	1.951	3.832	902	1.828	2.534	11.047
Prix au producteur (F CFA)	150	150	150	180	250	-
Bénéfices/ha (F CFA)	13.928	202.028		56.468	300.398	481.850
Déficits/ha (F CFA)			- 90.972			
Rm/Cm	1,14	2,25	0,53	1,39	4,69	

CONCLUSION

L'étude de cet essai montre que l'irrigation est un outil précieux pour le chercheur et pour le paysan.

Pour le paysan, parce que l'irrigation assure des productions élevées dans des zones à pluviosité marginale. Il reste cependant à déterminer les doses les plus économiques et l'intérêt éventuel de n'apporter l'eau que pendant les trois premières années d'installation de la plantation, puisque les plus fortes réponses sont enregistrées sur les deux premières récoltes. La possibilité de n'irriguer que pour soutenir la floraison doit aussi être envisagée du point de vue économique.

Pour le physiologiste, l'irrigation permet des études utiles sur les rythmes de croissance, d'induction florale, de dormance, sur la nécessité d'une période de repos ou d'une période sèche, sur l'économie en eau du végétal.

Pour tenter de résoudre certains de ces problèmes, de nouveaux essais ont été plantés à la Station Centrale de l'IFCC à Divo sur *Coffea canephora* et à la ferme du CEDAR, gérée par la SATMACI, sur caféier Arabusta.

BIBLIOGRAPHIE

1. F. DUPRÉ, P. JADIN. — Détermination des doses et fréquences d'irrigation. IFCC, Bingerville, mai 1972.
2. M. EL DIN. — Le climat. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, ORSTOM, Mémoires n° 50, 1971, p. 73-108.
3. P. JADIN, A. CHAUCHARD. — Alimentation hydrique des jeunes cacaoyers, influence de l'irrigation. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 20, n° 3, juil.-sept. 1976 p. 173-200.
4. J. RIDDERS. — Rapports Ferme des Cultures Irriguées. IRAT, 1971, 1972, 1973, 1974.
5. J. RIDDERS. — Synthèse des résultats obtenus. Période 1970-1973. IRAT, mars 1974.
6. J. SNOECK. — Essai d'irrigation du caféier Robusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 21, n° 2, avril-juin 1977, p. 111-128.

Remerciements : Je remercie mon collègue, P. de la Vayssière, agro-économiste au Centre de Recherches de l'IFCC à Bingerville, pour ses critiques utiles et intéressantes. Je remercie également MM. K. Doffangui et G. Coulibaly qui gèrent cet essai avec compétence.

SNOECK (J.). — L'irrigation du caféier Robusta en Côte d'Ivoire. I. Etude de quelques méthodes d'alerte à l'irrigation. II. Aspects économiques des réponses aux engrais et aux apports d'eau. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 463-487, graph., tabl., réf.

I. Comparaison des irrigations déclenchées par le calcul du déficit hydrique par simple soustraction des pluies reçues pendant une période de neuf jours, avec le déficit hydrique du sol déterminé par des tensiomètres.

La première méthode apporte un excès d'eau et les caféiers donnent de moins bonnes productions qu'avec la méthode tensiométrique. En outre, la réponse aux engrais est plus faible par suite du lessivage d'une partie des éléments minéraux.

Comparaison des besoins en eau déterminés par les tensiomètres et par les mesures d'évaporation du bac Classe A, du bac Colorado et de l'évaporomètre de Piche. Le calcul du déficit hydrique est fait suivant la formule générale :

Déficit hydrique = (Evaporation appareil \times CA/Ev) — Pluies supérieures à 3 mm.

CA/Ev représente le rapport entre la consommation apparente des caféiers et l'évaporation de l'appareil de mesure. Les coefficients qui donnent les meilleures relations avec les tensiomètres sont :

Bac Classe A : CA/Ev = 0,9

Bac Colorado : CA/Ev = 1,2

Piche : CA/Ev = 1,5 en saison sèche et 2,0 en saison humide.

Sur les sols argilo-sableux de Tombokro, l'irrigation est déclenchée chaque fois que le déficit cumulé atteint 50 mm.

II. Dans les zones à climat marginal du point de vue hydrique, l'irrigation favorise le développement et la production des caféiers. Les engrais sont mieux et plus rapidement rentabilisés grâce aux apports d'eau.

Les augmentations de productions obtenues en cinq ans, sont en moyennes de 1 324 kg/ha/an de café marchand sans engrais et de 2 209 kg/ha/an de café marchand avec engrais.

Sur le premier cycle de cinq années de production, à l'échelle du planteur qui recevait 130 FCFA par kg de café marchand en 1973 et 250 FCFA en 1977, les déficits sont importants sans engrais et les bénéfices relativement faibles avec engrais (18 000 FCFA/an). Les rapports Recettes marginales/Coûts marginaux (Rm/Cm) sont proches de 1,00, montrant que la vulgarisation de l'irrigation est assez aléatoire.

A l'échelle de l'économie nationale, au prix du marché international, les bénéfices sont très importants et le rapport Rm/Cm devient plus qu'acceptable. Une subvention de l'Etat pour l'achat du matériel d'irrigation permettrait au paysan de faire des bénéfices intéressants et l'Etat serait largement remboursé par les exportations accrues.

Il est probable que l'irrigation serait plus rentable en zones plus déficitaires en eau que celle de Tombokro.

SNOECK (J.). — Irrigation of Robusta coffee in Ivory Coast. I. Study of some warning methods for irrigation. II. Economic aspects of the fertilizer and water supply response. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 463-487, graph., tabl., réf.

I. A comparison of the irrigations started according to the water deficit calculated by a simple subtraction of the rains during a nine day period with those started according to information given by tensiometers is made.

The first method supplies too much water and the yield of the coffee trees is not so good as the one obtained through the second method. Moreover, with the first method, the response to fertilizers is lower because of the leaching of some mineral elements.

A comparison of the water requirements determined by tensiometer on the one hand, and the evaporation estimations by the class A pan, the Colorado pan and the Piche's evaporimeter on the other hand is made.

The water deficit is determined according to the following formula : Water deficit = (Apparatus evaporation \times CA/Ev) — rains above 3 mm.

CA/Ev represents the ratio between : the apparent consumption of the coffee trees and the evaporation of the apparatus used for the measures. The coefficients which give the best relations with the tensiometers are :

Class A pan : CA/Ev = 0,9

Colorado pan : CA/Ev = 1,2

Piche : CA/Ev = 1,5 for dry season and 2,0 for the rainy season.

In the sandy clay soils of Tombokro, irrigation starts when the cumulated water deficit reaches 50 mm.

II. In the regions with a marginal dry climate irrigation promotes the development and the yield of the coffee trees. Fertilizers are quicker and better utilized thanks to irrigation.

The yield increases obtained within five years reach, without fertilizer, an average of 1 324 kg/ha/year of clean coffee, and with fertilizers, an average of 2 209 kg/ha/year.

For the first five year period of production, for the farmer who was paid 130 FCFA per kg of clean coffee in 1973 and 250 FCFA in 1977, profits are negative without fertilizer and low with fertilizer (18 000 FCFA/year). The output/input ratios are around 1,00, which signifies that the extension of irrigation would be hazardous.

To the national economy, at the level of the FOB price, the profits are more important and the output/input ratio becomes most comfortable. If the State subsidizes the buying of irrigation equipment this would be profitable for both the farmer and the State.

It is likely that irrigation would be more profitable in regions with a greater water deficit than the one of the Tombokro region.

L'IRRIGATION PRÉCOCE DU CAFÉIER ARABICA AU CAMEROUN

Méthode moderne de contrôle de l'antracnose des baies (*Colletotrichum coffeanum* Noack *sensu* Hindorf) intégrée aux pratiques culturales Assurance pour une production régulière de haut niveau

R. A. MULLER

Laboratoire de Phytopathologie, IFCC, Montpellier

GÉNÉRALITÉS : OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'étude de l'irrigation précoce du caféier Arabica, qui est présentée ici, a été faite au Cameroun dans le cadre d'un travail de phytopathologie concernant l'antracnose des baies, souvent désignée sous le nom de « Coffee Berry Disease » (C.B.D.) par les auteurs anglophones, et qui est due à un champignon, *Colletotrichum coffeanum* Noack *sensu* Hindorf.

On notera en premier lieu que nous nous sommes attaché avant tout à étudier les phénomènes biologiques déterminés par cette pratique agronomique et que, si nous avons tenté de rester dans des limites techniques acceptables d'application de l'irrigation, nous n'avons pas cherché à définir des normes concernant les méthodes d'apport d'eau, les débits, les puissances nécessaires, etc, toutes choses qui relèvent d'études de génie rural et dépendent des conditions ponctuelles

rencontrées par l'utilisateur éventuel, du fait du climat et du sol ; ces études de génie rural ne doivent en effet être effectuées qu'en deuxième position, après qu'ont été définis des objectifs biologiques, et en fonction de ces objectifs.

On trouvera donc ici l'étude des réactions du caféier Arabica à des apports d'eau de saison sèche et concernant :

— les relations de la plante avec le *Colletotrichum coffeanum* Noack *sensu* Hindorf, agent de l'antracnose des baies ;

— la végétation de la plante considérée en termes de poussées foliaires, et qui est peu dissociable de ses relations avec les agents des rouilles, *Hemileia vastatrix* B. et Br. et *H. coffeicola* Maublanc et Roger.

L'IRRIGATION PRÉCOCE ET L'ANTHRACNOSE DES BAIES

La maladie

On trouve l'antracnose des baies sur les fruits à tous les stades de leur développement, mais ses symptômes typiques ne se rencontrent que sur les fruits verts où l'on peut distinguer deux types de lésions, la forme « scab », pourriture sèche de la pulpe à évolution

lente, et la forme « active », pourriture humide à évolution rapide, beaucoup plus grave, car elle conduit, en fin d'évolution, à la destruction totale de la baie qui devient intégralement noire et vide, les graines étant totalement pourries.

Les pertes dues à cette affection peuvent être très importantes et atteindre jusqu'à 80 % de la production.

L'étude de l'évolution de la maladie au cours de l'année a été effectuée en examinant chaque semaine une population de baies d'effectif connu. Cette étude, poursuivie pendant plusieurs années en différentes localités, nous a conduit à dresser le schéma synthétique de la figure 1. Sur ce schéma, correspondant à une population de baies issue d'une floraison du 1^{er} mars :

— la courbe A donne l'évolution de l'infection exprimée en pourcentages de baies malades par rapport à l'effectif présent lors de chaque observation hebdomadaire ;

— la courbe B donne l'évolution de l'effectif de la population observée.

On constate que l'infection présente trois phases :

— une phase de croissance en début de campagne, d'abord lente, puis rapide, qui se ralentit ensuite pour aboutir à :

— une phase de stabilisation, ou même de régression, du fait de la disparition de baies malades sans apparition de lésions nouvelles sur les baies encore saines ;

— une troisième phase, de recrudescence, au moment de la prématuration et de la maturation.

On constate simultanément que la population de baies évolue dans le sens d'une diminution des effectifs par suite de la chute des baies malades : cette réduction des effectifs est d'abord lente, puis s'accélère, pour s'arrêter ensuite, la courbe devenant presque horizontale.

Il est évident que les pertes constatées à un moment donné sont le résultat de l'infection observée au cours de la période immédiatement précédente. Aussi, pour évaluer, en termes de pertes, la gravité réelle de la maladie caractérisée par un taux d'attaque donnée,

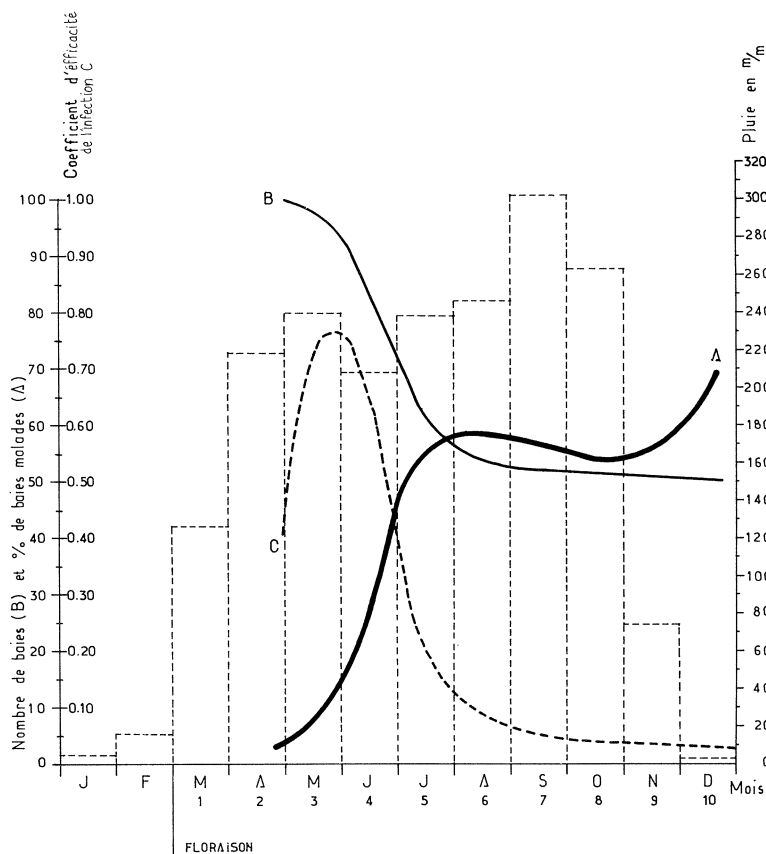


Fig. 1. — Graphique synthétique montrant :

— qualitativement l'évolution de l'infection par l'antrachnose des baies (courbe A) en trois phases : croissance, stabilisation (et même régression) et recrudescence,

— qualitativement l'évolution des pertes dues à l'antrachnose des baies (courbe B) avec une phase aiguë et une phase de stabilisation ou de faible variation des effectifs,

— qualitativement et quantitativement l'évolution du coefficient d'efficacité de l'infection (courbe C), présentant ses plus hautes valeurs durant les stades jeunes des fruits, et se stabilisant à des valeurs faibles à partir du cinquième mois.

avons-nous étudié les corrélations existant entre les taux d'infection constatés à un moment donné et les pertes enregistrées au cours des sept jours suivants.

Les résultats obtenus n'ont de sens qu'en datant chacun des couples de données comme le montre la figure 2 : on remarque en effet que, pendant la première partie de la campagne, les pourcentages de pertes sont directement fonction du taux d'attaques, la proportion de baies détruites pour un taux d'attaques donné étant très élevée, tandis qu'au cours de la seconde partie de la campagne, cette proportion est de plus en plus faible avec le vieillissement des fruits.

Le rapport entre le nombre de baies perdues entre deux observations successives et le nombre de baies malades lors de la première de ces observations est donc, pour la période considérée, indicatif de la sensibilité des fruits : ce rapport, ou « coefficient d'efficacité de l'infection », calculé pour chaque semaine, évolue comme l'indique la courbe C de la figure 1 : il a ses plus hautes valeurs au cours des stades jeunes des fruits, entre la huitième et la seizième semaine de leur développement, puis des valeurs plus faibles qui se stabilisent à des niveaux très bas à partir de la vingt-deuxième semaine de développement du fruit.

C'est la coïncidence des hautes valeurs du coefficient de vulnérabilité du fruit et de conditions climati-

ques favorables au parasite (humidité) qui donne à la maladie toute sa gravité.

Ce coefficient d'efficacité de l'infection des baies a en fait le sens d'indice de sensibilité du fruit à l'agression parasitaire, et doit être considéré comme une caractéristique intrinsèque du fruit, indépendante des éléments extérieurs, pendant les stades de développement du fruit précédant la maturation.

On a pu constater en effet que la période où le coefficient d'efficacité de l'infection a ses plus faibles valeurs coïncide avec la phase de stabilisation de l'infection ; or cette phase de stabilisation de l'infection est non seulement marquée par une période où aucune lésion nouvelle n'est décelable, bien que les conditions climatiques, caractérisées alors par une très forte humidité, soient en principe favorables à une activité parasitaire intense, mais aussi par le fait que les lésions existantes sont bloquées dans leur développement et même régressent par desquamation lente des tissus nécrosés, ce qui est une sorte de phénomène de guérison.

De plus, on constate qu'au moment de la prématuration et de la maturation des fruits, alors qu'on se trouve en saison sèche, donc en période peu favorable à la dissémination des spores et à leur germination, de nouvelles lésions apparaissent.

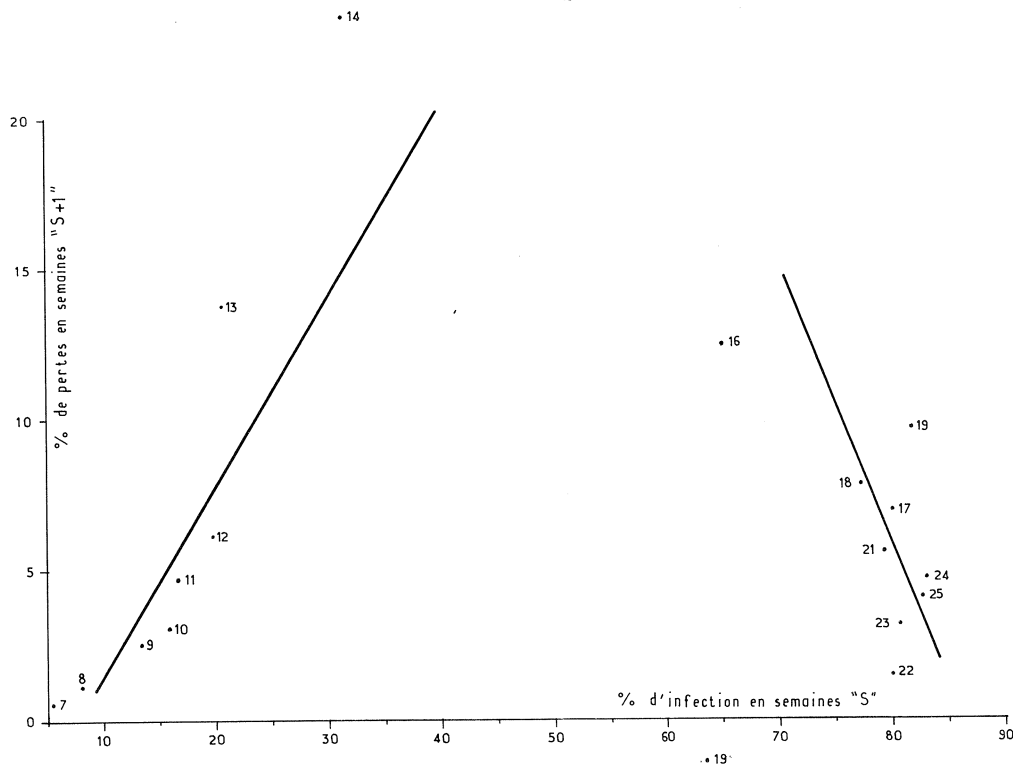


Fig. 2. — Conséquences, sur la production, d'une infection donnée :

- en abscisses : les pourcentages d'infection existant au moment d'une observation effectuée lors de la semaine : « S » ;
- en ordonnées : les pertes constatées entre deux observations successives (S et S + 1).

On note que pendant les premières semaines s'établit une relation directe entre infections et pertes, et une relation indirecte ensuite : les conséquences de l'infection sur les effectifs varient avec l'âge des baies.

Cette triple constatation permet donc de penser :
 — qu'au cours de la phase de stabilisation des taux d'infection marquée par les plus faibles valeurs du coefficient d'efficacité de l'infection, les fruits sont insensibles à l'agression parasitaire, leurs tissus superficiels (épiderme et pulpe) ne se prêtant ni à la pénétration (absence de nouvelle lésion), ni au développement interne du pathogène (blocage et régression des lésions existantes) ;

— que les lésions qui apparaissent tardivement résultent de la pénétration de l'agent pathogène à la fin de la phase de croissance des taux d'infection, mais non suivie d'un développement interne, les tissus du fruit ne se prêtant pas alors à ce développement ; après une période de latence s'étendant sur toute la période

de stabilisation des taux d'infection, le développement du pathogène ne reprendra qu'avec les profondes transformations des tissus du fruit caractérisant la prématurité et la maturation.

Hypothèse de travail conduisant à la pratique de l'irrigation précoce

Cette conception déduite d'un raisonnement logique, demandait à être vérifiée. Aussi avons-nous, pour ce faire, formulé l'hypothèse de travail exposée ci-après et schématisée par la figure 3.

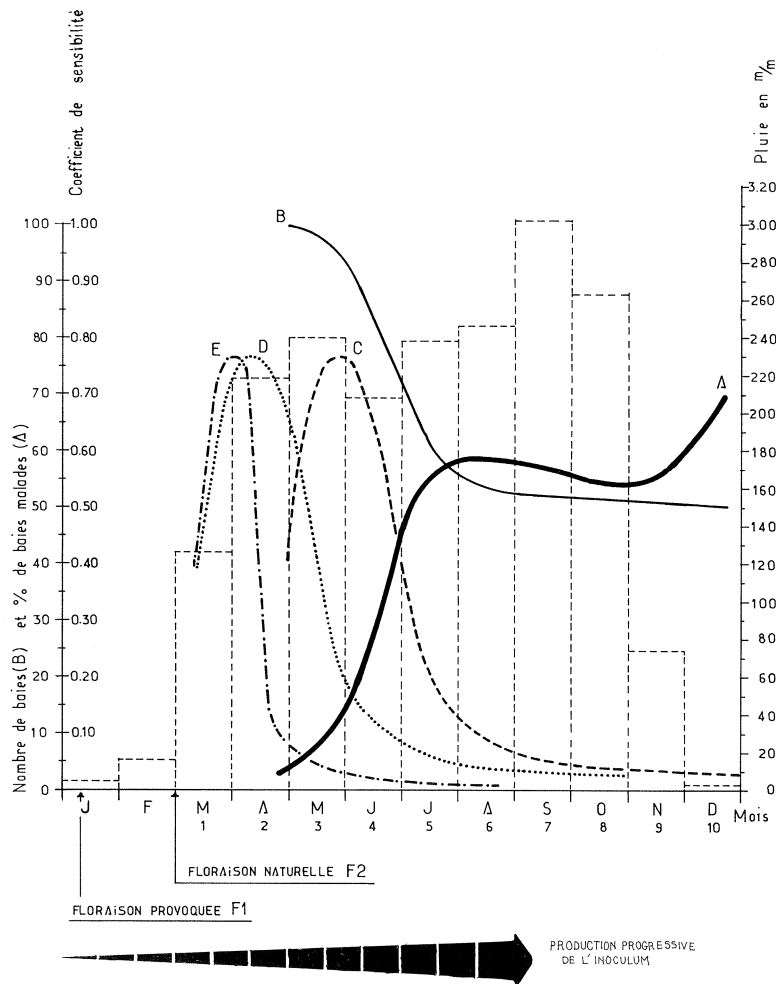


Fig. 3. — Graphique synthétique et hypothétique tendant à montrer :

- la position dans le temps et l'évolution qualitative de l'infection (courbe A), des pertes (courbe B) et du coefficient d'efficacité de l'infection (courbe C), pour une floraison naturelle F2 survenant le 1^{er} mars ;
- pour une floraison précoce F1 provoquée par irrigation

début janvier, la position dans le temps et l'évolution du coefficient d'efficacité de l'infection des baies pour une croissance normale de celles-ci (courbe D) et pour une croissance accélérée (courbe E).

Dans cette figure, on a repris les courbes A, B et C de la figure 1, qui donnent l'image des phénomènes constatés pour une population de baies issues d'une floraison naturelle F2 survenant le 1^{er} mars.

Les boutons floraux qui ont donné naissance à cette floraison F2 ont été formés à la fin de la campagne précédente et sont restés dormants au cours des mois de décembre, janvier et février, dans l'attente d'une première pluie les portant à épanouissement après une dizaine de jours. Il est possible de provoquer artificiellement une floraison plus précoce en effectuant, au cours de la saison sèche, un apport d'eau suffisant.

Si, par l'irrigation, on obtient ainsi une floraison précoce F1, sept ou huit semaines avant F2, et si on assure la croissance des jeunes fruits en saison sèche, grâce à des apports d'eau successifs, on déplace d'autant tout le cycle de développement du fruit, et en particulier la courbe représentant son indice de sensibilité qui va se trouver placée en D ; dans ces conditions, les fruits auront atteint un stade de presque insensibilité lorsque les conditions climatiques assureront au parasite ses possibilités d'intervention et les baies devraient échapper au moins en partie aux attaques : la courbe donnant l'évolution des taux d'infection devrait

toujours être située en position A, car conditionnée par l'humidité, mais elle ne devrait exprimer, quantitativement, que des valeurs faibles.

Cette esquisse devrait être encore plus importante si, pour une même date de floraison précoce F1, on pouvait accélérer la croissance des fruits, réduisant ainsi au maximum la période de sensibilité maximale : le coefficient de sensibilité évoluerait alors selon la courbe E.

Effets de l'irrigation précoce sur l'antracnose des baies

Ces hypothèses ont été vérifiées expérimentalement.

Dans un premier essai comportant deux floraisons précoces obtenues les 26 janvier et 19 février et une floraison naturelle survenue le 11 mars, on a constaté (figure 4) que les populations de baies issues de ces floraisons successives étaient d'autant moins atteintes qu'elles étaient plus précoces. Sans doute pourrait-on reprocher à cette expérience que les différences d'attaques entre les témoins tardifs et les baies les plus

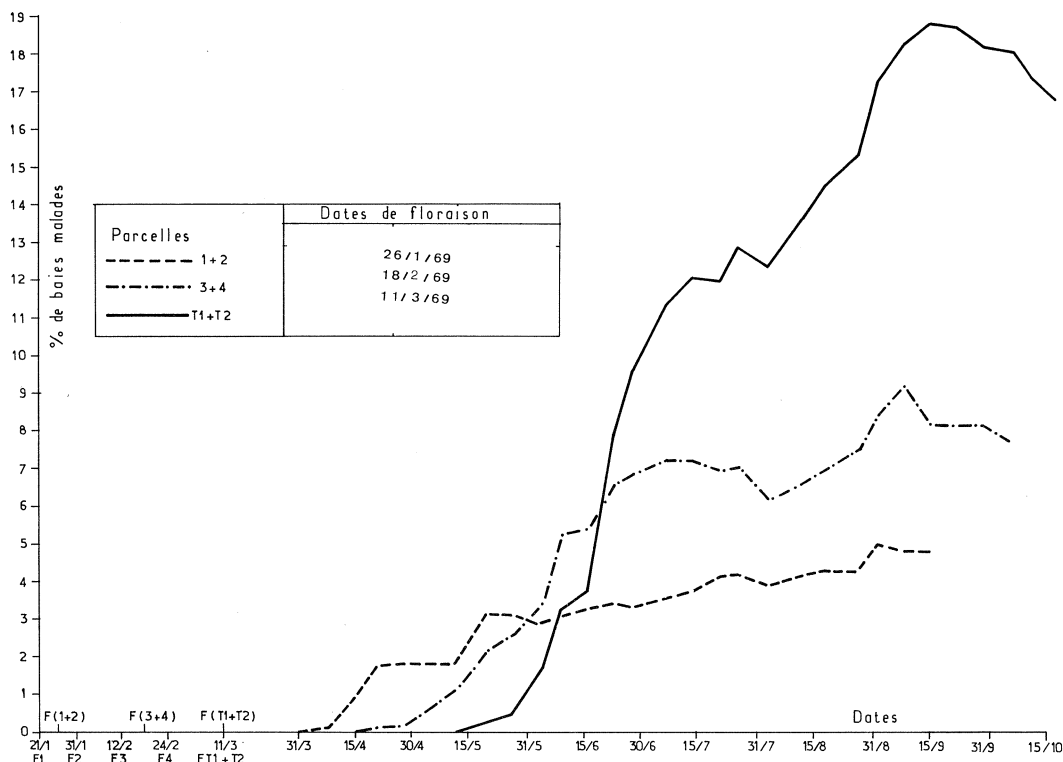


Fig. 4. — Essai de 1969 - Evolution des attaques d'antracnose des baies exprimées en pourcentages de baies malades par rapport à l'effectif de baies existant lors de chaque observation, pour des floraisons survenues à des dates fictives moyennes :

- le 26/1 : parcelles 1 + 2
- le 18/2 : parcelles 3 + 4
- le 11/3 : parcelles T1 + T2

(Données moyennes obtenues après regroupement des parcelles deux à deux).

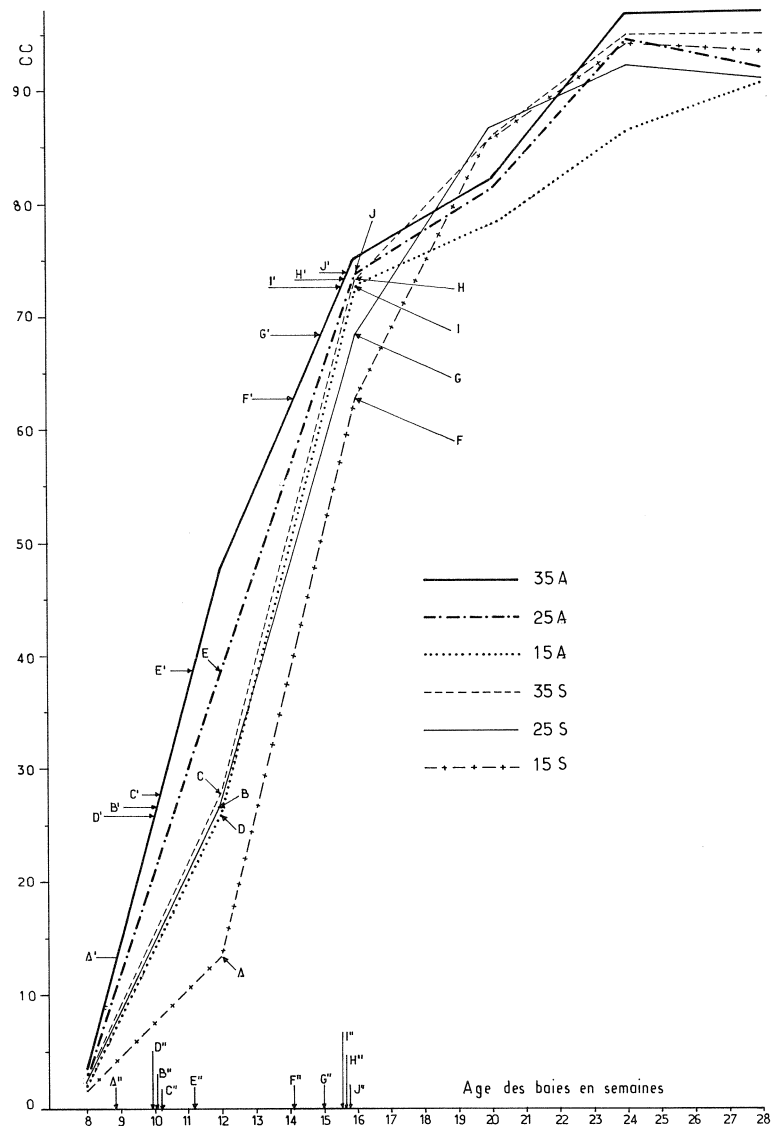


Fig. 5. — Evolution du volume de cent baies exprimé en centimètres cubes et estimation du retard de croissance des baies dans les différents traitements, par rapport à la croissance des baies du traitement le plus favorable (35A).

1. Le volume des baies des traitements 15S, 25S, 35S, 15A, 25A est marqué, sur les courbes correspondant à ces traitements, respectivement aux points A, B, C, D, E, pour la douzième semaine, et aux points F, G, H, I, J, pour la seizième semaine.

2. Les points A', B', C', D', E', F', G', H', I', J' sont la projection, sur la courbe correspondant au traitement 35A, des points A, B, C, D, E, F, G, H, I, J.

3. Les points A'', B'', C'', D'', E'', F'', G'', H'', I'', J'', projections sur l'axe des abscisses des points A', B', C', D', E', F', G', H', I', J', permettent de mesurer le retard, exprimé en semaines, enregistré dans le développement des baies des traitements 15S, 25S, 35S, 15A, 25A, par rapport au développement des baies du traitement 35A. On peut voir que :

• à la douzième semaine :

- les baies 15S (A'') sont au stade où se trouvaient les baies 35A entre la huitième et la neuvième semaine ;
- les baies 25S (B''), 35S (C'') et 15A (D'') sont au stade où se trouvaient les baies 35A à la dixième semaine ;
- les baies 25A (E'') sont au stade où se trouvaient les baies 35A à la onzième semaine ;

• à la seizième semaine :

- les baies 15S (F'') sont au stade où étaient les baies 35A à la quatorzième semaine ;
- les baies 25S (G'') sont au stade où étaient les baies 35A à la quinzième semaine ;
- les baies 35S (H''), 25A (I'') et 15A (J'') sont à un stade très proche de celui des baies 35A.

A = irrigation par aspersion

S = irrigation au sol

35-25-15 équivalents-pluies hebdomadaires moyens en mm

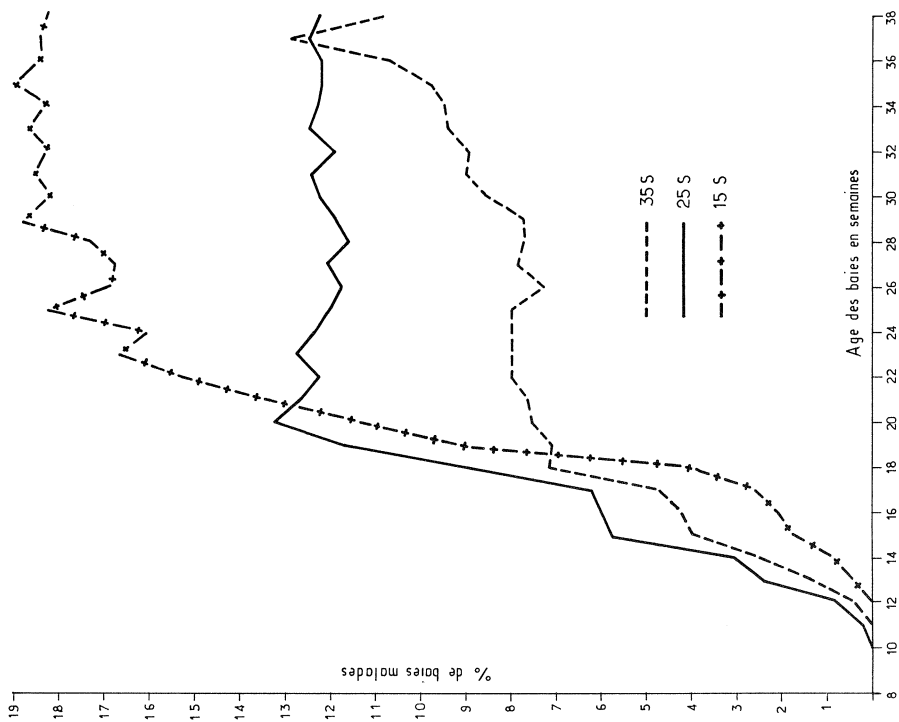
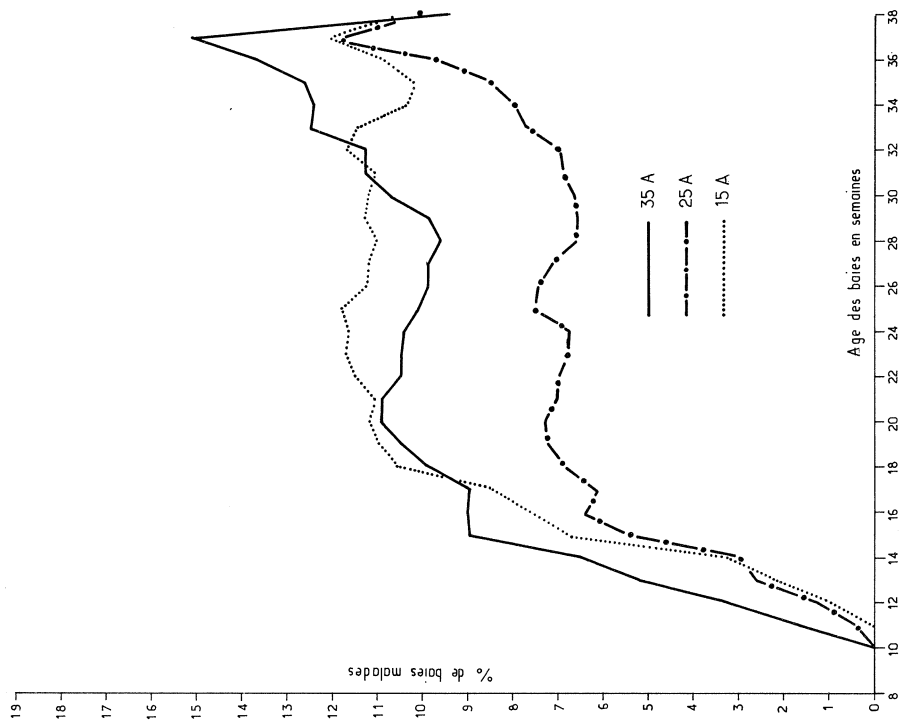


Fig. 6 et 6 bis. — Essai de 1970 — Evolution de l'infection par anthracnose des baies exprimée en pourcentages de baies porteuses du parasite par rapport à l'effectif total de baies existant lors de chaque observation, pour des parcelles irriguées au sol (S) et par aspersion (A) et recevant un équivalent-pluie moyen de 35, 25 ou 15 mm par semaine.

Fig. 6 et 6 bis. — Essai de 1970 — Evolution de l'infection par anthracnose des baies exprimée en pourcentages de baies porteuses du parasite par rapport à l'effectif total de baies existant lors de chaque observation, pour des parcelles irriguées au sol (S) et par aspersion (A) et recevant un équivalent-pluie moyen de 35, 25 ou 15 mm par semaine.

précoces ne sont pas très grandes. Cela est dû à une particularité de l'année, la gravité de la maladie pouvant varier dans de grandes proportions d'une année à l'autre en un même point, ou d'un site à l'autre au cours d'une même année. Ce qui compte surtout ici n'est pas la différence quantitative constatée dans les taux d'infection des trois populations de baies en étude, mais le fait qu'au même moment climatique favorable au parasite, les baies tardives des témoins sont en pleine phase d'infection aiguë alors que les baies les plus précoces sont dans la phase de stabilisation de l'infection.

Dans un autre essai, où l'on a comparé les trois équivalents-pluies hebdomadaires moyens de 35 mm, 25 mm et 15 mm, apportés par aspersion d'une part, et au sol d'autre part, on a pu constater, pour une même date de floraison précoce (figure 5, p. 494) des différences importantes dans la vitesse de développement des fruits : à la douzième semaine après la floraison, le volume de cent baies n'est que de 12 cm³ pour celles qui n'ont reçu que 15 mm par semaine au sol (apports d'eau les moins efficaces) alors qu'il est de 48 cm³ pour celles qui ont reçu les apports d'eau les plus efficaces, soit 35 mm par semaine par aspersion. On constate que la vitesse de développement des fruits est, d'une part, plus rapide avec l'aspersion et, d'autre part, directement fonction des quantités d'eau hebdomadaires moyennes. On constate que les taux d'infection sont inversement proportionnels à cette vitesse de développement.

C'est ainsi que l'on n'atteint que 7 % d'attaque pour un équivalent-pluie de 35 mm par semaine par aspersion, mais 8 %, 12 % et 18 % d'attaques pour 35 mm, 25 mm et 15 mm d'eau par semaine au sol (figure 6, p. 495). Là encore, on peut voir que, pour un même moment climatique, les baies dont le développement est le plus lent sont en phase aiguë d'infection, alors que celles qui ont eu un développement rapide ont atteint la phase de stabilisation de l'infection.

Conclusions

L'irrigation précoce telle que nous l'avons pratiquée a donc permis de démontrer la réalité des variations de sensibilité du fruit au cours de son développement. Mais au plan pratique, elle apparaît comme un moyen de contrôler la maladie grâce à un phénomène d'esquive : alors que dans les conditions naturelles, la gravité de la maladie résulte de la coïncidence des stades les plus sensibles du fruit et de conditions climatiques favorables au parasite, sous irrigation précoce on a un décalage des stades sensibles du fruit par rapport aux conditions favorables au parasite : ce décalage est tel que les baies échappent, en partie au moins, aux attaques.

C'est là le premier intérêt de l'irrigation précoce telle que nous l'avons pratiquée.

L'IRRIGATION PRÉCOCE, LES ROUILLES FOLIAIRES ET LA VÉGÉTATION DU CAFÉIER

Problèmes posés

L'irrigation précoce, dont on vient de voir qu'elle constitue une méthode de contrôle de l'antracnose des baies, n'empêche malheureusement pas complètement l'usage des fongicides. Dans la zone camerounaise de l'étude, on est en effet confronté à deux autres affections cryptogamiques, les rouilles foliaires, dues à *Hemileia vastatrix* et à *H. coffeicola*.

Effets de l'irrigation précoce sur les attaques de rouilles

On a étudié l'importance des attaques de ces rouilles en fonction de la date de la reprise de végétation, c'est-à-dire en fonction de la date du premier apport d'eau naturel (pluies) ou artificiel. Dans un essai on avait ainsi trois dates échelonnées de reprise de végétation provoquée par l'irrigation précoce à partir du 8 janvier et à partir du 2 février d'une part, et les pluies tombées pour la première fois le 16 mars d'autre part. Les taux d'attaques constatés (tableau I, p. 498) sur

Fig. 7a, 7b et 7c. — Evolution structurelle des populations de feuilles avec et sans irrigation (1973).

T : arbustes non irrigués. Premières pluies à partir du 16 mars.

B : arbustes irrigués à partir du 2 février.

A : arbustes irrigués à partir du 8 janvier.

O : pas de traitement chimique.

Cu : traitements cupriques.

D : traitements à l'Orthodifolatan.

Sur chacun des graphiques, la ligne 0 sépare les vieilles feuilles (V.F.) restant de la campagne précédente (zone claire inférieure), qui constituent tout l'appareil foliaire des arbustes au début de l'expérience, et les feuilles fonctionnelles (F.F.), formées à partir de la date du premier apport d'eau (zone foncée supérieure).

Les effectifs sont exprimés en prenant pour unité égale à 100 l'effectif de vieilles feuilles à l'origine chez les témoins.

L'évolution des effectifs de ces deux catégories de feuilles est rendue bien visible par la forme et la surface des zones teintées qui les représentent tout au long de la campagne.

Les lignes verticales minces donnent la proportion de feuilles âgées (F.A.), feuilles jeunes (F.J.) et feuilles nouvelles (F.N.) telles qu'elles ont été comptabilisées sur le terrain et les lignes épaisses la proportion de vieilles feuilles (V.F.) et de feuilles fonctionnelles (F.F.), qui donnent une idée plus exacte de la structure de la population. Les nombres entre parenthèses sont les pourcentages de feuilles atteintes de *Hemileia vastatrix* et *Hemileia coffeicola*.

Tableau I. — Evolution de l'infection (*H. vastatrix* et *H. coffeicola* ensemble) aux mêmes dates pour les différents traitements, exprimée en pourcentages de feuilles porteuses de lésions par rapport à l'effectif en place lors de chaque observation

Dates	T			B			A		
	VF	FF	TF	VF	FF	TF	VF	FF	TF
27/2	--	--	--	--	--	--	2,4	0	1,5
26/3	--	--	--	1,1	0,6	0,9	--	--	--
24/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20/5	0,3	0	0,2	2,4	0	1,3	8,1	1,1	3,5
12/6	2,0	0,4	1,5	7,8	3,2	5,5	13,8	5,9	8,3
10/7	5,2	2,9	4,3	24,1	15,9	19,6	31,7	25,0	26,7
7/8	15,4	6,4	11,4	49,7	29,7	37,5	61,5	44,9	48,4
4/9	30,5	19,1	24,8	67,1	45,5	52,4	82,8	69,4	71,3
3/10	30,9	20,6	26,6	69,3	51,0	55,6	81,7	70,9	71,8
31/10	55,3	32,4	41,0	71,0	53,5	56,4	--	70,0	70,0

T : témoin non irrigué

B : irrigation à partir du 2/2

A : irrigation à partir du 8/1

VF : vieilles feuilles (de la campagne précédente)

FF : feuilles fonctionnelles (de la campagne en cours)

TF : total de feuilles

vieilles feuilles restant de la campagne précédente et sur feuilles fonctionnelles formées pendant la campagne en cours sont beaucoup plus importants avec irrigation que sans irrigation et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce.

L'irrigation précoce a donc une action favorisant sur le développement des rouilles foliaires.

Effets de l'irrigation précoce sur les poussées foliaires

Mais il nous est apparu que les pourcentages de feuilles malades étaient insuffisants pour donner une représentation précise des attaques : ceci est dû, d'une part, à ce que ces pourcentages portent sur des effectifs très différents de vieilles feuilles et de feuilles fonctionnelles et, d'autre part, au fait que ces effectifs évoluent très diversement suivant la date de la reprise de végétation, c'est-à-dire suivant que l'on irrigue ou non, et suivant la précocité du premier apport d'eau.

L'irrigation précoce exerce en effet une action très importante sur les poussées foliaires (figure 7a, p. 497). Cette figure donne une représentation de la dynamique du feuillage pour les arbustes laissés dans les conditions normales (To ayant reçu les pluies le 16 mars) et pour des arbustes ayant subi l'irrigation précoce à partir du 2 février (Bo) et à partir du 8 janvier (Ao).

Sur chacun des graphiques de cette figure, la ligne 0 sépare les vieilles feuilles restant de la campagne précédente (zone claire inférieure) et qui constituent tout l'appareil foliaire de l'arbuste au début de l'expérience, et les feuilles fonctionnelles, formées à partir de la date du premier apport d'eau (zone foncée supérieure).

On constate que chez les témoins, les vieilles feuilles s'éliminent lentement, une proportion importante restant encore en place à la fin d'octobre (42 %), alors que leur disparition est plus rapide chez les arbustes irrigués et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce.

On constate que la formation des feuilles fonctionnelles est plus rapide, d'une part, et beaucoup plus abondante, d'autre part, chez les arbustes irrigués que chez les témoins et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce : pour un effectif de vieilles feuilles égal à 100 au départ, on a une production de feuilles fonctionnelles de 70,5 chez le témoin To, de 84,6 en Bo et de 114,8 en Ao.

Il apparaît ainsi :

— que la masse foliaire des arbustes irrigués précocement est à la fois plus grande et plus jeune, donc plus fonctionnelle, que celle des arbustes laissés dans les conditions naturelles ;

— que l'activité de la masse foliaire doit être plus intense chez les arbustes irrigués précocement, car elle bénéficie, avant la période pluvieuse, d'un fort ensoleillement ; l'activité végétative des arbustes non irrigués coïncide au contraire avec la saison pluvieuse, moins favorable à la photosynthèse.

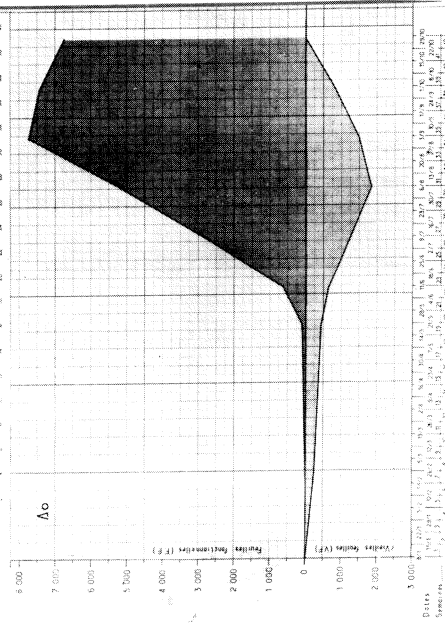
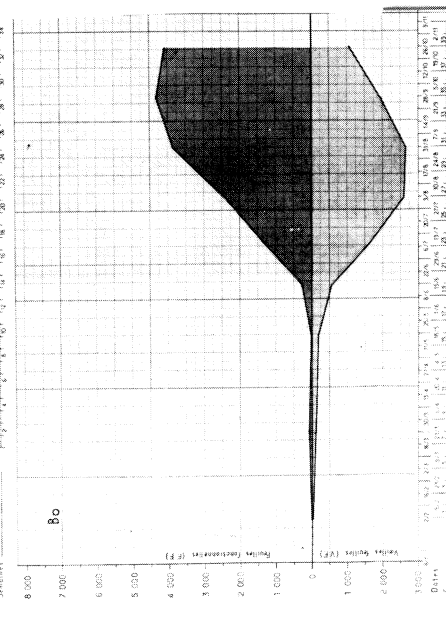
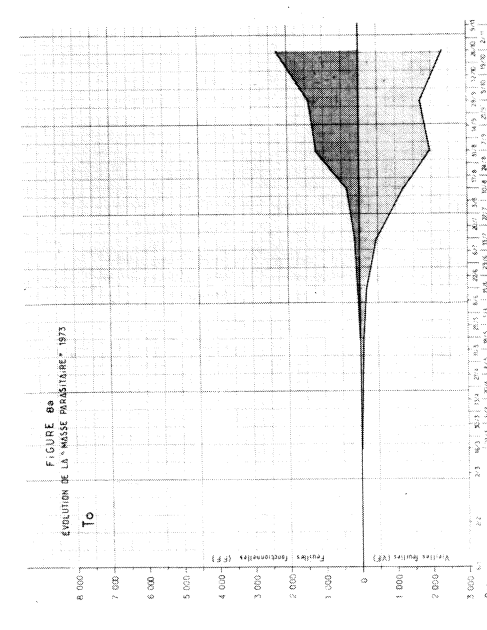
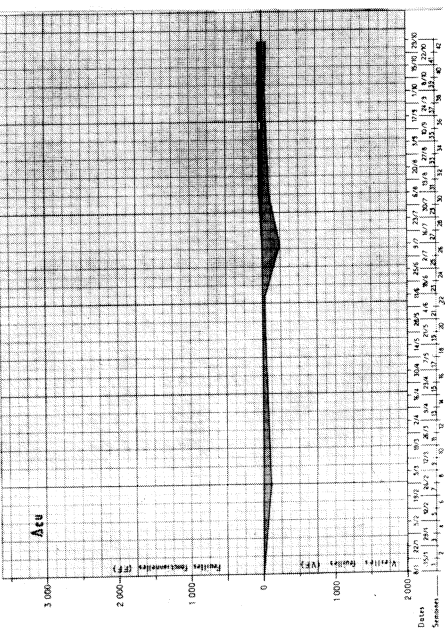
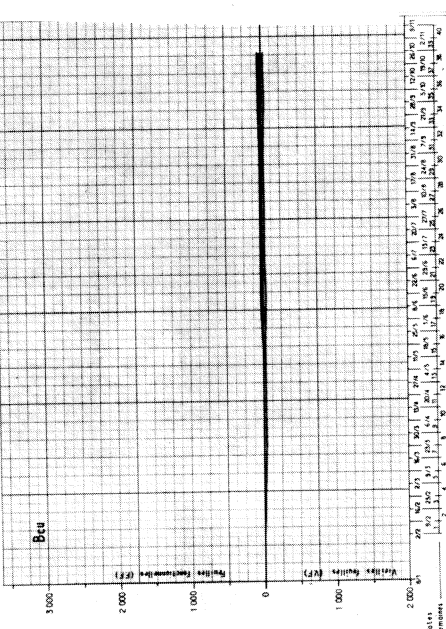
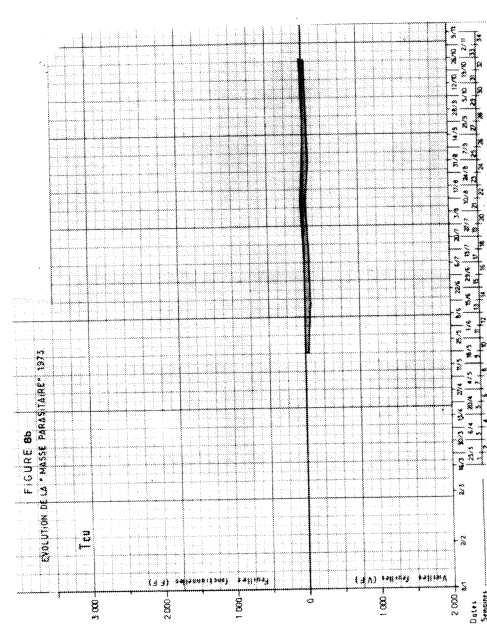
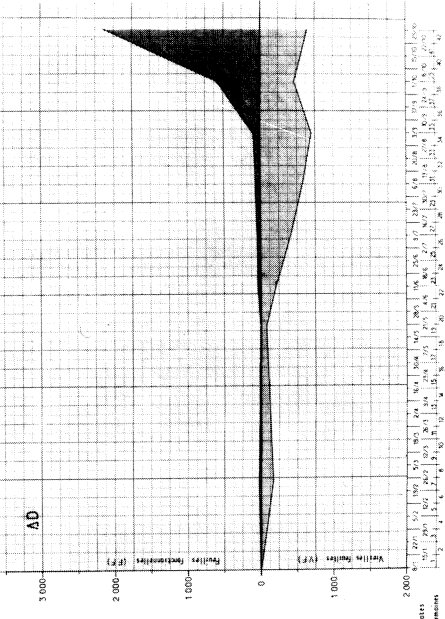
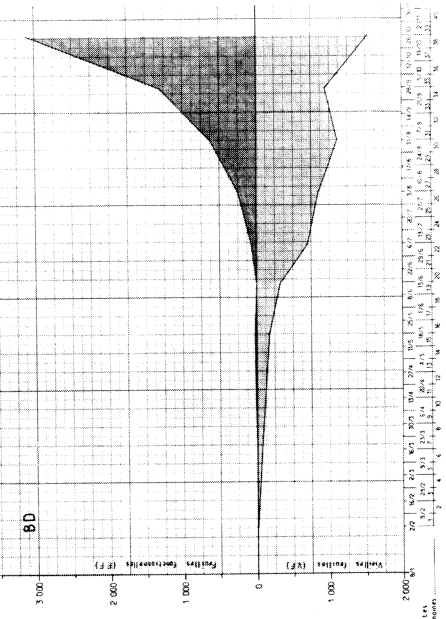
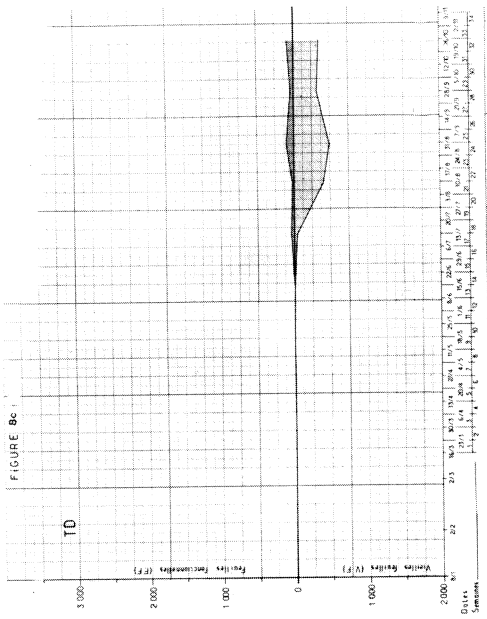
Par conséquent, on peut dire que l'irrigation précoce est un facteur favorable à la végétation de l'arbuste.

Effets de l'irrigation précoce au niveau du couple foliation-attaques des rouilles foliaires

La figure 7a montre malheureusement clairement qu'en fin de campagne, se produit une réduction notable de l'effectif de feuilles fonctionnelles chez les arbustes irrigués précocement et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce : cette réduction est consécutive à un certain vieillissement des feuilles, mais aussi aux attaques des rouilles.

Les modifications du régime hydrique entraînant de profondes différences dans l'évolution du feuillage, il était nécessaire d'avoir un critère d'appréciation des

Fig. 8a, 8b et 8c. — Evolution de la « masse parasitaire », (1973).



attaques de rouilles qui tiennent compte de ces différences et qui permette ainsi une plus juste comparaison entre les intensités des attaques enregistrées sous les différents régimes hydriques.

Nous avons pensé que ce critère pouvait être la « masse parasitaire » (figure 8a, p. 499), produit des taux d'infection par les effectifs de feuilles concernés, ces effectifs étant exprimés en prenant pour unité commune égale à 100, le nombre de vieilles feuilles existant chez les témoins au moment de la reprise de la végétation : il s'agit en quelque sorte d'un pourcentage pondéré de feuilles malades, tous les effectifs, quelle que soit leur évolution, étant mesurés avec la même unité.

Cette représentation montre mieux l'importance réelle des attaques : tandis que les pourcentages d'infection faisaient penser que les attaques des deux *Hemileia* concernaient préférentiellement les vieilles feuilles, l'expression de la masse parasitaire fait ressortir au contraire que ces deux pathogènes affectent une grande masse de feuilles fonctionnelles, ce qui a évidemment plus de conséquences pour l'activité physiologique du feuillage. On constate que la masse parasitaire est plus grande chez les arbustes irrigués et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce.

Complémentaire de la masse parasitaire, la « masse physiologique saine » est intéressante à considérer

(figure 9a) : cette « masse physiologique saine » est le produit des taux de feuilles saines par l'effectif concerné exprimé en prenant comme unité égale à 100, l'effectif de vieilles feuilles existant chez les témoins au moment de la reprise de végétation :

— on constate que, globalement, les tissus foliaires sains sont, de beaucoup, plus abondants chez les arbustes irrigués précocement et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce :

— on constate aussi que ces tissus foliaires sains sont représentés par des tissus jeunes en plus grande proportion chez les arbustes irrigués, et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce ;

— on constate enfin, chez les arbustes irrigués, une réduction brutale de cette masse de tissus jeunes et sains après la vingt-deuxième semaine de végétation, et ce d'autant plus que l'irrigation est plus précoce.

Nécessité et effets des traitements chimiques couplés avec l'irrigation précoce

On en conclura donc que l'irrigation précoce ne peut être pratiquée valablement que si des traitements fongicides sont effectués : si elle a un effet extrême-

Tableau II. — Evolution de l'infection (*H. vastatrix* et *H. coffeicola* ensemble) aux mêmes dates pour les différents traitements, exprimée en pourcentages de feuilles porteuses de lésions par rapport à l'effectif en place lors de chaque observation

Dates	Tcu			Bcu			Acu			TD			BD			AD		
	VF	FF	TF	VF	FF	TF	VF	FF	TF	VF	FF	TF	VF	FF	TF	VF	FF	TF
27/2	--	--	--	--	--	--	1,1	0	0,7	--	--	--	--	--	--	1,6	0,3	1,1
26/3	--	--	--	0,2	0	0,1	--	--	--	--	--	--	0,7	0	0,4	--	--	--
24/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20/5	0,4	0	0,3	0,3	0	0,1	0,3	0	0,1	0	0	0	2,1	0,1	1,1	1,4	0	0,5
12/6	0,9	0	0,6	0,5	0,1	0,3	0,8	0	0,3	0	0	0	4,3	0	1,9	4,2	0,2	1,5
10/7	0,8	0	0,5	0,5	0,1	0,2	4,7	0	0,2	0,2	0,5	0,3	10,4	0,8	4,6	9,2	0,3	2,7
7/8	0,6	0,3	0,5	0,4	0,1	0,2	2,1	0,1	0,7	4,9	0,1	0,3	13,7	2,2	6,3	16,0	0,3	3,8
4/9	1,3	0	0,6	0,2	0,1	0,1	2,0	0,1	0,6	7,5	1,6	4,5	21,9	5,2	10,1	25,2	0,4	4,7
3/10	1,1	0	0,4	0,7	0,3	0,4	1,7	0,3	0,6	5,2	0,5	2,7	21,1	10,9	16,6	19,6	4,4	6,7
31/10	0,7	0,1	0,3	0,6	0,3	0,3	2,8	0,5	0,9	6,4	1,2	3,3	44,5	25,4	29,6	35,6	15,9	18,2

VF : vieilles feuilles (de la campagne précédente)
 FF : feuilles fonctionnelles (de la campagne en cours)
 TF : total des feuilles
 A : irrigation à partir du 8/1

Gu : traitement cuprique (*)
 D : traitement à l'Orthodifolatan

B : irrigation à partir du 2/2 T : témoin non irrigué

(*) On notera que les traitements sont au nombre de 3 dans les parcelles irriguées et au nombre de 7 (pour les cupriques) et de 5 (pour l'Orthodifolatan) dans les parcelles non irriguées.

Fig. 9a, 9b et 9c. — Evolution de la « masse physiologique saine », (1973).

T : arbustes non irrigués. Premières pluies à partir du 16 mars.
 B : arbustes irrigués à partir du 2 février.
 A : arbustes irrigués à partir du 8 janvier.
 O : pas de traitement chimique.
 Cu : traitements cupriques.
 D : traitements à l'Orthodifolatan.

Sur tous les graphiques, la ligne 0 sépare les vieilles feuilles (V.F.) restant de la campagne précédente (zone claire infé-

rieure), et qui constituent tout l'appareil foliaire de l'arbuste au début de l'expérience, et les feuilles fonctionnelles (F.F.), formées à partir de la date du premier apport d'eau (zone foncée supérieure).

Masses parasitaires et masses physiologiques saines ont été calculées sur les effectifs exprimés en prenant pour unité égale à 100 l'effectif de vieilles feuilles existant à l'origine chez les témoins.

Leur évolution est rendue bien visible par la forme et la surface des zones teintées qui les représentent tout au long de la campagne.

FIGURE 9a
EVOLUTION DE LA MASSE PHYSIOLOGIQUE - 1973

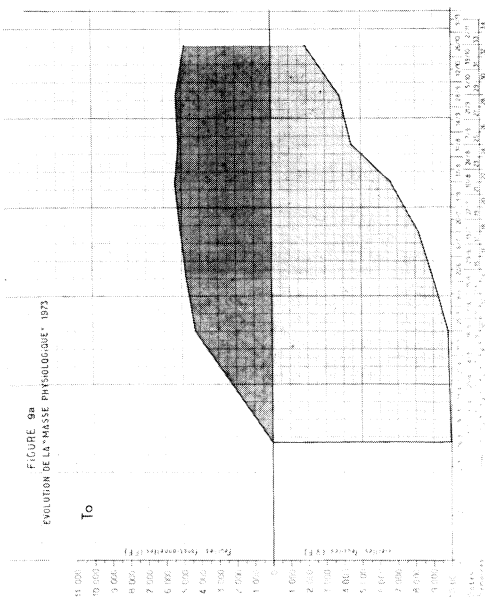


FIGURE 9b
EVOLUTION DE LA MASSE PHYSIOLOGIQUE SAINE - 1973

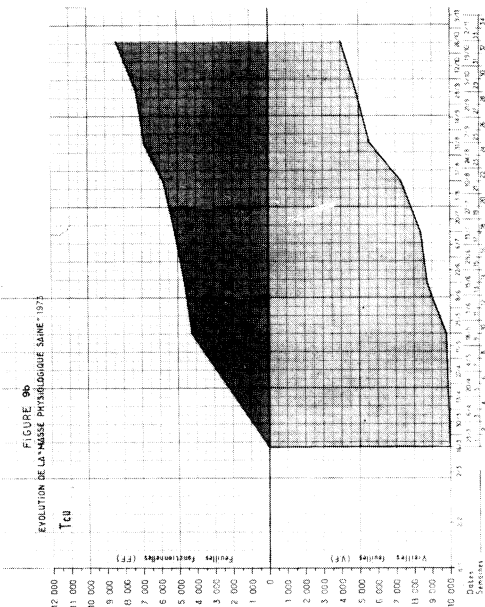
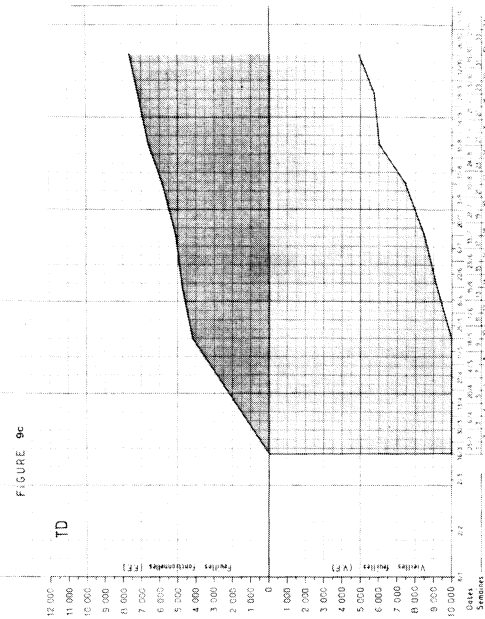
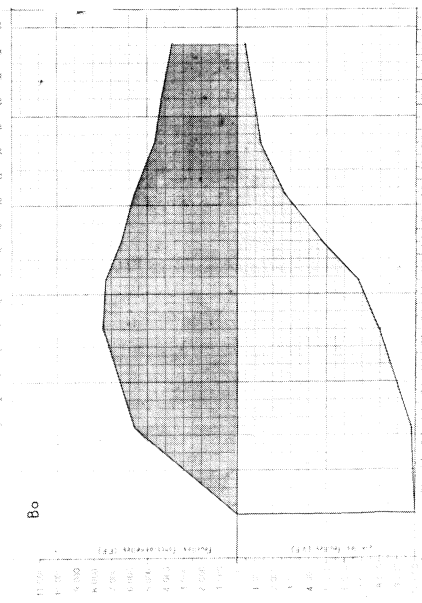


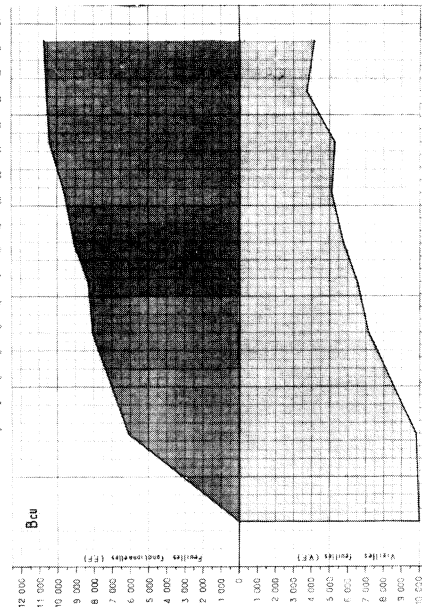
FIGURE 9c



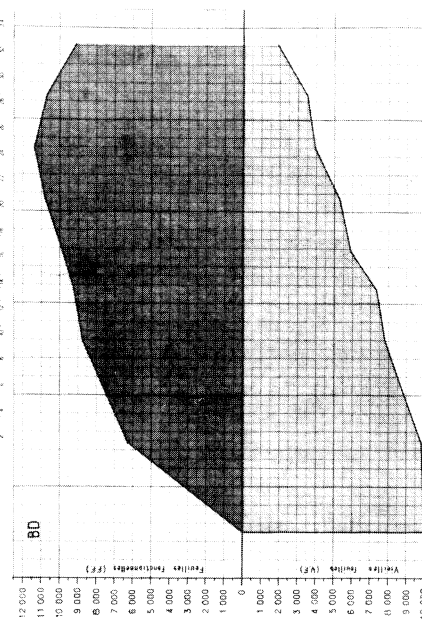
Bo



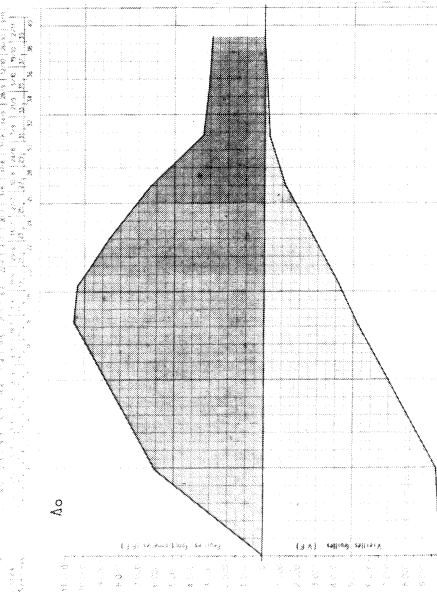
Bcu



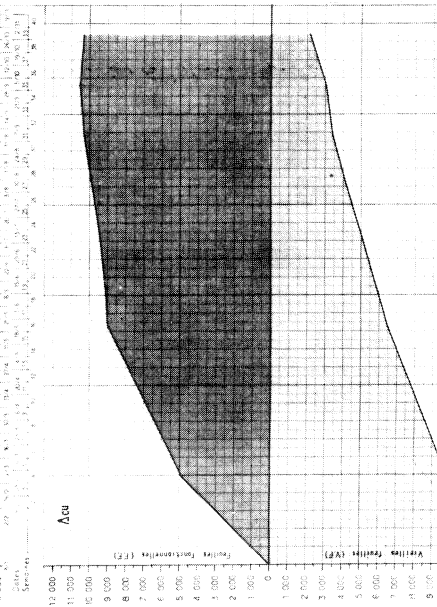
BD



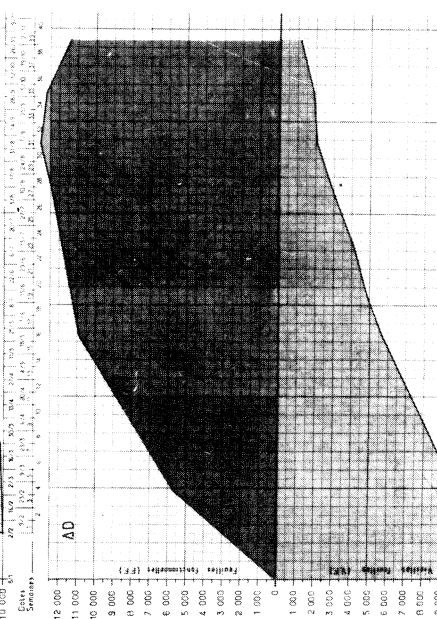
Do



Acu



AD



ment favorable sur la végétation de l'arbuste grâce à son action sur la foliation et par le fait que, plaçant la masse foliaire en période de fort ensoleillement, elle lui assure une activité intense, cet effet bénéfique est compromis par l'effet stimulant qu'elle exerce sur l'activité des deux *Hemileia*.

Nous avons pu montrer que trois applications de fongicides à un mois d'intervalle en début de saison des pluies (avril-mai-juin) suffisent à contrôler les attaques des deux *Hemileia*.

C'est ce que montre le tableau II (p. 500). Malgré un moindre contrôle des *Hemileia*, on a, avec l'Orthodifolatan, un bilan final plus favorable, car ce fongicide exerce un effet apparemment stimulant sur les poussées foliaires, alors que les fongicides cupriques ont, à cet égard, un effet dépressif (figures 7b et 7c, figures 8b et 8c, figures 9b et 9c).

Conclusions

En ce qui concerne l'usage des fongicides, l'irrigation précoce, malgré son action stimulante des attaques des rouilles, permet donc de réduire le nombre des traitements : alors qu'il faut en effet sept à huit traitements cupriques ou cinq traitements à l'Orthodifolatan pour contrôler ensemble l'antracnose des baies et les rouilles, dans les conditions naturelles, il ne faut plus, avec l'irrigation précoce, que trois traitements pour contrôler les rouilles et compléter en même temps le contrôle qu'elle exerce sur l'antracnose des baies.

Ses effets sur l'activité des rouilles une fois compensés par ces traitements chimiques, l'irrigation précoce apparaît, en bonne logique, comme un facteur de productivité, devant permettre à l'arbuste, grâce à une plus grande masse foliaire dont l'activité photosynthétique est plus intense en début de campagne, de mieux supporter sa production et d'éviter l'affaiblissement souvent constaté après récolte.

L'IRRIGATION PRÉCOCE ET LA PRODUCTION

Constatation logique

La dernière conclusion du paragraphe précédent souligne que l'irrigation précoce ne peut être qu'un élément favorable à la productivité. Cette constatation logique a été vérifiée par des données précises qui ont été recueillies et qui concernent la production future et la production de l'année en cours.

L'irrigation précoce et la production future

Nous avons montré plus haut que l'irrigation précoce favorise les poussées foliaires. Cela revient à dire qu'elle favorise la production du bois florifère de la campagne suivante puisque les fleurs se forment, chez le caféier, sur le bois d'un an : nous avons pu constater que le nombre des nœuds florifères était respectivement deux fois et une fois et demi plus grand chez les arbustes irrigués à partir du 8 janvier et du 2 février que chez les témoins.

A ce titre, l'irrigation précoce est **une assurance pour une production future de haut niveau.**

L'irrigation précoce et la production de l'année en cours

Effets de l'irrigation précoce sur la floraison

Nous avons constaté que, sur une période de cinq années, l'irrigation précoce avait permis de sauver deux productions compromises l'une par la sécheresse survenue sur les fleurs amenées au stade chandelle par une pluie insuffisante pour les pousser à épanouissement, et l'autre par une absence de nouaison difficilement explicable : c'est ainsi que nous avons récolté en 1970, 2,200 kg de café marchand par arbuste irrigué précocement contre seulement 220 g chez les témoins, et, en 1973, 2 kg de café marchand par arbuste irrigué précocement contre 400 g chez les témoins.

Sans doute cinq années ne représentent-elles qu'une trop courte période pour mesurer avec précision la fréquence et la gravité des risques qui menacent la floraison. Mais il apparaît, au vu de la succession des productions obtenues en dix ans en plantation, que leur variation ne se traduit pas, comme il est souvent dit,

par une succession régulière de bonnes et de mauvaises récoltes, qui pourrait être le reflet d'une cause intrinsèque (l'affaiblissement consécutif à une forte production entraînant une faible production). L'anarchie qui apparaît au contraire dans cette succession montre plus sûrement que les variations de la production sont consécutives à des causes extrinsèques, et tout particulièrement climatiques. Si les effets défavorables du climat ne se traduisent pas toujours par une destruction presque totale de la floraison comme nous l'avons signalé en 1970, ou par une coulure presque totale des fleurs comme celle de 1973, ils peuvent être plus ou moins marqués, ramener la production à des niveaux médiocres, et être ainsi parmi les facteurs limitants de la productivité moyenne des plantations.

Cette analyse et les résultats spectaculaires obtenus en 1970 et en 1973 font apparaître l'irrigation précoce comme **une assurance pour la production de l'année.**

Effets de l'irrigation précoce sur la tenue des fruits

Le graphique de la figure 10 montre que les pertes physiologiques sont inversement fonction de l'abondance des équivalents-pluies hebdomadaires moyens et du mode d'application de l'eau, l'aspersion apparaissant plus efficace que les apports au sol. Elles sont en effet de :

- 31 à 35 % pour les deux plus forts apports d'eau par aspersion (35 mm et 25 mm par semaine) et le plus fort apport au sol (35 mm par semaine) ;
- 35 à 38 % pour le plus faible apport par aspersion (15 mm par semaine) ;
- 39 à 43 % pour les deux plus faibles apports d'eau au sol (25 et 15 mm par semaine).

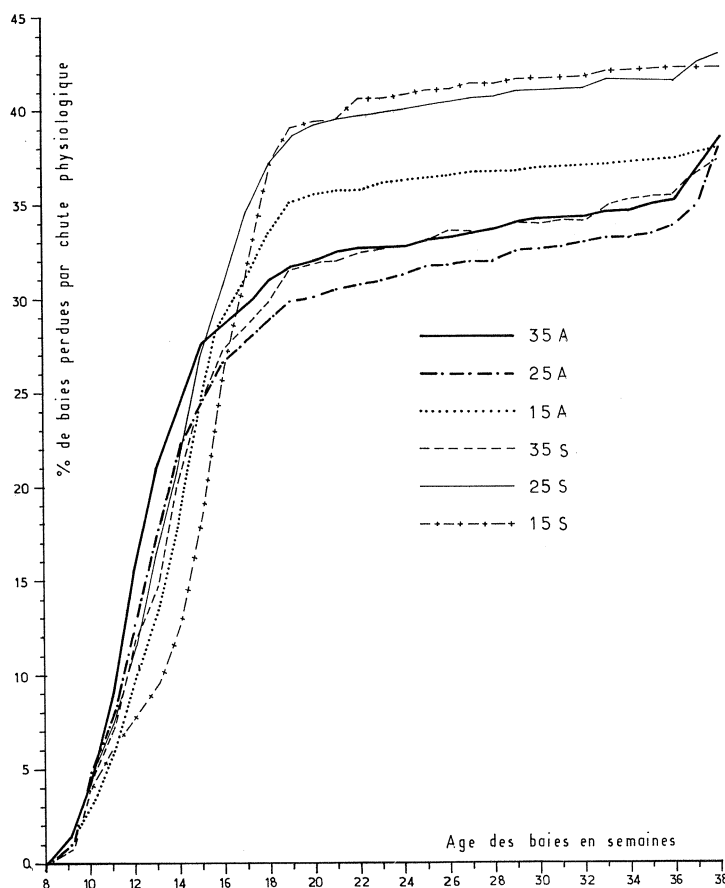


Fig. 10. — Courbes donnant l'évolution des pertes physiologiques (pourcentages cumulés) sous différents modes d'irrigation :

35 A : 35 mm/semaine par aspersion
25 A : 25 mm/semaine par aspersion

15 A : 15 mm/semaine par aspersion
35 S : 35 mm/semaine au sol
25 S : 25 mm/semaine au sol
15 S : 15 mm/semaine au sol

Effets de l'irrigation précoce sur la date de la récolte

L'irrigation précoce avançant la floraison et déplaçant d'autant tout le cycle de fructification, il est naturel qu'elle avance également la maturation. Pour une précocité de sept semaines de la floraison, on a enregistré une maturation plus précoce de quatre à six semaines : la précocité de la floraison se retrouve donc presque intégralement au niveau de la cueillette. A titre d'exemple, on trouvera dans les tableaux III et IV, le calendrier des récoltes de 1970 et de 1973.

La précocité de la récolte due à l'irrigation précoce est un élément pratique important. Il est notable en effet que la main-d'œuvre abondante occupée à la cueillette abandonne progressivement cette tâche pour se consacrer à la préparation des champs vivriers : une partie non négligeable de la production est alors souvent abandonnée ; au contraire, la cueillette du café obtenu par irrigation précoce est menée à terme avant que ne se pose cet impératif, et les pertes par abandon sont nulles.

Tableau III. — Importance des cueillettes exprimées en pourcentages et pourcentages cumulés de la récolte totale (essai de 1970)

Traitements	Dates des cueillettes	1ère cueillette	2ème cueillette	3ème cueillette	4ème cueillette			
		27/10/70	27/11/70	24/12/70	26/01/71	Cumul	Cumul	
35A		31,33	45,12	76,45	17,26	94,71	5,29	100
25A		28,99	45,60	74,59	20,26	94,85	5,15	100
15A		14,46	47,23	61,69	28,81	90,50	9,50	100
35S		12,69	39,68	52,37	35,53	87,90	12,10	100
25S		10,10	42,18	52,28	38,00	90,28	9,72	100
15S		2,21	43,34	45,55	33,35	78,90	21,10	100
Ensemble des témoins		0	9,24	9,24	58,34	67,58	32,42	100

35

25 équivalents-pluies moyens hebdomadaires apportés par irrigation précoce

15

A : apports d'eau par aspersion

S : apports d'eau au sol

Tableau IV. — Importance des cueillettes exprimées en pourcentages et pourcentages cumulés de la récolte totale (essai de 1973)

	Série A (Floraison le 20/01/73)		Série B (Floraison le 12/02/73)		Série T (Floraison le 28/03/73)	
	% du total	Cumul %	% du total	Cumul %	% du total	Cumul %
1ère cueillette (du 6 au 12/11)	52,98	52,98	57,61	57,61	0	0
2ème cueillette (du 5 au 12/12)	39,04	92,02	37,07	94,68	20,42	20,42
3ème cueillette (du 20/12 au 4/1)	7,98	100	5,32	100	79,58 (1)	100 (1)

(1) La faiblesse de la production des témoins soit le 1/5 environ de la production des parcelles irriguées fait que nous avons, lors de la cueillette du 20/12 au 4/1, récolté dans ces parcelles la totalité des baies même non mûres afin d'éviter une nouvelle cueillette coûteuse pour un produit presque nul : lors de cette cueillette la moitié seulement des fruits était mûre, l'autre moitié ne l'aurait été que près d'un mois plus tard.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Méthode de lutte contre l'antracnose des baies intégrée aux pratiques culturales permettant de réduire le nombre des traitements chimiques, assurance pour la production de l'année en cours grâce à ses effets sur la floraison, l'irrigation précoce permet de plus une totale expression du potentiel de production grâce à une intense activité photosynthétique qui assure aux baies une bonne tenue après nouaison ; elle est enfin une assurance pour une production future de haut niveau, en provoquant une abondante formation de bois florifère. Au total elle apparaît comme une assurance pour une production régulière élevée.

Si on considère que l'on a obtenu ces résultats avec seulement 15 mm d'eau en moyenne par semaine par aspersion, en période d'extrême sécheresse atmosphé-

rique diurne, ce qui conduit à dire que le cycle fructifère complet aurait pu se faire avec seulement 600 mm d'eau, on peut émettre l'hypothèse que l'on devrait pouvoir obtenir deux campagnes de production de l'Arabica dans certaines régions sèches où les températures élevées entraîneraient vraisemblablement un raccourcissement de ce cycle ; les expériences relatées ici, en montrant que le caféier convenablement alimenté en eau par le sol a une végétation beaucoup plus brillante en atmosphère sèche qu'en atmosphère humide, remettent en question certaines conceptions classiques et ouvrent peut-être, pour les zones irrigables des pays des régions tropicales sèches, la possibilité de la culture de l'Arabica.

MULLER (R. A.). — L'irrigation précoce du caféier Arabica au Cameroun ; méthode moderne de contrôle de l'antracnose des baies (*Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf) intégrée aux pratiques culturales ; assurance pour une production régulière de haut niveau. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 489-506, fig., tabl.

L'étude de l'antracnose des baies du caféier Arabica, maladie des régions de haute altitude due à *Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf, conduisit l'auteur à montrer que la sensibilité des baies à cette affection est variable au cours de leur développement, la gravité des attaques résultant de la coïncidence des stades jeunes des fruits, les plus sensibles, avec une période pluvieuse favorable à l'activité parasitaire.

Par l'irrigation précoce, la floraison du caféier peut être obtenue en période sèche, six à neuf semaines avant les pluies qui la provoquent dans les conditions naturelles : les stades sensibles des fruits se situant alors en période sèche échappent à l'infection.

En même temps qu'elle provoque la floraison, l'irrigation précoce relance la végétation de l'arbuste et l'activité des deux *Hemileia* (*H. vastatrix* et *H. coffeicola*) qui sporulent abondamment ; un inoculum abondant est ainsi préparé : dès les premières pluies a lieu une très intense poussée infectieuse qui se traduit par des taux d'attaques beaucoup plus élevés que dans les conditions naturelles.

Mais l'irrigation précoce, avant ces attaques massives des rouilles, provoque des poussées végétatives très actives conduisant à la formation d'une masse foliaire deux à trois fois plus importante que dans les conditions naturelles. Cette masse foliaire, à l'abri des attaques pendant la période sèche et très ensoleillée, a une intense activité photosynthétique permettant à l'arbuste de tenir une forte production et de fabriquer des réserves abondantes. En fin de campagne, les attaques de rouilles sont cependant telles que cet effet bénéfique semble compromis. L'irrigation précoce qui rend inutiles cinq à sept traitements chimiques contre l'antracnose

MULLER (R. A.) — Early irrigation of the Arabica coffee tree ; modern method for the control of the coffee berry disease (*Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf) which is integrated to the agricultural techniques ; way to ensure high level regular production. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 489-506, fig., tabl.

The susceptibility of the Arabica coffee tree to the coffee berry disease (*Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf) is variable : the severity of the attacks arises from the coincidence of the early stages of the fruits, which are the most susceptible, with a rainy period favourable to the pathogen.

Early irrigation leads to the flowering of the coffee trees six to nine weeks before the rains ; therefore, the stages of susceptibility of the fruits are located during the dry period and escape the infection.

Early irrigation stimulates the growth of the tree and the sporulation of the two *Hemileia* (*H. vastatrix* and *H. coffeicola*) pathogens of the leaf rusts : as soon as the rains begin, a very heavy infection leads to attack levels much higher than under natural conditions.

Nevertheless, the early irrigation induces, before these intense attacks of the rusts, the formation of a leaf canopy which is twice or thrice more important than under natural conditions. This important canopy, which is safe from attacks during the dry period, has an intense photosynthetic activity. Yet, the rust attacks are so strong that this benefic effect seems finally completely annihilated.

Therefore, the early irrigation, which suppresses five or seven treatments against the coffee berry disease, does not avoid the use of fungicides ; three treatments against the rusts remain necessary.

By multiplying by two or three the foliar flushes, the early irrigation multiplies accordingly the number of nodes on which flowers are to form : this modern method of control of the coffee berry disease, integrated to agricultural techniques, is a way to ensure high level regular production.

des baies n'évite donc pas complètement l'emploi des fongicides : trois traitements contre les rouilles restent nécessaires.

La floraison se faisant sur les nœuds de l'année, les poussées végétatives sous irrigation précoce sont le gage d'une préparation florale, pour la campagne suivante, deux à trois fois plus importante que dans les conditions naturelles.

Il est conclu que l'irrigation précoce, méthode moderne de lutte contre l'antracnose des baies, intégrée aux pratiques culturales est :

— une assurance pour la production en cours en tant que régulateur de la floraison à son niveau maximal ;

— une assurance pour une production à venir de haut niveau.

Son domaine d'application dépasse donc largement les zones à antracnose des baies, d'une part, et l'arabica culture d'autre part.

Elle permet aussi d'envisager l'extension de la caféiculture aux régions tropicales sèches.

It can be applied out of the area concerned with coffee berry disease and not only to Arabica culture. It makes also possible to think about the extension of the coffee culture in dry tropical areas.

BREEDING FOR RESISTANCE TO COFFEE BERRY DISEASE IN KENYA

H. A. M. VAN DER VOSSEN

Coffee Research Station, Ruiru, Kenya

Coffee Berry Disease (CBD), caused by *Colletotrichum coffeanum* Noack (*sensu* Hindorf) is, much more than leaf rust, the major factor limiting Arabica coffee production in Kenya and other countries in Eastern Africa. It can cause crop losses of 50 % and over in years favourable to a severe CBD epidemic, if not controlled by intensive and expensive spray programmes aimed at continuously protecting the developing crop. Breeding for new cultivars resistant to CBD (and leaf rust) is essential :

- (1) to reduce production costs on estates and to save considerable amounts of foreign exchange for fungicides and spraying equipment,
- (2) to stabilize the income of the small-scale coffee farmers for whom disease control is frequently impossible to realize,
- (3) when changing to intensive coffee production by close-spaced planting systems.

Most of the high-quality Arabica coffee grown in Kenya is uniformly susceptible to CBD. Selection for resistance in this material would have been unrewarding due to lack of genetic variability. A breeding programme was started in 1971 at the Coffee Research Station at Ruiru to develop new CBD resistant cultivars by transferring the high degree of CBD resistance found in certain accessions of the available Arabica coffee germ plasm (e.g. Rume Sudan, Híbrido de Timor, Pretoria) to some of the best local cultivars. Resistance to leaf rust and developing of a short and compact plant type well adapted to high density planting form an integral part of the breeding programme, but will here be left out for further discussion.

The major break-through was the successful development of a reliable preselection test by which large numbers of plants can be screened for CBD resistance at a very young stage. The perennial nature of the host and the tremendous between years and between sites variation of CBD incidence in the field makes such a screening test fundamental to efficient breeding.

The preselection test is effected by artificial inoculation of the hypocotyl stem of six-week old seedlings with a pure spore suspension (2×10^6 spores/ml) of the pathogen under strictly controlled conditions of temperatures and humidity. See for details Van der Vossen, Cook and Murakaru (1976). The first disease symptoms (dark lesions on the hypocotyl stem) become noticeable within one week after inoculation, but an incubation period of at least two weeks is required for a full expression of the disease susceptibility. The correlation between the results of this preselection test and mature plant resistance to CBD is very satisfactory ($r = 0.70 - 0.80$).

The preselection test is applied to the segregating populations (multiple- and backcrosses) of the breeding programme and is also used for progeny testing of hybrids selected as progenitors for further breeding or as candidate parents for new clonal cultivars.

This preselection test has also been extremely valuable in studies on the mode of inheritance of resistance to CBD because of the large degree of uniformity of environmental conditions possible in this test and necessary for genetic analysis. From the results of inoculation tests on the progenies of the F_1 , F_2 , F_3 and B_1 of crosses between susceptible and resistant varieties (e.g. SL 28 \times Rume Sudan) and on progenies of an 11×11 half diallel between varieties with different degrees of CBD resistance-susceptibility it appears that the CBD resistance in the very resistant varieties (e.g. Rume Sudan) is mediated by at least two major genes showing incomplete dominance (a recessive gene for resistance appears to be present in the varieties K7 and Blue Mountain which are moderately resistant to CBD). Not until large areas have been planted with new CBD resistant cultivars will we really know whether this type of resistance will be stable. However, so far the resistance found in varieties like Rume Sudan has stood up to artificial inoculations of more than forty pathogenic CBD isolates. These isolates

differed significantly in aggressiveness when tested on susceptible cultivars.

While realising the hazards of oligogenic resistance, efforts are being made to combine this type of resistance to CBD with an escape mechanism, by quick drop of berries immediately after initial infection, discovered in some varieties. The latter mechanism of resistance is obviously of a horizontal nature, but on its own considerable crop loss could be experienced in years of heavy CBD incidence. With the two resistance mechanisms combined in one genotype adequate and permanent protection of the crop against CBD should be guaranteed.

The same preselection test applied to F_1 and first backcross generations of Arabica \times tetraploid Robusta interspecific crosses made in Kenya and applied also to Icatu material, ex Brazil confirmed the presence of major genes in some Robusta clones that confer strong resistance to CBD. Our programme of Arabica \times Robusta interspecific crosses (followed by repeated backcrossing to Arabica cultivars) has thus considerably gained in importance.

The breeding programme produced more than four hundred crosses (single, multiple and backcrosses) all planted after preselection for CBD resistance in selection fields between 1972 and 1975. Early selection within this material based on CBD resistance, field resistance and progeny testing, field resistance to leaf rust, vigour, yield and bean quality resulted in a number of very promising trees. These were used in a programme of more than two hundred backcrosses in 1975-1977 to the best local cultivars and compact types in order to improve on quality and other desirable characteristics. A number of the very best trees were selected as parents for clones (multiplication by rooted cuttings) to be tested in a number of regional trials between 1978 and 1983. The first new CBD (and leaf rust) resistant clonal cultivars with a good yield potential and acceptable bean quality are expected to become available to the coffee growers in Kenya by 1987. Disease resistant clonal cultivars of a compact plant type, well adapted to high density planting in some climatically favourable areas, are expected to become available after 1990. Topworking by grafting on suckers will be an important propagation technique to convert existing plantations into the new disease resistant cultivars.

REFERENCE

H.A.M. VAN DER VOSSSEN, R.T.A. COOK, G.N.W. MURAKARU, 1976. — Breeding for resistance to Coffee Berry Disease caused by *Colletotrichum coffeanum* Noack (*sensu* Hindorf) in *Coffea arabica* L. I. Methods of preselection for resistance. *Euphytica* (Wageningen), 25, p. 733-745.

VAN DER VOSSSEN (H. A. M.). — **Sélection en vue d'améliorer la résistance à l'antracnose des baies du caféier au Kenya.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 507-508, réf.

La maladie de l'antracnose des baies du caféier peut provoquer la perte de 50 % de la production caféière du Kenya, c'est pourquoi il est urgent de sélectionner des cultivars résistant à cette maladie.

Un programme de sélection a débuté en 1971 à la Station de Recherche sur le Café de Ruiru.

Un test de pré-sélection s'est révélé très satisfaisant ($r = 0,70-0,80$). Il a été mis à l'épreuve pour sélectionner des hybrides choisis comme géniteurs ou comme parents clonaux et a été très utile pour l'étude du mode de transmission de la résistance à l'antracnose.

Le programme de sélection a permis d'obtenir quatre cents croisements, tous plantés après pré-sélection pour la résistance à l'antracnose. Les nouveaux cultivars clonaux résistants à l'antracnose des baies et à la rouille des feuilles et ayant une bonne productivité seront disponibles au Kenya en 1987. Des cultivars clonaux de port compact et bien adaptés aux hautes densités de plantation pourront être exploités en 1990.

VAN DER VOSSSEN (H.A.M.). — **Breeding for resistance to Coffee Berry Disease in Kenya.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 507-508, réf.

The Coffee Berry Disease can cause the loss of 50 % of the Kenya coffee production, which makes it an urgent matter to breed cultivars resistant to this disease.

A breeding programme was started in 1971 at the Coffee Research Station at Ruiru.

A preselection test proved to be very satisfactory ($r = 0.70 - 0.80$). Its purpose was to breed hybrids chosen as parents or common clonal parents, and this proved to be very useful for the study of the transmission of resistance to Coffee Berry Disease.

The breeding programme enabled four hundred crosses to be obtained, all planted after pre-selection for resistance to Coffee Berry Disease. The new clonal cultivars, resistant to Coffee Berry Disease and having a good productivity, will be available in Kenya in 1987. Clonal cultivars of compact habit and well-suited to high-density planting will be available in 1990.

THE INFECTION PROCESS OF *HEMILEIA VASTATRIX* IN SUSCEPTIBLE AND RESISTANT CULTIVARS OF *COFFEA ARABICA*

L. RIJO, C. J. RODRIGUES JR

Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro, Oeiras, Portugal

The *C. arabica-H. vastatrix* interactions are mainly characterized by incompatible (hypersensitivity) and compatible (congeniality) phenotypic expressions. In the first case the most common phenotypic expression is the chlorotic fleck (fl) usually associated with a punctiform tumefaction (t). The fleck reaction occurs generally twelve-fifteen days after the inoculation and no spores are formed. In the compatible association rust pustules with uredosporic sori are formed normally twenty-twenty five days after the inoculation.

In order to study the infection process of *H. vastatrix* in susceptible and resistant cultivars of *C. arabica*, inoculations were made with virulent and avirulent rust races on the same host, and microscopic examinations were made at different time intervals on fresh pieces of coffee leaves. The techniques used were the leaf clearing with boiling ethanol and lactophenol, and the cross sectioning with a freezing microtome. Cotton blue in lactophenol was used as the stain.

In both susceptible and resistant varieties after the appressorium formation, the fungus penetrates through the stomata and a hypha grows into the substomatal chamber, producing at the slightly inflated advancing tip two thick lateral branches. The hypha and its branches resemble in the whole an anchor. From each lateral branch is borne a hypha which directs itself upwards to the subsidiary cell and there forms an encapsulated haustorium (2). This stage of infection takes place generally at the third day after inoculation. It is by this time that there start to be differences in the infection process of the pathogen between resistant and susceptible varieties.

In the resistant varieties the fungus growth might stop at the anchor stage, or a further growth take place either from the lateral branches or from the initial growing hypha down to the second or third layer of the spongy tissue. These extended hyphae sometimes pre-

sent themselves senescent. Occasionally, a single hypha might cross the mesophyll without branching. A few haustoria are observed. About six days after the inoculation, a progressive increase in the volume of the mesophyll cells with the consequent disappearance of the intercellular spaces begin to be noticed. Later, all the spongy cells become irregularly shaped and some of them with thicker walls (1).

In the susceptible varieties, the fungus growth proceeds down from the anchor, with two lateral branches symmetrical in relation to the infection area, reaching in some cases the palisade tissue on the fifth day after inoculation. About nine days after the inoculation, the fungus mycelium is well established with several branches through the mesophyll and plenty of well visible haustoria. A greater density of mycelium is later observed right below the penetration area and a uredosporic sorus finally protrudes like a «bouquet» through the stoma about twenty days after the inoculation.

The arrest of the fungus growth in the incompatible coffee-orange rust combinations might be assumed to be due to the presence of some inhibitory substance (s). This assumption is partly supported by previous work carried out by Rodrigues *et al.* (3) where evidence was given that antifungal substance (s) are produced in diffusates of incompatible *C. arabica-H. vastatrix* combinations collected 48 h after inoculation, whereas in compatible combinations no such substances are detected. Toxic substances thus produced in other host-parasite combinations, known under the general designation of phytoalexins, have been considered to have a role in the resistance of plants to some fungi. Whether this is the case of the *C. arabica-H. vastatrix* complex or not, only further study will indicate it.

LITERATURE

1. L. RIJO, 1972. — Histopathology of the hypersensitive reaction t (tumefaction) induced on *Coffea* spp. by *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Agronomia Lusit.* (Oeiras), 33 : 427-431.
2. C. J. RODRIGUES Jr, A. J. BETTENCOURT, L. RIJO, 1975. — Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Ann. Rev. Phytopathology* (Palo Alto), 13 : 49-70.
3. C. J. RODRIGUES Jr, E. F. MEDEIROS, B. G. LEWIS, 1975. — Relationship between a phytoalexin-like response in coffee leaves (*Coffea arabica* L.) and compatibility with *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Physiol. Pl. Pathol.* (Londres), 6 : 35-41.

RIJO (L.), RODRIGUES Jr (C. J.). — **Le processus d'infection de *Hemileia vastatrix* chez les cultivars sensibles et résistants de *Coffea arabica*.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 509-510, réf.

Ce n'est qu'aux environs du troisième jour après l'inoculation des feuilles du caféier par *Hemileia vastatrix* que l'on commence à noter des différences dans le processus d'infection du pathogène chez les variétés résistantes et sensibles. Dans les deux cas, à ce stade de l'infection, le champignon est présent dans la chambre sous-stomatique sous l'aspect d'un mycélium ayant une forme d'ancre. Chez les variétés sensibles, le mycélium croît ensuite entre les cellules en émettant des branches au travers du mésophylle et en montrant de nombreuses haustories bien visibles. Finalement les sores urédosporiques émergent des stomates comme un « bouquet ».

Chez les variétés résistantes, la croissance du champignon s'arrête en général au stade ancre, bien qu'occasionnellement des hyphes puissent traverser le mésophylle sans aucune ramification. On n'observe qu'un nombre très restreint d'haustories.

On discute des relations possibles entre l'arrêt de la croissance du champignon et la production de substances toxiques.

RIJO (L.), RODRIGUES Jr (C. J.). — **The infection process of *Hemileia vastatrix* in susceptible and resistant cultivars of *Coffea arabica*.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 509-510, réf.

Only about the third day after the inoculation of coffee leaves with *H. vastatrix* there start to be differences in the infection process of the pathogen in susceptible and resistant varieties. At this stage of the infection, in both cases, the fungus is present in the substomatocal chamber with mycelium resembling in the whole an anchor. In the susceptible varieties the mycelium grows then intercellularly sending branches through the mesophyll and showing plenty of well visible haustoria. Uredosporic sori finally protrude like a « bouquet » through the stomata.

In the resistant varieties the fungus growth stops, in general, at the anchor stage, although an occasional hypha might cross the mesophyll without any branching. Very few haustoria are observed.

The possible relations between the arrest of the fungus growth and the production of toxic substances is discussed.

PRODUCTION OF PHYTOALEXIN-LIKE SUBSTANCES IN *COFFEA ARABICA* L. LEAVES INOCULATED WITH SEVERAL RUSTS NOT PATHOGENIC TO COFFEE

E. F. MEDEIROS, C. J. RODRIGUES Jr

Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro
Oeiras, Portugal

According to the current trends in plant pathology, disease resistance is a dynamic phenomenon, resulting of the interaction of two metabolic systems, host and parasite. Müller and Börger (3) and Müller (2) proposed that the fungitoxic compounds produced as a result of the referred interaction and which inhibit the growth of microorganisms pathogenic to plants were called phytoalexins. Since the phytoalexin theory was proposed it has been found that numerous plant species produce high levels of antifungal substances upon inoculation with fungi. Most of the work done with phytoalexins, however, concerns host-facultative parasite associations and very little information is available regarding phytoalexin production in host-obligate parasite combinations. Bailey and Ingham (1) reported that phaseollin was detected in bean leaves inoculated with *Uromyces appendiculatus* (Pers). Link but only in those varieties showing cellular browning.

Oku and co-workers (4, 5) have presented evidence for phytoalexin production in barley and pea infected with powdery mildew. In the complex *Coffea arabica-Hemileia vastatrix* experimental evidence has already been given by Rodrigues *et al.* (6) that phytoalexin-like substance(s) are produced when this host-parasite combination is incompatible. Evidence is now provided that the same phenomenon occurs when *C. arabica* leaves are challenged with other rusts not pathogenic to coffee.

Plants of *C. arabica* were inoculated with *Uromyces vignae*, *Uromyces trifolii*, *Uromyces betae*, *Puccinia graminis* and *Puccinia transversalis* by spreading uredospores of each rust species over the abaxial surface of different coffee leaves with the aid of a previously

Table I. — % inhibition induced on the germ-tube length of coffee rust spores (Hem 995) by diffusates from coffee leaves inoculated with *Uromyces vignae*, *U. trifolii*, *U. betae*, *Puccinia graminis* and *P. transversalis*

Rust inoculated	T ₄	i	ni	% inhibition**
<u>U. vignae</u>	55.6	61.5	129.1	92
	59.9	79.4	124.7	70
	62.5	83.7	112.6	58
	49.1	58.5	111.5	85
	62.5	67.0	96.5	87
<u>U. trifolii</u>	55.6	81.0	158.1	75
	59.9	89.0	153.9	68
	62.5	77.7	178.6	87
	49.1	76.7	163.6	76
	31.1	53.1	73.4	48
<u>U. betae</u>	30.6	58.4	88.7	52
	40.6	55.3	106.4	78
	43.8	68.3	110.0	63
	40.6	82.1	147.9	61
<u>P. graminis</u>	43.8	73.2	107.5	54
	48.0	69.6	186.7	84
	38.0	59.8	142.8	79
	43.7	83.7	143.7	60
<u>P. transversalis</u>	81.5	102.6	205.4	83
	24.9	29.5	62.4	88
	32.4	40.2	142.8	92

* Each figure in the main body of the table is a mean of twenty-five germ-tubes on each of three replicate slides

** % inhibition was evaluated by using the following formula :

$$\% \text{ inhibition} = \frac{(ni - T_4) - (i - T_4)}{ni - T_4} \times 100$$

sterilized camel-hair brush. Only one leaf of each pair was inoculated, the other being left uninoculated. Distilled water was then sprayed on to the surface with an atomizer and the plants maintained in a moist chamber for 48 h.

Diffusates from inoculated and uninoculated leaves were obtained by excising the leaves from the plants, washing them thoroughly with a wet cotton pad, and placing them, abaxial surface downwards, in contact with 4 ml of sterile distilled water contained in a glass Petri dish lid. In order to get a full contact of the leaf surface with the water, the leaf was pressed flat by the other half of the Petri dish. After a further incubation for 24 h each diffusate was collected with a Pasteur pipette and either assayed immediately or stored at -16°C .

Bioassays of the diffusates were performed in the following way (6): uredospores of culture 995 of *H. vastatrix* were suspended in water containing 0.05% « Tween 80 » at a concentration of 5×10^5 spores ml^{-1} and allowed to germinate on glass slides in humid chambers at 25°C . After 4 h, germ-tube lengths were measured (T_4 in table I) on one batch of slides and the remainder were tested as follows. The water was removed from the slides with filter paper and replaced

with diffusates from either inoculated (« i » in table I) or uninoculated (« ni » in table I) leaves and, after incubation for a further 4 h, germ-tube lengths were again measured. Percentage inhibition during the last 4 h in diffusate from inoculated leaves was compared with that in diffusate from uninoculated leaves.

Results of the carried tests are presented on table I. Inhibition induced on germ-tube length of coffee rust uredospores by diffusates from leaves inoculated with the different rust species varied between 50 and 90%, thus indicating that anti-fungal substances were produced in the various coffee-rust species associations. Comparatively, diffusates from coffee leaves inoculated with compatible races of *H. vastatrix* never caused any inhibition.

The resistance shown by *C. arabica* to non pathogenic rust species may not be explained only by the production of toxic substances resulting of the interaction coffee-rust species at play. It is probably part of a more complex system responsible for the fact of disease resistance to be the common situation in all organisms. The production of phytoalexin-like substances in the present studied associations is, however, evidence that rusts may also produce such kind of toxic compounds. Research is in course with other host-rust species associations.

LITERATURE

1. J. A. BAILEY, J. L. INGHAM, 1971. — Phaseollin accumulation in bean (*Phaseolus vulgaris*) in response to infection by tobacco necrosis virus and the rust *Uromyces appendiculatus*. *Physiol. Pl. Path.* (Londres), 1 : 451-456.
2. K. O. MÜLLER, 1956. — Einige einfache Versuche zum Nachweis von Phytoalexinen. *Phytopathologische Zeitschrift* (Hambourg), 27 : 237-254.
3. K. O. MÜLLER, H. BÖRGER, 1940. Experimentelle Untersuchungen über die *Phytophthora* Resistenz der Kartoffel. *Arbeiten aus der biologischen Reichsanstalt für Land- u. Forstwirtschaft*, 23 : 189-231.

MEDEIROS (E. F.), RODRIGUES Jr (C. J.). — **Production de substances analogues aux phytoalexines dans les feuilles de *Coffea arabica* L. inoculées avec différentes rouilles non pathogènes pour le caféier.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 511-512, tabl., réf.

Depuis que la résistance des plantes basée sur la théorie des phytoalexines a été proposée par Müller et Börger, on a trouvé que de nombreuses espèces végétales produisent des taux élevés de substances antifongiques après l'inoculation de champignons. Dans le complexe *Coffea arabica*-*Hemileia vastatrix*, on a mis en évidence la production de substances analogues aux phytoalexines lorsque cette combinaison hôte-parasite est incompatible. On démontre maintenant que le même phénomène a lieu quand les feuilles de *Coffea arabica* sont en présence d'autres rouilles non pathogènes pour le caféier. On discute de l'importance de ce phénomène.

4. H. OKU, *et al.*, 1975. — Phytoalexin activity in barley powdery mildew. *Ann. Phytopath. Soc. Japan*, 41 : 185-191.
5. H. OKU, *et al.*, 1975. — Pisatin production in powdery mildewed pea seedling. *Phytopathology* (Saint-Paul), 65 : 1263-1267.
6. C. J. RODRIGUES Jr, E. MEDEIROS, B. G. LEWIS, 1975. — Relationship between a phytoalexin-like response in coffee leaves (*Coffea arabica* L.) and compatibility with *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Physiol. Pl. Pathol.* (Londres), 6 : 35-41.

MEDEIROS (E. F.), RODRIGUES Jr (C. J.). — **Production of phytoalexin-like substances in *Coffea arabica* L. leaves inoculated with several rusts not pathogenic to coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 511-512, tabl., réf.

Since the phytoalexin theory of plant resistance was proposed by Müller and Börger, it has been found that numerous plant species produce enhanced levels of antifungal substances following inoculation with fungi. In the *Coffea arabica*-*Hemileia vastatrix* complex, experimental evidence was already given that phytoalexin-like substances are produced when this host-parasite combination is incompatible. Evidence is now provided that the same phenomenon occurs when *C. arabica* leaves are challenged with other rusts not pathogenic to coffee. The significance of this phenomenon is discussed.

GAS EXCHANGES IN COFFEE LEAF TISSUE INFECTED BY *HEMILEIA VASTATRIX* B. & Br.

M. E. MIRANDA GUEDES

Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro,
Oeiras, Portugal

M. A. NUNES

Missão de Estudos Agronómicos do Ultramar,
Lisboa, Portugal

It has been observed by several investigators that dark respiration is saturated at low levels of oxygen (below 1 %) although photorespiration shows a straight relationship with the oxygen tension at least up to 50 %. Therefore the effect of oxygen tension on CO₂ production reflects the prevailing biosynthetic pathway in the tissue. This approach was used to investigate the respiratory changes produced by the obligate parasite *Hemileia vastatrix* B. & Br. in the course of the infection of coffee seedlings.

Immature leaves of *Coffea arabica* cultivars DK 1/6 (CIFC 32/1) from India and S₄ Agaro (CIFC 110/5) from Ethiopia were inoculated with the compatible races of *Hemileia vastatrix* B. & Br. VIII (Hem 166) and XXIV (Hem 996), respectively. The first symptoms of the disease appeared within about thirteen days as minute faint yellow greenish spots (flecking stage). Sporulation started eight-ten days later and the amount of uredospores forming the rust pustule gradually increased with time.

The exchanges of CO₂ and O₂ under light and dark conditions were measured by infrared gas analysis and manometric Warburg techniques. Ethylene evolved in the course of time was also measured by gas chromatography.

Dark respiration and ethylene production

Dark respiration rates of the infected tissue evaluated either in terms of CO₂ or O₂ were significantly higher than control at all stages of infection.

Compensation point for CO₂ was significantly higher in late stages of infection than in control although a

tendency for rising was present since the flecking stage.

The respiratory quotient (RQ) evaluated by the two vessels direct method in the Warburg apparatus was not altered in the infected tissue which indicates that O₂ and CO₂ changed in the same extent.

Ethylene evolution showed a net increase over the control. The evolution of this gas started in early stages of the infection and showed a final steep increase when the leaf exhibited already some necrotic spots. There is little evidence that, during the period studied, ethylene content activated respiration since this only slightly increased with time.

Photorespiration

In infected leaves, the response curve of CO₂ evolution in the light to the presence of oxygen was modified. Photorespiration was saturated at 20 % oxygen tension both at flecking and sporulation stages. This implies that mechanisms underlying CO₂ emission in the light have changed. Photorespiration can be eliminated in an atmosphere of nitrogen. Therefore, the remaining respiratory activity reveals most probably dark respiration. Results have shown that in the infected leaf the contribution of dark pathways to CO₂ evolution in the light has, in fact, increased.

The reduction of photorespiration at flecking stage may be an example of the regulation of the enzyme ribulose diphosphate carboxylase oxygenase, with much interest provided that photosynthesis is not affected in the same extent. This will be a point for further research.

GUEDES (M. E. Miranda), NUNES (M. A.). — **Echanges gazeux dans les tissus foliaires du caféier infectés par *Hemileia vastatrix* B. & Br.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 513-514.

On a étudié les échanges gazeux dans une combinaison compatible caféier-rouille foliaire au cours des différents stades de l'infection.

Les échanges de CO₂ et de O₂ à la lumière et à l'obscurité ont été mesurés par l'analyse des gaz à l'infrarouge et les techniques manométriques de Warburg. Le QR a aussi été évalué. L'éthylène a été mesuré par chromatographie en phase gazeuse.

Au stade maximal de l'infection, la respiration est fortement accrue et la photorespiration cesse de montrer la stimulation attendue de la concentration d'oxygène. La photosynthèse est complètement altérée.

La production d'éthylène croît progressivement avec le degré d'infection.

GUEDES (M. E. Miranda), NUNES (M. A.). — **Gas exchanges in coffee leaf tissue infected by *Hemileia vastatrix* B. & Br.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 513-514.

The gas exchanges in a compatible coffee-leaf rust combination were approached during the several stages of infection.

The exchanges of CO₂ and O₂ under light and dark conditions were measured by infrared gas analysis and manometric Warburg techniques. The RQ was also determined. Ethylene was measured by a gas chromatography.

At the maximum stage of infection, respiration is highly increased and photorespiration ceases to show the expected stimulation by oxygen concentration. Photosynthesis is completely impaired.

Ethylene production increased progressively with the degree of infection.

AMÉLIORATION DE LA CAFÉICULTURE À TIMOR FACE À L'*HEMILEIA VASTATRIX* B. & BR.

M. MAYER GONÇALVES, M. LIMA RODRIGUES, J. NUNES MEXIA, E. DAEHNHARDT

Missão de Estudos Agronómicos do Ultramar, Lisbonne

INTRODUCTION

En 1800, le café aurait été cité pour la première fois comme une des productions de Timor (27), et on croit que l'introduction de l'Arabica dans l'île a eu lieu pendant la seconde moitié du XVIII^e siècle (9, 17).

L'*Hemileia vastatrix* B. & Br. se manifeste probablement dans ce territoire environ un siècle plus tard. Sa première observation dans la région, à Samatra, en 1876 (11, 21), sa propagation à travers les îles indonésiennes (11) nous font admettre que les caféiers de Timor ont été atteints vers les dernières années de la décennie 1880 (27), ce qui eut pour conséquence des diminutions accentuées du volume des exportations, bien que d'autres facteurs étrangers à la caféiculture y aient aussi contribué.

L'introduction du Liberica et du Robusta — principalement celui-ci — avant 1912 (27), réduisit plus tard les pertes ci-dessus mentionnées ; mais c'est la « découverte » de l'Hybride de Timor — croisement

naturel vraisemblable de *C. arabica* × *C. canephora* (25), présentant un phénotype d'Arabica, une cotation commerciale semblable et une résistance accentuée à l'*H. vastatrix* — et sa grande diffusion depuis 1956 (22), après sa culture pendant dix années environ dans une entreprise privée, qui atténua encore plus les effets de la maladie ; cependant, celle-ci a été toujours le plus grave problème phytopathologique de la caféiculture, face à son importance économique.

La résistance à l'*H. vastatrix* manifestée par l'Hybride de Timor a été le facteur déterminant son intense utilisation, face aux productions extrêmement réduites obtenues avec l'Arabica, var. *typica* (?) ; postérieurement on a envisagé une meilleure solution du problème, avec la prospection des races physiologiques du champignon et l'introduction de variétés et d'hybrides en vue d'évaluer leur productivité et leur résistance à la rouille.

IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DE L'*HEMILEIA VASTATRIX* B. & Br.

Bien que, par rapport à l'exportation moyenne annuelle du café dans le monde en 1970/72 (1), celle de Timor n'ait pas atteint 0,2 %, sa caféiculture est à l'origine d'une des principales productions du secteur primaire, dont la valeur joue, dans le cadre de ses exportations, un rôle fondamental dans la modeste

économie du territoire ; en effet, dès la seconde moitié du XIX^e siècle, le café constitue le principal produit d'exportation de Timor (27) dont, d'une manière générale, la valeur oscille de 60 à 85 %, et qui a dépassé 90 % en 1970/72 (2).

Les pertes provoquées par l'*H. vastatrix* sont diffici-

Tableau I. — Exportations moyennes annuelles de café par périodes de dix années

Décade	Exportation moyenne annuelle (t)	Observations
1880/89	1.682	Culture exclusive de l'Arabica, var. <i>Typica</i> (?), et probable manifestation de l' <i>H. vastatrix</i>
1890/99	960	Propagation de la maladie et probable introduction du Liberica et du Robusta
1900/09	755	
1910/19	1.072	Développement de la culture du Robusta, plus résistant à l' <i>H. vastatrix</i>
1920/29	1.480	
1930/39	1.259	
1940/49	702*	"Découverte" de l'"Híbrido de Timor" et début de son utilisation
1950/59	1.283	Diffusion intensive de l'"Híbrido de Timor", accompagnée aussi d'une plus grande expansion de la culture du Robusta
1960/69 (**)	2.298	

* Couvrant à peine la période 1946/49, en raison de l'occupation pendant la 2ème guerre mondiale.

** Dans la première moitié de la période 1970/79, l'exportation moyenne annuelle a atteint 4.773 t.

les à évaluer. On peut cependant en avoir une idée en examinant les exportations (15, 27), dont les moyennes annuelles par période de dix ans, à partir de 1880, sont présentées dans le tableau I. On note qu'un maximum d'exportation annuelle de 2.577 t d'Arabica, constaté en 1881, n'est dépassé que depuis 1966 par l'ensemble Arabica, Hybride de Timor et Robusta et, en 1971/73, si on ne considère que les deux premiers types de café.

Etant donnés les chiffres présentés par Silva (27) et la connaissance acquise sur la caféiculture à Timor, nous nous permettons de considérer que l'*H. vastatrix* a été le principal facteur responsable de la faible productivité du caféier Arabica ; elle est à l'origine de diminutions de la production de l'ordre de 30 à 40 %, diminutions enrayées par l'utilisation de l'Hybride de Timor.

(*) L'exportation moyenne annuelle en 1971/74 a été constituée par 60 % environ d'Arabica + « Híbrido de Timor » et 40 % de Robusta, face à l'assez réduite ou nulle importance du Liberica ; cependant, on croit que la quantité d'Arabica a été inférieure à 5 %.

En effet, l'analyse détaillée de l'évolution des exportations de 1947 à 1974 nous a permis de constater que, après une certaine stagnation pendant les dix premières années de cette période, a commencé une croissance régulière et nette qui s'est accentuée fortement depuis 1966, déterminant des augmentations successives et proches de 50 % dans l'exportation moyenne annuelle des deux dernières périodes de quatre années ; ainsi, en 1971/74 (*), cette variable atteint 5.013 t, presque cinq fois plus qu'en 1947/50. L'établissement de la culture de l'Hybride de Timor en 1947/50, son utilisation à grande échelle depuis 1956 et le temps nécessaire pour atteindre la pleine production — presque dix années — constituent l'explication principale de l'évolution constatée, quoique le Robusta et l'augmentation de la surface cultivée aient aussi apporté leur contribution.

Une prévision pour la période 1975/77, basée sur une technique d'analyse du type « exponential smoothing », nous permettrait d'admettre — en plus des altérations déterminées par les événements politiques — la continuité de la croissance des exportations, malgré leur caractère erratique.

L'HYBRIDE DE TIMOR ET SON POTENTIEL DE PRODUCTION

On admet que les populations d'Hybride de Timor ont leur origine dans une seule plante (photos 1 et 2) encore vivante et qui aurait appartenu à une plantation initiale de *C. arabica*, var. *typica* (?), probablement établie en 1927. Malgré la hauteur atteinte — 9 m environ — et l'aspect végétatif excellent, la fructification est assez réduite et produit presque exclusivement des grains « moca » ou « caracoli » ; on n'a jamais vu aucun symptôme d'attaque d'*H. vastatrix* pendant les observations faites de 1962 à 1975.

Si l'on considère l'origine de l'Hybride de Timor, ses populations sont caractérisées par une certaine hétérogénéité en ce qui concerne l'aspect morphologique, la résistance à l'*H. vastatrix*, l'uniformité du grain et la productivité, caractéristiques que quelques travaux ont confirmé (7, 8, 13, 25, 26), bien que le phénotype d'Arabica soit une caractéristique générale (les formes tétraploïdes à $2n = 44$ chromosomes prédominant (23)) et que le produit, ayant d'appréciables qualités organoleptiques (13), présente une notable similitude



Photo 1. — Plante originelle (?) de l'Hybride de Timor, notez la hauteur atteinte en comparaison de celle de la personne se tenant près du tronc.



Photo 2. — Hybride de Timor âgé de 5 ans, mesurant 2,5 m environ et obtenu par voie végétative à partir de la plante originelle.

chimique avec celle de l'Arabica (13, 20) et est commercialement comparé à ce dernier en termes d'exportation, traditionnellement faite surtout vers les Pays-Bas, les Etats-Unis, le Danemark et la Belgique.

L'Hybride de Timor a été essentiellement considéré comme un matériel génétique fondamental, ou même unique, pour l'amélioration de la résistance à l'*H. vastatrix* (*). Son adaptation difficile aux conditions édapho-climatiques et/ou aux conditions de culture des stations d'essais de quelques pays est peut-être à l'origine d'une productivité basse (parfois associée à une qualité inférieure du café-boisson), qui est la caractéristique générale des plantes étudiées, notamment en Inde, en Tanzanie, au Kenya, en Angola, au Brésil, au Costa Rica et en Colombie (4, 16, 30); cependant, pour la Colombie, les derniers résultats connus (8) nous permettent de classer sa productivité comme acceptable.

(*) Une meilleure résistance à la maladie connue, en langue anglaise, sous le nom de « coffee berry disease », due au *Colletotrichum coffeanum* Noack, a été aussi signalée en Tanzanie (12), au Kenya (29), en Angola et au moyen de tests préliminaires faits au « Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro » (CIFIC) (4). A Timor, ce champignon a été identifié sous les formes de « die back » (3) et de « brown blight » (6); au cours d'une mission phytopathologique effectuée en 1967/69 (3), le *C. coffeanum* n'a jamais été identifié sur les fruits examinés.

Afin de mieux connaître les possibilités de production de l'Hybride de Timor dans son habitat naturel, on a observé quelques dizaines de plantes sélectionnées, ainsi que certaines descendances; on a obtenu et analysé les effets de quelques opérations technologiques sur le rendement.

Caractéristiques du lieu d'étude

La sélection a eu lieu dans une petite plantation, située à Apidó (Ermera) dans les conditions typiques de la principale région caféière, et qui pourrait être considérée comme représentative des populations initiales de l'Hybride de Timor. Son installation, en 1958/59, avait été faite à l'altitude de 1.125 m environ, sur une pente de déclivité moyenne de 45 %, à l'écartement de $\pm 2,5 \times 2,5$ m, ombragée par l'*Albizia moluccana* Miq.; les opérations culturales ont été réduites à trois-quatre sarclages annuels, dont les résidus ont été laissés sur le sol.

L'ombrage et la strate herbacée sous-jacente, contrôlée par des sarclages ont été indispensables au système de culture et à l'équilibre sol-plante, étant donné leur importance pour la conservation de celui-ci et pour son enrichissement en matière organique; ces facteurs-là étant éliminés, les déclivités excessives, les précipitations abondantes et intenses détermineraient

une érosion catastrophique, ce qui est bien évident en beaucoup de lieux.

D'après la carte des sols de Timor (14), la plantation se situe sur « Cambissolos », prédominants dans les régions caféières. Les sols d'Apidó sont dérivés de schistes argileux, ont une épaisseur réduite, une texture relativement lourde et sont intrinsèquement pauvres en éléments nutritifs ; cependant, ils présentent un pH favorable, une structure relativement stable et, surtout, une quantité élevée de matière organique dans l'horizon superficiel.

Selon la classification de Köppen (28), le climat de la région est du type Am, tropical pluvieux, sans hiver, avec une température moyenne de l'air supérieure à 18 °C tous les mois de l'année, des pluies prédominantes en été et une courte saison sèche ; d'après Papadakis (18, 19), on peut dire que la région présente pratiquement toutes les conditions pour être considérée appropriée, du point de vue climatique, au caféier Arabica en culture ombragée.

Production des plantes sélectionnées

On a choisi comme principaux facteurs de sélection : le phénotype proche de l'Arabica, l'absence ou des symptômes faibles de rouille ainsi qu'un bon et uniforme développement végétatif. Les productions individuelles ont été enregistrées pour quarante-trois plantes de 1965 à 1975, pour cinquante-deux plantes depuis 1967, et pour l'ensemble de la plantation (environ 1.900 plantes) de 1965 à 1974.

Des éléments et des conclusions obtenus, on souligne les aspects suivants :

a) Pendant la dernière observation, réalisée en 1975, on a constaté que vingt-trois plantes ne présentaient pas de symptôme visible à l'œil nu d'*H. vastatrix*. La symptomatologie présentée par les vingt-neuf autres plantes était variée, mais toujours réduite et avec peu d'influence sur la production.

b) Pendant la période 1965/74, pour la production totale des quarante-trois plantes initialement sélectionnées et celle de la plantation, on a pu obtenir un coefficient de corrélation $r = 0,875$, significativement différent de zéro au niveau de 0,1 % de probabilité, démontrant donc une bonne analogie dans la variation des deux productions.

c) L'Hybride de Timor, dans les conditions de culture de son habitat naturel, nécessite dix années pour atteindre la période de pleine production. Dans ce cas précis cette période a débuté en 1969 ; depuis cette année, les productions moyennes des plantes sélectionnées ont toujours été supérieures à celles observées de 1965 à 1968. De 1969 à 1974, on a noté une alternance évidente des productions et remarqué que le total des productions des années impaires est significativement inférieur à celui des années paires, à moins de 0,1 % de probabilité d'erreur.

d) La production moyenne individuelle, en 1969/75, des plantes sélectionnées a atteint 7,09 kg de cerises/an, ce qui correspond à plus ou moins 2 t/ha de

café vert/an, en admettant un rendement de 17,4 % du procédé technologique et une densité de 1.600 plantes/ha ; si on considère les mêmes facteurs, la production de la plantation a atteint 690 kg/ha/an en 1969/74.

e) De 1969 à 1975, la production moyenne annuelle des plantes sélectionnées a oscillé entre 3,21 et 13,03 kg de cerises et la distribution de fréquences a été comme suit :

Classes de production (kg)	Nombre de plantes
3 - 4	10
4 - 5	7
5 - 6	4
6 - 7	4
7 - 8	8
8 - 9	4
9 - 10	5
10 - 11	4
11 - 12	3
12 - 13	2
13 - 14	1

Les totaux les plus élevés de production en 1965/75 ou en 1967/75, selon les cas, correspondent aux dix plantes qui ont dépassé la moyenne de 10 kg/an au cours de la période 1969-1975 ; il n'existe pas de différence significative entre eux au niveau de 5 % ; des productions annuelles supérieures à 20 kg de cerises ont été observées sur quatre plantes, avec un maximum de 24,25 kg.

Production de quelques descendance

Bien que, seulement quatre années de production fussent connues en 1969 pour les premières plantes sélectionnées, on en a retenu trois dont la productivité élevée s'était déjà manifestée, pour observation de leurs descendance, soit 780 plantes établies en conditions de sol, climat et culture semblables.

De 1972 à 1975, pendant la période d'augmentation de la production, la moyenne annuelle a été de 2,58 kg de cerises par plante, environ 718 kg de café vert/ha/an selon les facteurs rendement et densité déjà considérés ; cette dernière valeur sera appréciée convenablement, en comparaison de la moyenne annuelle de 690 kg/ha obtenue en cinq années de pleine production, dans la plantation dont les plantes sélectionnées faisaient partie.

Nous notons aussi que, pendant la dernière observation des descendance effectuée en 1975, 23 % des plantes ne présentaient pas de symptôme d'*H. vastatrix*, 74 % présentaient des symptômes très faibles et 3 % montraient un degré d'infection très accentué ; cette répartition doit être due aux groupes physiologiques A, R et E, auxquels appartiennent les plantes de l'Hybride de Timor (26).

Rendement dans la technologie du café vert

L'analyse du rendement dans la technologie du café vert, par voie humide, envisageant surtout une comparaison entre l'Hybride de Timor et l'Arabica, var. *typica* (?), exigeait un minimum de sécurité pendant les opérations, qu'il n'était possible d'obtenir qu'en certaines circonstances. D'après les résultats obtenus, nous soulignons :

a) En 118 opérations de décorticage, concernant environ 75, 287 et 49 t de café-parche Arabica, Hybride de Timor et Robusta, effectuées dans deux entreprises de la principale région caféière en deux années successives, les rendements moyens en café vert ont été de 82,7, 82,0 et 80,3 % respectivement.

L'analyse statistique a démontré que seul le Robusta a eu un rendement différent et inférieur à celui de l'Arabica et de l'Hybride de Timor, au niveau de 1 % de probabilité.

b) Toutefois, l'observation détaillée de la technologie des trois types de café au cours de toutes les opérations a confirmé quelques chiffres antérieurs, bien que les renseignements recueillis auprès des caféiculteurs, en ce qui concerne la légère infériorité de l'Hybride de Timor vis-à-vis de l'Arabica dans le domaine des relations café-parche/cerise et café vert/cerise ; au cours de la principale observation

(*) On a utilisé 2.000 l de cerises de chaque type de café, correspondant à 1.253, 1.249 et 1.233 kg d'Arabica, Hybride de Timor et Robusta, respectivement.

faite (*), la différence a été de 2,4, 2,6 et 3,1 % en poids, respectivement pour le café-parche, le café vert et le café vert désigné de première qualité, après choix.

c) Ce rendement plus bas de l'Hybride de Timor serait fondamentalement dû à l'avortement plus fréquent d'une des semences et, à la phase finale du procédé technologique, à la plus grande hétérogénéité granulométrique et à la quantité plus élevée de grains « moca » et de défauts.

Le premier aspect que Vishveshwara et Govindarajan (30) ont aussi signalé a été souvent observé au cours d'opérations de déulpage avec triage densimétrique préliminaire : on a pu constater que le matériel surnageant (« boia »), correspondant à environ 4 % du poids de la cerise, était presque exclusivement constitué par des fruits dont une des semences était avortée ; on rapporte aussi que, dans une observation par échantillonnage sur 50 % de la production de 1975 des plantes sélectionnées et couvrant toutes les récoltes, on a vérifié l'avortement d'une des semences dans 4,5 % des fruits.

Le deuxième aspect résulte dans une plus grande quantité de café de catégorie inférieure — environ 0,1 % pour l'Arabica et 0,4 % pour l'Hybride de Timor, relativement au poids de la cerise — et dans un triage manuel, deux fois, au moins, plus lent que pour l'Arabica.

d) Les informations obtenues nous permettent d'admettre comme bien probable, sans tenir compte de possibles variations annuelles et locales, que le rendement en café vert de l'Hybride de Timor est d'environ 2 à 3 % inférieur à celui de l'Arabica, var. *typica* (?).

PROSPECTION DES RACES PHYSIOLOGIQUES DE L'*HEMILEIA VASTATRIX* B. & BR.

L'identification des races physiologiques de l'*H. vastatrix*, avec l'indispensable collaboration du CIFC, est à l'origine de la tentative faite pour obtenir une meilleure solution du problème provoqué par cette

maladie ; on a voulu, comme alternative à l'Hybride de Timor, étudier la possibilité d'utiliser d'autres hybrides ou variétés dotés de bonne productivité et de résistance aux races d'*H. vastatrix* existantes ou prédominantes.

Tableau II. — Races physiologiques de l'*H. vastatrix* identifiées à Timor, par ordre chronologique

Date des échantillons (mois et années)	Identification		
	Races physiologiques	Nombre d'échantillons	Observations
9/1961	II	48	
5/1963	XXII	20	Trouvée exclusivement à Timor
3/1965	XXVI	6	Trouvée exclusivement à Timor
7/1965	XV	3	
7/1965	III	1	
7/1965	I	4	
3/1972	XXIX	4	Trouvée exclusivement à Timor
3/1972	XXX	2	Trouvée exclusivement à Timor
3/1972	IV	1	
7/1972	XXV	1	

De 1954 à 1974 des échantillons d'urédospores, au nombre de 133, ont été envoyés au CIFC. Ces échantillons ont été recueillis depuis le niveau de la mer jusqu'à 1.700 m d'altitude, sur plusieurs plantes hôtes du genre *Coffea* ; quatre-vingt-dix de ces échantillons ont permis au CIFC d'établir les cultures pures respectives et d'identifier leurs races ; des trente races isolées et existantes au CIFC (26), dix ont déjà été identifiées au Timor (tableau II, p. 519).

Nous soulignons le nombre d'échantillons sur lesquels on a identifié la race II, naturellement la plus commune à Timor ainsi que dans la plupart des régions

caféières du monde ; la race XXII, connue exclusivement à Timor, la suit, ayant probablement comme plante hôte naturelle, l'Hybride de Timor.

Selon les derniers éléments du CIFC (26) sur la distribution géographique des races physiologiques différenciées par cet organisme, Timor suit l'Inde par le nombre de races identifiées, dont quatre — XXII, XXVI, XXIX et XXX — ne sont connues que dans ce territoire-là. La prospection a aussi joué un rôle dans l'étude des facteurs conditionnant la résistance à la maladie et nous a permis une meilleure caractérisation des groupes physiologiques établis par le CIFC.

INTRODUCTION ET OBSERVATION DE VARIÉTÉS ET D'HYBRIDES

Comme pour d'autres régions caféières du monde (5, 24), signalées aussi par Silva en 1956 (27) et face à l'existence de l'*H. vastatrix*, on a considéré que le moyen le plus efficace et le plus économique d'améliorer la caféiculture à Timor, selon une base relativement efficace et convenant aux réalités du milieu, serait l'utilisation de variétés résistantes.

Un tel avis comprend naturellement la culture de l'Hybride de Timor, lequel, bien qu'initialement assez inconnu, a constitué la base de renouvellement des vieilles plantations d'Arabica. Cependant, comme on envisageait une possible alternative pour l'Hybride de Timor, on a introduit à Timor seize variétés et hybrides de *C. arabica* provenant du CIFC et qui appartenaient à huit groupes physiologiques ; en 1968, après une appréciation préliminaire, on a commencé à établir des champs expérimentaux d'Hybride de Timor, de S. 333, de S. 12 Kaffa et d'HW. 26 (« Caturra Vermelho » × « Híbrido de Timor » — CIFC, 19/1 × 832/1/9) — F₂, tout simplement nommé au Brésil « Catimor » (10). Ces champs ont été établis dans les conditions usuelles de la caféiculture de Timor et les opérations culturales ont été également réduites aux sarclages.

Des observations faites jusqu'à 1975, on tire les informations suivantes :

a) Bien que quelques plantes du S. 12 Kaffa aient montré des symptômes très faibles d'*H. vastatrix*, sans

possibilité d'identification de la race physiologique, on n'a observé aucune réaction sur les S. 333 ; il faut remarquer que ces variétés appartiennent aux groupes I et G respectivement (26), dont les races physiologiques n'ont jamais été identifiées à Timor.

b) Une faible symptomatologie de la maladie et, par conséquence, d'importance réduite, a aussi été vérifiée sur quelques plantes du HW. 26 et de l'Hybride de Timor ; on peut admettre que les plantes qui ne présentent pas de réaction, ont de fortes chances d'appartenir au groupe A, et sont donc résistantes à toutes les races d'*H. vastatrix*.

c) Parmi les caféiers introduits, une meilleure adaptation aux conditions locales (même avec les pires conditions pédologiques) et un aspect végétatif supérieur ont vivement caractérisé, dès le commencement, les plantes du « Catimor ».

d) En 1971/75, la production moyenne par plante du « Catimor » a été la plus grande, légèrement supérieure à 2,0 kg de cerises aux lieux les plus représentatifs de la principale région caféière ; l'Hybride de Timor et le S. 333 en ont produit environ 1,8 kg et le S. 12 Kaffa un peu moins de 0,5 kg.

e) Bien que l'expérimentation a déjà démontré qu'il était très difficile de cultiver l'Hybride de Timor sans ombrage — au moins à 700 m d'altitude, avec fertilisation et irrigation — le « Catimor » s'est parfaitement adapté à la culture en plein soleil dans ces conditions et il a atteint environ 3,9 kg de cerises, comme production moyenne par plante en 1971/74.

CONCLUSIONS

En ce qui concerne la culture du caféier Arabica à Timor, la présence de l'*Hemileia vastatrix* a nécessité l'intense utilisation de l'Hybride de Timor, étant donné sa résistance à la maladie.

Les observations, faites sous les conditions spécifiques de la principale région caféière de Timor, nous

permettent de considérer que l'Hybride de Timor ne constitue pas un matériel génétique fondamental pour l'amélioration, uniquement à cause de sa résistance à la rouille ; en effet, la qualité de son café est comparable à celle de l'Arabica du point de vue commercial, bien qu'avec un rendement en café vert probablement

inférieur, et il montre un potentiel élevé de production ; celui-ci pourra se révéler entièrement par une convenable et soignée sélection de ses populations et par l'amélioration des opérations culturales, toujours limitées à une plantation rudimentaire et à quelques sarclages annuels, sauf rares exceptions.

L'augmentation de l'exportation du café, très accentuée dans les dernières années, trouvera sa raison principale dans la culture de l'Hybride de Timor et bien sûr, dans ses possibilités de production.

La prospection des races physiologiques de l'*Hemileia vastatrix* a permis au CIFIC d'en identifier dix — I, II, III, IV, XV, XXII, XXV, XXVI, XXIX et XXX — dont quatre ne sont connues qu'à Timor ; étant donné

les identifications effectuées, on a procédé à l'introduction de variétés et d'hybrides pour les évaluer sous conditions locales.

Les informations obtenues nous font admettre que les caractéristiques vérifiées dans la plupart des plantes du « Catimor » sont des facteurs assez positifs en vue de son utilisation future ; en effet, sa taille réduite, sa résistance accentuée à l'*Hemileia vastatrix*, sa bonne adaptation et son potentiel de production vérifiés sous les conditions habituelles de culture, nous permettent de considérer le « Catimor » comme un matériel de choix pour la caféiculture à Timor et, par conséquent comme une alternative viable de l'Hybride de Timor.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANONYME. — Coffee. In Plantation crops. A review of production, trade, consumption, stocks and prices relating to coffee, cocoa, tea, sugar, spices, tobacco and rubber. London, Commonwealth Secret., 1973, p. 7-45.
2. ANONYME. — III^o Plano de Fomento, Relatório execução em 1972. Ultramar. Lisboa, Secret. Técn. Pres. Conselho, 1974, 354 p.
3. M. L. BARROS. — Notas fitopatológicas. IV. — Fungos dos ramos do cafeeiro em Timor. *Garcia de Orta - Sér. Estud. agron.* (Lisboa) 2 (2) : 79-81, 1975.
4. A. J. BETTENCOURT. — Considerações gerais sobre o « Híbrido de Timor ». *Circ., Inst. Agrôn.*, (Campinas) 23, 1973, 20 p.
5. A. J. BETTENCOURT, A. CARVALHO. — Melhoria visando a resistência do cafeeiro à ferrugem. *Bragantia* (Campinas), 27 (4) : 35-68, 1968.
6. M. L. BORGES, M. L. BARROS. — Notas fitopatológicas. III^a. — Fungos da folha do cafeeiro. *Estud. agron.* (Lisboa), 8 (1) : 25-30, 1967.
7. A. P. Silva CARDOSO. — Notícia sobre el « Híbrido de Timor ». MEAUS, Miss. Est. agron. Ultramar, Lisboa, 423, 1965, 7 p. (dactyl.).
8. J. CASTILHO-ZAPATA, G. MORENO-RUIZ, S^a. LOPEZ-DUQUE. — Uso de resistência genética a *Hemileia vastatrix* Berk. e Br. existente en germoplasma de café en Colômbia. *Cenicafé* (Chinchiná), 27 (1) : 3-25, 1976.
9. A. O. CASTRO. — A ilha verde e vermelha de Timor. Lisboa, Agên. Geral Colônias, 1943, 176 p.
10. G. M. CHAVES. — Melhoramento do cafeeiro visando à obtenção de cultivares resistentes à *Hemileia vastatrix* Berk. e Br. *Rev. Ceres* (Viçosa), 23 (128) : 321-332, 1976.
11. P. J. S. CRAMER. — A review of literature of coffee research in Indonesia. Misc. Publ., Inter. Am. Inst. Agric. Sci., Turrialba, 15, 1957, 262 p.
12. L. M. FERNIE, H. VERMEULEN. — The screening of Lyamungu material of resistance to coffee berry disease. *Plant Breeding Abst.*, Farnham Royal, 38 (2) : 380, 1968.
13. L. A. B. FERREIRA, H. D. VILAR, M. A. C. FRAGOSO, M. C. AGUIAR, M. J. R. CRUZ, M. Mayer GONÇALVES. — Subsídios para a caracterização do grão de café do « Híbrido de Timor ». In 5^o Colloque International sur la Chimie des Cafés (Lisbonne, 14-19 Juin 1971), ASIC, Paris, 1973, p. 128-147.
14. J. Sacadura GARCIA, J. Carvalho CARDOSO. — Os solos de Timor. MEAUS, Miss. Est. agron. Ultramar, Lisboa, 661, 1971, 843 p. (dactyl.).
15. M. Mayer GONÇALVES. — Exportação de café de Timor de 1954 a 1974. (Données fournies par les Représ. Provs. Serv. Estatística et de Alfândegas, Dili, 1969 à 1975).
16. L. C. MÓNACO, A. CARVALHO. — Resistência à *Hemileia vastatrix* no melhoramento do cafeeiro. *Cienc. Cult.*, (S. Paulo), 27 (10) : 1.070-1.081, 1975.
17. F. J. ORMELING. — The Timor problem. A geographical interpretation of an underdeveloped island. Djakarta, J. B. Wolters, 1956, 284 p.
18. J. PAPADAKIS. — Agricultural potentialities of world climates. (Buenos Aires), Ed. by the author, 1970, 70 p.
19. J. PAPADAKIS. — Climates of the world. Their classification, similitudes, differences and geographic distribution. (Buenos Aires), Ed. by the author, 1970, 47 p.
20. M. QUIJANO-RICO, B. SPETTEL. — Determinación del contenido en varios elementos en muestras de cafés de diferentes variedades. In 7^o Colloque International sur la Chimie des Cafés (Hambourg, 9-14 Juin 1975), ASIC, Paris, 1976, p. 165-173.
21. R. W. RAYNER. — Rust disease of coffee. 2. — Spread of the disease. *Wild Crops* (London), 12 (6) : 222-224, 1960.
22. L. Franco RICARDO. — Sobre as actividades da Circunscrição da Ermera, com vista ao desenvolvimento das culturas do café e do coqueiro. Dili, Adm. Con. Ermera, 1959, 37 p. dactyl.
23. L. RIJO. — Observações cariológicas no cafeeiro « Híbrido de Timor ». *Portug. Acta Biol.*, Sér. A, (Lisboa), 13 (1/4) : 157-168, 1973/74.
24. C. J. RODRIGUES Jr. — The coffee rusts : *Hemileia vastatrix* B. & Br. and *H. coffeicola* Maubl. & Rog. In 7^o Colloque International sur la Chimie des Cafés (Hambourg, 9-14 Juin 1975), ASIC, Paris, 1976, p. 401-408.
25. C. J. RODRIGUES Jr, A. J. BETTENCOURT. — Routine screening for resistance to *Hemileia vastatrix* B. et Br. on *Coffea arabica* L. accessions from different coffee producing regions of the world. In Prog. Rept 1960-1965, Oeiras, Cent. Invest. Ferrug. Caf., 1965, p. 47-99.
26. C. J. RODRIGUES Jr, A. J. BETTENCOURT, L. RIJO. — Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Ann. Rev. Phytopathol.* (Palo Alto), 13 : 49-70, 1975.

27. H. Laíns SILVA. — Timor e a cultura do café. Mem., Sér. Agron. Trop., Junta Invest. Ultramar (Lisboa), 1, 1956, 196 p.
28. E. C. SOUSA. — Esboço de uma caracterização agroclimática da província de Timor. Comun., Miss. Est. agron. Ultramar, Lisboa, 80, 1973, 47 p.
29. H. A. M. VAN DER VOSSSEN, R. T. A. COOK, G. N. W. MURAKARU. — Breeding for resistance to coffee

- berry disease caused by *Colletotrichum coffeanum* Noak (*sensu* Hindorf) in *Coffea arabica* L. I. — Methods of preselection for resistance. *Kenya Coffee* (Nairobi), 42 (493) : 133-144, 1977.
30. S. VISHVESHVARA, A. G. GOVINDARAJAN. — Studies on Híbrido de Timor coffee collection. *Indian Coffee* (Bangalore), 34 (3) : 71-77, 1970.

Nous remercions vivement le « Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro », pour l'identification des races physiologiques de l'*Hemileia vastatrix* et pour son appui dans l'introduction des variétés et des hybrides du genre *Coffea*.

GONÇALVES (M. Mayer), RODRIGUES (M. Lima), MEXIA (J. Nunes), DAEHNARDT (E.). — **Amélioration de la caféiculture à Timor face à l'*Hemileia vastatrix* B. & Br.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 515-522, tabl., photos, réf.

L'*Hemileia vastatrix* B. & Br. est un problème phytopathologique grave et de grande répercussion économique à Timor, où le café constitue presque la totalité de l'exportation du territoire ; cependant, la « découverte » de l'Hybride de Timor et sa remarquable résistance à la rouille sont en train de réduire les effets de cette maladie.

Outre la sélection de l'Hybride de Timor, qui manifeste un appréciable potentiel de production dans son habitat naturel, l'amélioration de la caféiculture face à la maladie a compris la prospection et l'identification de dix races physiologiques de l'*Hemileia vastatrix* — I, II, III, IV, XV, XXII, XXV, XXVI, XXIX et XXX — et l'introduction de variétés et d'hybrides résistants ou peu sensibles aux mêmes races.

Les essais effectués nous ont permis de constater que le « Caturra Vermelho × Híbrido de Timor », à cause de son port réduit, de sa bonne adaptation aux conditions locales et, surtout, de sa résistance à l'*Hemileia vastatrix* et de son potentiel de production, constitue un matériel viable pour la caféiculture de Timor.

GONÇALVES (M. Mayer), RODRIGUES (M. Lima), MEXIA (J. Nunes), DAEHNHARDT (E.). — **Melhoramento da cafeicultura em Timor face à *Hemileia vastatrix* B. & Br.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 515-522, tabl., photos, réf.

A *Hemileia vastatrix* B. & Br. tem sido um grave problema fitopatológico e de grande projecção económica em Timor, onde o café constitui a quase totalidade da exportação do território ; contudo, a « descoberta » do Híbrido de Timor e a sua marcada resistência à ferrugem, vem restringindo os efeitos da doença.

GONÇALVES (M. Mayer), RODRIGUES (M. Lima), MEXIA (J. Nunes), DAEHNARDT (E.). — **Coffee culture improvement in Timor taking *Hemileia vastatrix* B. and Br. into account.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 515-522, tabl., photos, réf.

The phytopathological problem of *Hemileia vastatrix* B. and Br. is a very serious one and has a great economical incidence in Timor where coffee forms almost all the exportation of the country. Nevertheless the « discovery » of the Timor hybrid and its noteworthy resistance to rust, is now reducing the effect of this disease.

In addition to the selection of the Timor hybrid which reveals an appreciable potential of production in its indigenous habitat, the coffee tree improvement for the disease has included the survey and the identification of ten physiological races of *Hemileia vastatrix* — I, II, III, IV, XV, XXII, XXV, XXVI, XXIX and XXX — and then the introduction of varieties and hybrids which were resistant or not very susceptible to these races.

The trials carried out allowed us to ascertain that « Caturra Vermelho × Híbrido de Timor », owing to its small size, its good adaptation to the local conditions and especially its resistance to *Hemileia vastatrix* and its noticeable production potential constitutes a viable material for coffee culture in Timor.

Para além da selecção do Híbrido de Timor, que manifesta um apreciável potencial de produção no seu habitat natural, o melhoramento da cafeicultura face à doença incluiu a prospecção e identificação de dez raças fisiológicas de *Hemileia vastatrix* — I, II, III, IV, XV, XXII, XXV, XXVI, XXIX e XXX — e a introdução de cultivares e híbridos resistentes ou pouco susceptíveis às mesmas.

Os ensaios efectuados permitiram constatar que o Caturra Vermelho × Híbrido de Timor, pelo seu porte reduzido, boa adaptação às condições locais e, fundamentalmente, resistência à *Hemileia vastatrix* e potencial de produção manifestado, constitui um material viável para a cafeicultura timorense.

FIELD EVALUATION STUDIES OF SOME SELECTIONS OF *COFFEA ARABICA* L. AND TETRAPLOID INTERSPECIFIC HYBRIDS OF *C. ARABICA* × *COFFEA* SPP., BEARING DIFFERENT FACTORS FOR RUST RESISTANCE, UNDER THE CONDITIONS OF THE ESTAÇÃO REGIONAL DO UÍGE (ANGOLA)

M. F. N. CARNEIRO, A. J. BETTENCOURT

Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro
Oeiras, Portugal

D. T. FERNANDES

Instituto do Café de Angola, Luanda

Introduction

With the purpose of fighting *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., the causal agent of the coffee leaf rust, with new varieties less affected by the fungus than the traditional ones, the Instituto do Café de Angola (ICA) started out in 1966, in the Estação Regional do Uíge (ERU), a breeding programme for rust resistance in *Coffea arabica* L.

In order to improve the germplasm collection of *Coffea* sp. in the ERU, selections of *C. arabica* and tetraploid interspecific hybrids of *C. arabica* × *Coffea* spp. bearing factors for resistance to *H. vastatrix* were introduced from the Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) at Oeiras. A narrow cooperation was maintained with this Center regarding the screening of the new introductions for rust resistance, a task that was considered indispensable to proceed with the coffee selection at the Station.

In the present work a notice is given of the observations made in two plots 21 ERU and 22 ERU for adaptation studies, and the results obtained until 1974 are discussed.

Material and Methods

The work carried out since 1966/67 to 1973/74 (4) at the Station utilized 54 introductions forwarded by the CIFC (tables I and II). The behaviour of this material was evaluated in two experiments with randomized blocks 4 × 4.

Both experimental plots were surrounded by two lateral edges of the selection K.7. Two selections were used as controls : Caturra Vermelho, of small size, and Bourbon 43 — 7 × RP.13 of regular size. Experiment 21 ERU was set up in November 1969 and included twenty nine different introductions (table I, p. 524). Experiment 22 ERU was set up in 1970 and included twenty seven different introductions (table II, p. 524).

The coffee seedlings used in the experiments were selected in the nurseries regarding resistance to the local prevalent races of *H. vastatrix* I, II, III, VII, XV and XXVIII (4, 5), by artificial inoculation with a mixture of inoculum collected in Arabica and Robusta trees. Only the seedlings presenting a reaction equal to or less than the type 2 were selected.

The behaviour of the coffee plants in the experiments was evaluated having in consideration the following parameters yield, size, vigour [scale 1-10 of Carvalho and Monaco (2)] and percentages of empty-fruits/moca and shell beans. These latter data were however lost and can not be included in the two final tables (tables III and IV, p. 525).

Results and conclusions

The high number of seedlings that died as a consequence of the weak adaptability of some of the introduced material made it impossible to make a statistical interpretation of the results. For this reason the evaluation of the coffee plants was limited to the registration of their cumulative average yields and the observation of the number of « failures » per progeny.

Table I. — Registration number, designation, physiologic group and factors for rust resistance of the coffee plant material used in experiment 21 ERU

Introduction ERU	Designation	Physiologic group	S _H factors or group A factors
179	CIFC 66/1 - S. 16 Wollamo	D	2-5
180	CIFC 103/3 - K. 7	D	2-5
181	CIFC 110/1 - S. 4 Agaro	J	4-5
182	CIFC 113/1 - S. 6 Cioiciee	J	4-5
200	CIFC 113/2 - S. 6 Cioiciee	J	4-5
201	CIFC 34/13 - S. 353 4/5	H	2-3-5
202	CIFC 1343/136 - Híbrido de Timor	A	Group A factors
206	CIFC 2567 - Híbrido de Timor	A	Group A factors
207	CIFC 2568 - Híbrido de Timor	A	Group A factors
208	CIFC 2569 - Híbrido de Timor	A	Group A factors
209	CIFC 2570 - Híbrido de Timor	A	Group A factors
210	CIFC 2571 - Híbrido de Timor	A	Group A factors
214	Mozambique - Kent's	D	2-5
184	CIFC 1012/10 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
185	CIFC HW. 11/1 -22 - Caturra Vermelho x Cioiciee	J	4-5
186	CIFC HW. 11/4 -33- Caturra Vermelho x Cioiciee	J	4-5
187	CIFC HW. 11/1 -43- Caturra Vermelho x Cioiciee	J	4-5
188	CIFC HW. 11/4 -43- Caturra Vermelho x Cioiciee	J	4-5
189	CIFC HW. 26/1 - Caturra Vermelho x H. Timor	A	Group A factors
190	CIFC H. 46/9 - Caturra Vermelho x H. Timor	A	Group A factors
273	CIFC HW. 26/7 - Caturra Vermelho x H. Timor	A	Group A factors
274	CIFC H. 196/1 - H. Timor x Caturra	A	Group A factors
275	CIFC H. 226/7 - Caturra Vermelho x KP 423	D	2-5
276	CIFC H. 226/10 - Caturra Vermelho x KP 423	D	2-5
277	CIFC H. 275/13 - Caturra Vermelho x S. 795	G	3-5
289	CIFC 1012/1 - 10 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
290	CIFC 1012/1 - 26 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
293	CIFC 1015/4 - 66 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
294	CIFC 1019/1 - 1 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
T.C.	Testemunha Caturra	E	5
T.N.	Testemunha normal	E	5

Table II. — Registration number, designation, physiologic group and factors for rust resistance of the coffee plant material used in experiment 22 ERU

Introduction ERU	Designation	Physiologic group	S _H factors or group A factors
14/6	CIFC 103/7 - K. 7	D	2-5
18/1	CIFC 810/5 - BE - 5 Wash-Wash	E	5
18/2	CIFC 810/5 - BE - 5 Wash-Wash	E	5
106/3	CIFC HW. 7/3 - S. 4 Agaro x Caturra	J	4-5
106/2	CIFC HW. 7/3 - S. 4 Agaro x Caturra	J	4-5
106/3	CIFC HW. 7/3 - S. 4 Agaro x Caturra	J	4-5
311	CIFC HW.26/12 - Caturra Vermelho x Híbrido de Timor	A	Group A factors
312	CIFC HW.26/13 - Caturra Vermelho x Híbrido de Timor	A	Group A factors
313	CIFC H. 46 - Caturra Vermelho x Híbrido de Timor	A	Group A factors
326	CIFC HW.26/7 - Caturra Vermelho x Híbrido de Timor	A	Group A factors
336	CIFC 1012/1-38 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
337	CIFC 1012/1-44 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
338	CIFC 1012/1-49 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
339	CIFC 1015/4-64 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
340	CIFC 1015/4-66 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
341	CIFC H. 176/2 - Caturra x Dilla & Alghe	C	1-5
343	CIFC 1344/10 - S. 795	G	3-5
344	CIFC 1344/19 - S. 795	G	3-5
345	CIFC H. 474 - Caturra Amarelo x (Geisha x DK 1/6)	L	1-2-5
346	CIFC HW.11/4-17 - Caturra Vermelho x S.6 Cioiciee	J	4-5
347	CIFC 1012/1-60 - Caturra Vermelho x Geisha	C	1-5
349	CIFC H.133 - Caturra x (Geisha) x Híbrido de Timor	A	Group A factors
350	CIFC 108/6 - KP 423	D	2-5
351	CIFC H.460 - Caturra 7817 x Caturra Vermelho	W	1-4-5
352	CIFC 1119/4 - KP. 532	D	2-5
353	CIFC 108/6 - KP. 423	D	2-5
355	CIFC 1119/4 - KP. 532	D	2-5
14/1	CIFC 103/3 - K. 7 Bordadura	D	2-5
T.C.	Testemunha Caturra (19/1)	E	5
T.N.	Testemunha normal - Bourbon 43/7 x RP - 13	E	5

Table III. — Registration number, number of live plants, number of dead plants, vigour, cumulative average yield of the progeny plants, and number of selected coffee trees in experiment 21 ERU

Introduction ERU	Live plants number	Dead plants numbers	Vigour (N° of points)	Yield (1971-74) (kg of berries)	Selected coffees number
202	2	16	5	21,412	1
294	1	17	7	19,648	-
214	9	9	6	16,522	6
277	16	2	6	16,380	5
180	6	12	5	15,992	1
T.N.	16	2	5	15,805	-
206	4	14	3	15,172	1
275	9	9	5	13,708	6
276	13	5	6	12,517	7
274	8	10	4	12,080	3
210	14	4	4	11,384	1
293	13	5	9	11,152	-
189	10	8	6	9,740	5
185	2	16	7	9,333	-
273	13	5	5	8,984	3
209	14	4	5	8,241	-
T.C.	17	1	6	8,241	-
187	5	13	7	7,881	-
181	5	13	4	7,548	-
190	3	15	5	7,517	-
201	11	7	5	7,341	-
179	18	-	5	6,194	-
289	4	14	7	6,149	-
207	12	6	4	6,050	1
200	5	13	6	5,208	-
184	5	13	8	5,204	-
182	5	13	8	5,120	-
186	2	16	8	3,616	-
188	-	-	-	-	-
208	-	18	-	-	-
290	-	18	-	-	-

Table IV. — Registration number, number of live plants, number of dead plants, vigour, cumulative average yield of the progeny plants, and number of selected coffee trees in experiment 22 ERU

Introduction ERU	Live plants number	Dead plants number	Vigour (N° of points)	Yield (1972-74) (Kg of berries)	Selected coffees number
351	13	5	8	14,364	-
353	14	4	6	14,198	15
106/2	13	5	3	13,456	-
345	11	7	7	12,516	11
344	18	-	6	12,161	9
349	5	13	7	11,877	2
343	17	1	7	11,715	16
338	12	6	6	8,753	4
14/6	18	-	-	8,444	-
341	6	12	5	8,346	-
355	12	6	7	8,221	-
337	16	2	6	8,138	4
TN	15	3	6	8,020	-
312	14	4	5	7,836	4
311	15	3	6	7,791	4
340	18	-	7	7,664	1
106/3	15	1	4	7,645	-
352	17	1	6	7,479	-
313	11	7	4	6,937	4
326	13	5	6	6,786	9
TC	9	9	6	6,709	-
106/3	10	8	6	6,237	-
346	9	9	6	5,185	-
339	17	1	6	5,169	-
347	17	1	5	4,425	3
18/2	8	10	6	2,704	-
18/1	9	9	8	2,325	-
336	-	-	-	-	-
350	-	18	-	-	-

Based on these data and also on vigour, uniformity and rust resistance characteristics, a number of plants which might be of interest for the establishment of new progeny experiments are indicated as follows :

Introductions bearing the rust resistance gene S_H1 (1)

Small size (alele Ct) : ERU 337 (Caturra Vermelho \times Geisha - F_3) - numbers 339, 371, 372, 373 ; ERU 338 (Caturra Vermelho \times Geisha - F_3) - numbers 206, 357, 375, 376 ; ERU 340 (Caturra Vermelho \times Geisha - F_3) - number 423 ; ERU 347 (Caturra Vermelho \times Geisha - F_3) - numbers 236, 237, 246.

These introductions were also noticeable for their drought resistance.

Introductions bearing the rust resistance gene S_H2

Although much affected by rust race I which largely spread in the experimental plots since 1971, the following plants might be indicated :

Small size (alele Ct) : ERU 275 (Caturra Vermelho \times KP 423 - F_2) - numbers 458, 459, 510, 577, 578, 580 ; ERU 276 (Caturra Vermelho \times KP 423 - F_2) - numbers 483, 486, 492, 493, 494, 541, 568.

Regular size : ERU 353 (KP 423) - numbers 100, 101, 102, 103, 118, 120, 121, 176, 177, 180, 194, 195, 196, 197, 198 ; ERU 180 (K. 7) - number 163 ; ERU 214 (Kent's) - numbers 145, 147, 148, 199, 200, 201.

Introductions bearing the rust resistance gene S_H3

Small size (alele Ct) : ERU 277 (Caturra Vermelho \times S.795 - F_2) - numbers 506, 519, 520, 528, 606.

Regular size : ERU 343 (S.795) - numbers 28, 29, 30, 31, 109, 111, 112, 113, 127, 128, 129, 131, 168, 169, 170, 171 ; ERU 344 (S.795) - numbers 32, 33, 35, 36, 56, 57, 58, 191, 192.

Introductions bearing rust resistance genes S_H1 S_H2

ERU 345 (Caturra Amarelo \times Geisha \times DK 1/6 F_1) - numbers 277, 278, 343, 344, 346, 347, 388, 391, 434, 435, 436.

Introductions bearing one or more rust resistance genes of group A

Small size (alele Ct) : ERU 189 (Caturra Vermelho \times Híbrido de Timor F_2) - numbers 322, 323, 375, 376, 377 ; ERU 273 (Caturra Vermelho \times H. Timor F_2) - numbers 536, 538, 602 ; ERU 274 (H. Timor \times Caturra Vermelho - F_2) - numbers 466, 468, 481 ; ERU 311 (Caturra Vermelho \times H. Timor - F_2) - numbers 241, 242, 316, 319 ; ERU 312 (Caturra Vermelho \times H. Timor - F_2) - numbers 398, 399, 490, 496 ; ERU 326 (Caturra Vermelho \times H. Timor - F_2) - numbers 271, 272, 274, 280, 282, 289, 290, 293, 315 ; ERU 349 (Caturra \times Geisha) \times H. Timor - F_1) - numbers 447, 449.

Regular size. The following plants presented reasonable yields and rust resistance but little vigour : ERU 202 (Híbrido de Timor) - number 183 ; ERU 206 (H. Timor) - number 251 ; ERU 207 (H. Timor) - number 161 ; ERU 210 (H. Timor) - number 126.

Using this material in new progeny experiments there will be good prospectives of obtaining in the future coffee selections with partial or total resistance to the races of *H. vastatrix* and with good yield characteristics for the ERU environmental conditions.

It is worth emphasizing the good behaviour of some of these progenies in the Universidade Federal de Viçosa (3) (Brazil), where they were forwarded to through the good offices of the CIFC.

BIBLIOGRAFIA

1. A. J. BETTENCOURT, A. CARVALHO. — Melhoria visando a resistência do cafeeiro a ferrugem. *Bragantia* (Campinas), vol. 27, t. 1, nº 4, fév. 1968, p. 35-68.
2. A. CARVALHO, L. C. MONACO. — Transferência do factor Caturra para cultivar « Mundo Novo » de *Coffea arabica*. *Bragantia* (Campinas), vol. 31, nº 31, déc. 1972, p. 379-399.
3. S. M. CHAVES, A. J. BETTENCOURT, L. ZAMBOLIN, J. CRUZ FILHO. — Comportamento de progenies F_3 de híbridos « Catimor » recebidos do Centro de Investigação das

- Ferrugens do Cafeeiro pela Universidade Federal de Viçosa. 4º Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras Caxambu/M.G., 23-26 nov. 1976, Resumos, IBC-GERCA, Rio de Janeiro, 1977, p. 220-224.
4. Relatórios anuais sobre trabalhos de melhoramento do cafeeiro. Estação Regional de Uíge 1968-1974.
5. C. J. RODRIGUES Jr, A. J. BETTENCOURT, L. RIJO. — Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Annual Review of Phytopathology*, vol. 13, 1975, p. 49-70.

CARNEIRO (M. F. Neves), BETTENCOURT (A. J.), FERNANDES (D. T.). — Estimation en champ de quelques sélections de *Coffea arabica* L. et d'hybrides interspécifiques tétraploïdes de *Coffea arabica* L. × *Coffea* spp., porteurs de différents facteurs de résistance à la rouille, dans les conditions de la Station Régionale de Uíge (Angola). VIII^e Colloque Scientifique International sur le café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 523-527, tabl., réf.

Le but de ce travail était de contribuer à l'évaluation en champ de quelques cultivars de *Coffea arabica* dans les conditions de la Station régionale de Uíge, station expérimentale de l'ancien Institut du Café de l'Angola. Les cultivars à l'essai, fournis par le Centre de Recherches sur les rouilles du caféier, possédaient différents gènes pour la résistance aux races de *Hemileia vastatrix* B. et Br., qui est peut-être l'agent pathogène le plus important attaquant le caféier en Angola.

Deux essais en champ ont été mis en place en blocs pris au hasard (4 × 4) dans les parcelles 21 ERU et 22 ERU, respectivement en 1969 et 1970.

L'enregistrement, pour chaque cultivar, du rendement et d'autres caractéristiques telles que l'uniformité, la vigueur végétative, la résistance à la rouille, la résistance à la sécheresse, etc... permet de tirer quelques conclusions préliminaires qui sont discutées.

CARNEIRO (M. F. Neves), BETTENCOURT (A. J.), FERNANDES (D. T.). — Field evaluation studies of some selections of *Coffea arabica* L. and tetraploid interspecific hybrids of *Coffea arabica* L. × *Coffea* spp., bearing different factors for rust resistance, under the conditions of the Estação Regional do Uíge (Angola). VIII^e Colloque Scientifique International sur le café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC, (Paris), 1979, p. 523-527, tabl., réf.

The purpose of this work was to give a contribution to the field evaluation of some cultivars of *C. arabica* under the conditions of the Estação Regional do Uíge (ERU), an experimental station of the ex-Instituto do Café de Angola. The cultivars under trial, supplied by the Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro, possessed different genes for resistance to the races of *Hemileia vastatrix* B. & Br., perhaps the most important pathogen attacking coffee in Angola.

Two field trials were thus established in randomized blocks (4 × 4) in the plots 21 ERU and 22 ERU, respectively, in 1969 and 1970.

The individual registration of yield and of other characteristics such as uniformity, vegetative vigor, rust resistance, drought resistance, etc... allowed to draw some preliminary conclusions which are discussed.

SUR LA PRÉSENCE EN CÔTE D'IVOIRE DE LA ROUILLE FARINEUSE DU CAFÉIER *HEMILEIA COFFEICOLA* MAUBL. ET ROG. : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE ET ESPÈCES HÔTES

M. LOURD, B. HUGUENIN

ORSTOM, Adiopodoumé, BP V51, Abidjan, Côte d'Ivoire

Observé pour la première fois par Maublanc et Roger sur *Coffea arabica* au Cameroun en 1932, *Hemileia coffeicola* a été signalé depuis dans de nombreux pays d'Afrique centrale : Empire Centrafricain, Zaïre, Gabon, Nigeria, Angola, Ouganda ainsi que dans les îles de São Tomé, Príncipe et Fernando Pô. La plupart des espèces de *Coffea* cultivées dans ces pays sont sensibles au champignon, en particulier *C. arabica*, *C. canephora*, *C. excelsa*, *C. liberica*.

Bien que les auteurs situent son aire d'origine en Afrique centrale, *H. coffeicola* n'a jamais été signalé à ce jour sur les Cofféinées spontanées de ces régions.

Situation actuelle en Côte d'Ivoire

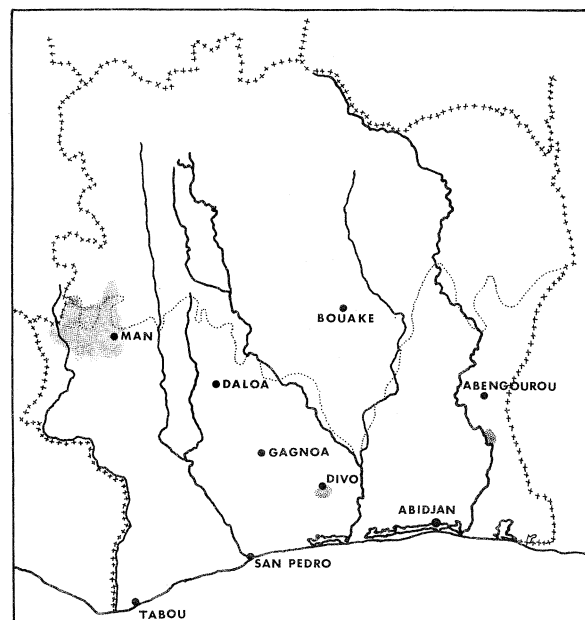
En 1975, Berthaud constatait la présence de symptômes particuliers affectant les feuilles du clone A0, de *C. canephora* en plantation expérimentale au Mont Tonkoui, dans les environs de Man. L'examen de l'échantillon au laboratoire de phytopathologie devait révéler la présence d'*H. coffeicola* dont les caractéristiques morphologiques permettent sans équivoque de le distinguer de *H. vastatrix*.

Les *C. arabica* cultivés au voisinage immédiat de l'arbre infecté ne montraient aucun symptôme. Dans le même temps, la prospection des Cofféinées spontanées permettait de découvrir dans la forêt en bordure de plantation plusieurs plants de *Paracoffea ebracteolata* fortement parasités par *H. coffeicola*.

Au cours de l'année 1976, les prospections phytosanitaires associées à la recherche des caféiers spontanés devaient permettre de localiser le champignon en différents points du massif montagneux dans un rayon de 80 km environ autour de Man (voir cartes 1 et 2), sur

Paracoffea ebracteolata et *Coffea humilis*. La rouille est alors présente sur la plupart des plants de petites populations bien localisées dans le massif forestier. Dans la même région, quelques cas de rouille farineuse ont été observés sur *C. canephora* en plantation villageoise, où elle demeure très discrète et en association avec *H. vastatrix* largement dominant.

Les recherches effectuées dans l'est de la Côte d'Ivoire ont permis de découvrir sur *Psilanthus mannii*,



■ Zones où la rouille farineuse est actuellement connue

Fig. 1. — *Hemileia coffeicola* en Côte d'Ivoire

Tableau I. — Récapitulation des localisations géographiques et plantes hôtes de *Hemileia coffeicola* en Côte d'Ivoire

Localité	Position géographique	Plante hôte	Statut de la plante hôte
Mont Tonkoui	10 km ouest de Man	- <i>Paracoffea ebracteolata</i> - spontanés - <i>C. canephora</i> A0 ₃ - en plantation expérimentale	
Zala	90 km Nord de Man	- <i>Paracoffea ebracteolata</i> - spontanés	
Guéoulé	50 km N.O. de Man	- <i>Paracoffea ebracteolata</i> - spontanés	
Forêt de Tiapleu	70 km Ouest de Man	- <i>C. humilis</i>	- spontanés présence simultanée de <i>H. vastatrix</i>
Trokolimpeu	70 km Ouest de Man	- <i>C. canephora</i>	- plantation villageoise présence de <i>H. vastatrix</i>
Sipilou	70 km N.O. de Man	- <i>C. canephora</i>	- plantation villageoise présence de <i>H. vastatrix</i>
Divo	Station IFCC	- <i>C. canephora</i> A0 ₃	- plantation expérimentale
Man	Station ORSTOM	- <i>C. liberica</i>	- plant de collection
Forêt de Mazan	90 km Sud Abengourou	- <i>Psilanthus manni</i>	- spontanés

espèce apparentée aux *Coffea*, la présence d'une rouille de type *H. coffeicola*. Si les symptômes en sont identiques, quelques différences morphologiques apparaissent cependant à l'observation microscopique. Elles portent essentiellement sur les vésicules mycéliennes sous stomatiques plus nombreuses et sur la forme des suçoirs. De ce fait, sa détermination demeure encore incertaine.

Le parasite a été de nouveau observé sur le clone A0₃ de *C. canephora* en plein champ à la station IFCC de Divo, alors que les *Paracoffea* existant dans la forêt environnante étaient apparemment indemnes.

Enfin, il faut noter qu'un pied de *C. liberica* en collection à la station de Man a été infecté par la rouille alors qu'il se trouvait au voisinage de *Paracoffea* porteur du champignon.

Essais d'inoculation artificielle

Des problèmes techniques liés à la faible quantité d'inoculum recueilli et à la présence d'un hyperparasite : *Paranectria* sp., n'ont pas permis de réaliser un grand nombre d'inoculations expérimentales. Par ailleurs, les conditions d'incubation, imposées par les tests continus d'inoculation d'*Hemileia vastatrix*, semblent peu favorables au développement de *H. coffeicola*. Les premières inoculations réalisées à partir de l'isolat *Paracoffea* sur *C. arabica* du groupe E (sensible à toutes les races de *Hemileia vastatrix*) n'ont donné aucun résultat. Par contre, ce même isolat est virulent à l'égard de *C. racemosa*. Vingt jours après l'inoculation, des sores dispersés et peu fructifiés apparaissent à la face inférieure des feuilles. Aux vues de ce premier résultat, il semble que l'isolat de Côte d'Ivoire s'apparente à celui de Centrafrique, mais diffère de *H. coffeicola* de São Tomé avirulent à l'égard de *C. racemosa*.

De nouvelles séries d'inoculations sont en place à la station de Man afin de déterminer plus précisément la gamme d'hôtes des souches récoltées sur caféiers cultivés et spontanés. Les inoculations portent actuellement sur les hôtes suivants : *C. arabica* groupe E et γ , *C. liberica*, *C. canephora*, *C. racemosa*, *C. stenophylla*, *C. congensis* et différents hybrides interspécifiques *C. arabica* x *C. canephora*.

Conclusions

Deux faits nouveaux résultent de ces premières observations :

- l'existence en Côte d'Ivoire de *Hemileia coffeicola*,
- la présence de cette rouille sur Cofféinées spontanées.

Bien que signalée seulement en 1975, la rouille farineuse est sans aucun doute établie en Côte d'Ivoire depuis plusieurs années, en particulier sur caféiers cultivés. En effet, des recherches effectuées récemment sur échantillons d'herbier ont permis de caractériser le champignon sur feuilles de *C. canephora* récoltées en 1972 en plantation villageoise dans la région de Man. La discrétion des symptômes et la présence toujours dominante de *H. vastatrix* pourraient expliquer que l'existence de *H. coffeicola* soit demeurée insoupçonnée. De plus, la bonne tolérance des *C. canephora*, à l'exception du clone A0₃, expliquerait sa faible dispersion en plantation et les dégâts très limités qui en résultent.

La présence de *H. coffeicola* sur *Coffea* et genres voisins à l'état spontané n'a été révélée qu'à la suite de prospections orientées vers cette recherche. Son existence est vraisemblablement ancienne étant donné le nombre des foyers et leur dispersion au sein du massif montagneux de l'ouest du pays. Ces foyers, qui corres-

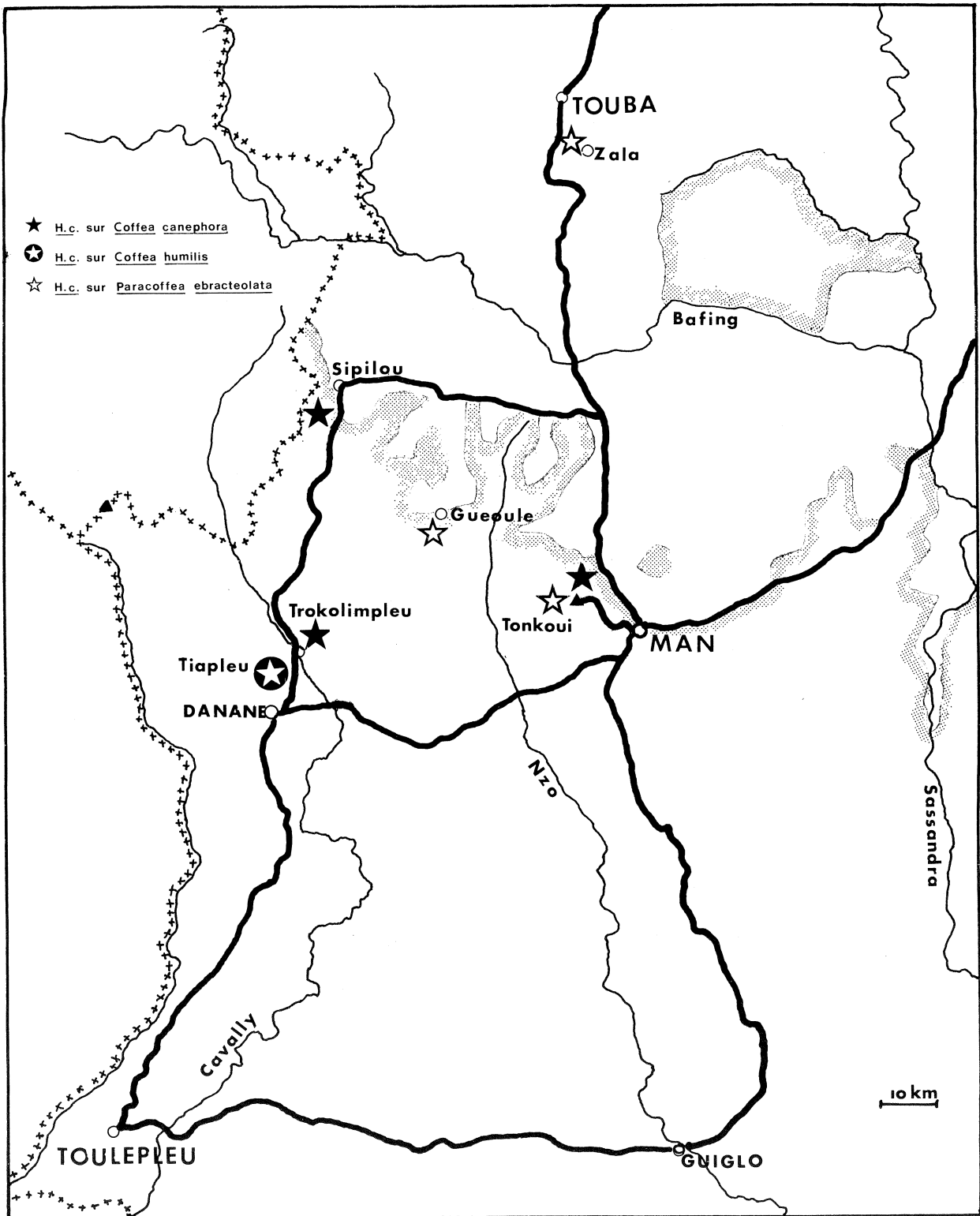


Fig. 2. — Région de Man : stations où *Hemileia coffeicola* a été observé

pondent à des petites populations de *Coffea* ou *Paracoffea*, sont parfaitement isolés dans un milieu forestier fermé et par conséquent peu propice à la pénétration extérieure. Ces conditions bien particulières posent le problème du statut d'hôtes primaires de ces espèces sylvestres à partir desquelles la rouille aurait pu se propager à la faveur d'ouvertures créées par l'exploitation forestière. Contrairement à l'Afrique centrale, l'absence de cultures de *C. arabica*, particulièrement sensible, et la bonne tolérance des *C. canephora* n'auraient pas permis son extériorisation.

Ces observations nous conduisent à poser deux questions :

— L'aire d'origine de *H. coffeicola* est-elle réellement limitée à une zone géographique déterminée, comme on le pensait jusqu'ici pour l'Afrique centrale, ou faut-il réviser cette conception en tenant compte des aires de répartition des Cofféinées spontanées, hôtes possibles de l'*Hemileia* ?

— L'isolat de Côte d'Ivoire constitue-t-il un pathotype particulier, distinct de ceux d'Afrique centrale ? Afin d'apporter quelques éléments de réponse à la

première question, à l'échelle de la Côte d'Ivoire, un programme de prospections étendues à l'ensemble de la zone forestière est mis en place afin, d'une part, de préciser l'aire de répartition de la rouille et, d'autre part, de déceler sa présence éventuelle sur d'autres espèces de *Coffea* vivant à l'état spontané : *C. canephora*, *C. liberica* et *C. stenophylla*.

Concernant la deuxième question, les tests d'inoculations expérimentales seront poursuivis avec les objectifs suivants :

— caractérisation de l'*Hemileia* observé sur *Psilanthus*,

— détermination de la gamme d'hôtes des différents isolats,

— évaluation de la résistance des nouveaux hybrides interspécifiques *C. canephora* x *C. arabica*.

Etant donné la faible sensibilité à cette maladie des *C. canephora*, espèce sur laquelle repose la caféiculture ivoirienne, la présence de la rouille farineuse n'altère pas sérieusement l'état sanitaire des plantations et n'a, de ce fait, qu'une incidence tout à fait négligeable sur la production caféière.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. GOUJON, M. LOURD, S. DIGBEU KEULI, 1977. — L'apparition de la rouille farineuse (*Hemileia coffeicola* Maubl. et Rog.) en Côte d'Ivoire. Son origine possible (à paraître).
2. A. MAUBLANC, L. ROGER, 1934. — Une nouvelle rouille du caféier au Cameroun. *Bull. Soc. Myc. Fr.* (Paris), 50, 193-202.
3. R. A. MULLER, 1975. — *Hemileia coffeicola* Maubl. et Rog. : importance, extension et danger potentiel pour la caféiculture mondiale. Quelques aspects de ses relations avec

l'hôte et le milieu cultural. Problèmes posés. VII^e Colloque International sur la Chimie des Cafés, Hambourg, 9-14 juin 1975, ASIC (Paris), p. 413-422.

4. C. J. RODRIGUES Jr, 1956. — Nota sobre a reistência de algumas especies de *Coffea* à *Hemileia coffeicola* Maubl. et Rog. *Rev. Café Poertugûes* (Lisbonne), 3, 12, 48-71.

5. A. M. SACCAS, 1972. — La rouille farineuse des caféiers due à *Hemileia coffeicola* Maubl. et Rog., IFCC (Paris), Bull. n° 11, 68 p.

LOURD (M.), HUGUENIN (B.). — Sur la présence en Côte d'Ivoire de la rouille farineuse du caféier *Hemileia coffeicola* Maubl. et Rog. : répartition géographique et espèces hôtes. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café (Abidjan), 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 529-532, tabl., cartes, réf.

LOURD (M.), HUGUENIN (B.). — On the occurrence of coffee grey rust *Hemileia coffeicola* Maubl. and Rog. in Ivory Coast : geographical distribution and host species. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 529-532, tabl., cartes, réf.

L'*Hemileia coffeicola*, champignon responsable de la rouille farineuse du caféier, a été observé en 1975 dans les environs de Man, en Côte d'Ivoire. Il a été repéré depuis sur des Cofféinées spontanées de cette même région ainsi que sur *Coffea canephora* en plantation villageoise.

Des cartes et un tableau donnent les localisations géographiques et les plantes hôtes de *H.c.* en Côte d'Ivoire.

Des essais d'inoculation sont en cours.

En conclusion, les auteurs pensent qu'il sera nécessaire de réviser la conception actuelle de l'aire d'origine de *Hemileia coffeicola* et de rechercher si l'isolat de Côte d'Ivoire constitue un pathotype particulier, distinct de ceux d'Afrique centrale.

Hemileia coffeicola, the fungus responsible for coffee grey rust, was observed in 1975 in the neighbourhood of Man in Ivory Coast. Since it has been detected in wild coffee plants in the same region, as also in *Coffea canephora* on small holder plantations.

Maps and a table give the geographical locations and the names of the host plant of *H.c.* in Ivory Coast.

Inoculation trials are in progress.

In conclusion, the authors state that they believe that it is necessary to revise the present concept of the area of origin of *Hemileia coffeicola* and to find out whether the isolate from Ivory Coast constitutes a particular pathotype, distinct from those of Central Africa.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES RELATIONS HÔTE-PARASITE ENTRE LA ROUILLE FARINEUSE (*HEMILEIA COFFEICOLA*) ET LE CAFÉIER (*COFFEA CANEPHORA* VAR. *ROBUSTA*) AU CAMEROUN

F. MASSAUX, C. MISSE, C. TCHIENDJI, M. LACROIX

Laboratoire d'Applications des Radio-isotopes à l'Agriculture,
ENSA, Yaoundé, Cameroun

M. TARJOT

Institut Français du Café et du Cacao,
ONAREST, Yaoundé, Cameroun

Le problème posé par l'*Hemileia coffeicola*

Les recherches dont nous allons parler dans cette communication ont été menées conjointement au Cameroun par l'équipe du Laboratoire des Radio-isotopes de l'ENSA de Yaoundé et par le Laboratoire du Centre de Recherches de l'ONAREST.

Pour situer le problème, il faut noter :

— d'une part, que par la diversité de son climat et de son relief, le Cameroun permet la culture des deux principales espèces de caféier :

- le *Coffea arabica*
- le *Coffea canephora* var. *robusta*

— d'autre part, que ces caféiers sont attaqués à la fois par la rouille orangée due à l'*Hemileia vastatrix* et par la rouille farineuse due à l'*Hemileia coffeicola*.

L'*Hemileia vastatrix* est une rouille relativement facile à observer, dont l'effet défoliant est très accusé, ce qui provoque l'affaiblissement des caféiers.

L'*Hemileia coffeicola* joue un rôle beaucoup plus difficile à discerner. Notons tout d'abord que ce parasite ne provoque pas de symptômes aussi nets que ceux de la rouille orangée et qu'il peut passer inaperçu à un observateur non avisé.

Par ailleurs, il se rencontre sur caféiers Arabica à des altitudes très variées (nous l'avons observé de 1.100 à 1.800 m) et sur caféiers Robusta pratiquement jusqu'au niveau de la mer.

Enfin, son pouvoir défoliant est extrêmement faible comme l'ont montré des observations effectuées à la fois sur Arabica et sur Robusta.

Le problème qui se pose est donc de savoir **quel peut être son rôle exact** : affaiblit-elle les caféiers ou, au contraire, ne joue-t-elle qu'un rôle tout à fait secondaire ?

Des recherches ont donc été entreprises sur les relations hôte-parasite en travaillant dans un premier temps sur des caféiers Robusta, ceci pour des raisons de commodité, le laboratoire étant situé dans l'aire de culture de cette espèce.

Le plan de travail suivant a été retenu :

— Etude de la sensibilité du matériel végétal disponible.

— Analyse de quelques composants des tissus foliaires, en relation avec la sensibilité à l'*Hemileia coffeicola* et avec le degré d'infestation de la feuille.

Ces analyses ont été effectuées soit par des méthodes classiques, soit par l'utilisation des radio-isotopes.

Connaissance du matériel végétal

Ces recherches ne pouvaient être effectuées que si l'on disposait d'un matériel végétal dont la sensibilité à la rouille farineuse fut connue.

L'amélioration de la culture du caféier Robusta au Cameroun est basée sur la vulgarisation de clones sélectionnés. Des collections importantes de clones d'origines diverses sont en plantation en différents emplacements : ce matériel végétal a été étudié.

Pour ce faire, on suit mensuellement, pendant la période favorable au parasite (de mai à décembre) l'évolution d'un certain nombre de rameaux : nombre de feuilles, présence ou absence de rouille farineuse.

A partir de ces données, on a pu définir, pour chacun des clones observés, le **pourcentage moyen d'attaque** (PMA). Ce paramètre, qui sera utilisé lors des analyses ultérieures, va de 0 (pour un clone entièrement indemne) à 100 (pour un clone dont toutes les feuilles seraient atteintes en permanence).

Pour les analyses, quinze clones ont été retenus :

— Six d'entre eux sont fortement contaminés (PMA compris entre 60 et 75).

— Six autres sont peu atteints (PMA compris entre 0 et 7).

— Les trois autres ont une sensibilité intermédiaire.

Recherches sur la composition de la feuille

Différentes analyses ont été effectuées et ont permis de déterminer les teneurs des feuilles en eau, en chlorophylle et en éléments minéraux.

Teneur en eau des feuilles

Après des essais préliminaires visant à mettre au point le mode de prélèvement des échantillons (position de la feuille sur le rameau, période de la journée), nous avons étudié :

— Les variations de la teneur en eau en fonction du degré d'infestation de la feuille. Aucun résultat intéressant n'a pu être mis en évidence.

— Les variations de la teneur en eau selon la sensibilité clonale : dans ce cas, les analyses sont effectuées sur des feuilles d'apparence saine. Des corrélations négatives significatives ont pu être dégagées entre PMA et teneur en eau. Les clones présentant **la plus grande sensibilité** sont ceux dont le limbe est le **plus riche en eau**.

Teneur en chlorophylle des feuilles

L'examen des données a permis de montrer que la teneur en chlorophylle des feuilles subit une diminution de plus en plus importante au fur et à mesure que se développe l'infestation par l'*Hemileia coffeicola*.

Le pouvoir assimilateur des caféiers doit certainement être amoindri par la présence de l'agent pathogène.

Teneur en éléments minéraux des feuilles

Les dosages ont porté sur : P_2O_5 - K - Ca - Mg - N - C

— En fonction du degré d'attaque de la feuille : plus celle-ci est parasitée, plus sa teneur en P_2O_5 est faible.

— En fonction de la sensibilité clonale, sur des feuilles d'apparence saine : les clones les plus sensibles sont ceux dont les feuilles ont la teneur en P_2O_5 la plus élevée.

En ce qui concerne le carbone, c'est l'inverse qui se

passé : les clones les plus sensibles sont ceux dont la teneur en carbone est la plus faible.

Ces analyses, de type classique, seront poursuivies. Cependant, l'emploi des radio-isotopes permettant de travailler sur des organes végétaux « *in situ* » pouvait apporter des données supplémentaires.

Premiers travaux avec les radio-isotopes

Deux thèmes de recherche ont été retenus :

— d'une part, sur des arbres présentant déjà des symptômes de rouille farineuse, suivre l'évolution de l'absorption de différents radio-éléments en fonction de l'évolution des symptômes ;

— d'autre part, en travaillant sur des clones de sensibilité différente, étudier l'absorption des radio-éléments en fonction de ces différences de comportement.

Matériel et méthodes

Nous travaillons sur de jeunes caféiers âgés d'environ un an, cultivés en solution nutritive. Suivant l'essai, nous avons utilisé soit des arbres déjà contaminés naturellement, soit inoculés expérimentalement.

Dans cette première phase des recherches, nous avons utilisé le ^{32}P et le ^{45}Ca . Les radio-éléments sont en général introduits dans la solution nutritive. Dans quelques cas, l'apport s'est fait directement sur la face supérieure de la feuille. Les mesures de radio-activité se font au moyen d'un tube Geiger.

Absorption du P_2O_5 marqué au ^{32}P suivant le degré d'attaque de la feuille

De jeunes caféiers portant à la fois des feuilles saines et des feuilles infectées par l'*Hemileia coffeicola* à des degrés divers sont étudiés pendant plus d'un mois à compter de la date d'apport du radio-élément.

L'absorption du ^{32}P est rapide chez les feuilles saines, plus lente chez les feuilles atteintes. Plus les feuilles sont infectées, plus l'absorption est lente.

Les résultats obtenus précédemment lors de l'analyse de la teneur en P_2O_5 des feuilles se trouvent donc confirmés.

Absorption du P_2O_5 (^{32}P) et du Ca (^{45}Ca) suivant les dates d'inoculation

Cette étude sera réalisée sur clones de sensibilité différente. Dans ce document, nous parlerons des premiers résultats obtenus avec un clone plus sensible.

— **Apport du P_2O_5 (^{32}P) dans la solution nutritive**
Le radio-élément est apporté au jour J_0 et des inoculations expérimentales sont effectuées à des dates échelonnées après cet apport.

On note que la consommation en phosphore des feuilles adultes est d'autant plus élevée que la date d'inoculation est proche de celle du marquage, alors

qu'aucun symptôme extérieur ne permet encore d'identifier la présence de la rouille farineuse.

Comme nous avons établi précédemment que les feuilles adultes d'apparence saine des clones sensibles ont une teneur en P_2O_5 supérieure à celle des clones peu sensibles, on peut se poser la question de savoir si c'est un facteur génétique lié au clone ou une conséquence de la présence latente du parasite dans les tissus du limbe.

En fin d'expérience, les différents organes des caféiers sont minéralisés. L'analyse des différentes fractions confirme les résultats précédents. Elle montre en outre que la teneur en phosphore total des organes jeunes a tendance à diminuer avec la précocité de l'inoculation, ce qui fait supposer une mauvaise migration des composés phosphorés des feuilles adultes vers les organes jeunes.

— **Apport du P_2O_5 (^{32}P) sur les feuilles**

Le phosphore absorbé au niveau d'une feuille inoculée est nettement moins bien véhiculé vers les autres feuilles adultes que celui absorbé au niveau d'une feuille saine. Cela confirme les résultats précédents.

— **Apport de ^{45}Ca dans la solution nutritive**

A l'opposé du phosphore, l'absorption du calcium par les feuilles adultes est plus élevée chez les plantes saines que chez les plantes inoculées.

— Signalons enfin que l'analyse de diverses fractions phosphorées de la feuille a permis de montrer que la présence du champignon augmente le taux d'incorporation du ^{32}P dans la fraction des produits phosphorés solubles et le diminue dans les fractions organophosphorées.

MASSAUX (F.), MISSE (C.), TCHIENDJI (C.), LACROIX (M.), TARJOT (M.). — **Contribution à l'étude des relations hôte-parasite entre la rouille farineuse (*Hemileia coffeicola*) et le caféier (*Coffea canephora* var. *robusta*) au Cameroun.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 533-535.

Cette étude a été menée au Cameroun afin de mieux connaître le rôle joué par l'*Hemileia coffeicola*, rouille farineuse du caféier.

La sensibilité du matériel végétal disponible a tout d'abord été évaluée à l'aide d'un paramètre : le « pourcentage moyen d'attaque ».

Les variations des teneurs des feuilles en eau, en chlorophylle et en éléments minéraux en relation avec la sensibilité à *Hemileia coffeicola* et le degré d'infestation de la feuille révèlent que :

— Les clones sont d'autant plus sensibles que le limbe est riche en eau et en P_2O_5 et pauvre en C.

— Les teneurs en chlorophylle baissent avec l'infestation.

— Le phosphore accumulé dans les feuilles à la suite de la présence du champignon est moins disponible pour les autres parties de la plante.

Discussion et conclusion

Les résultats qui viennent d'être présentés ne constituent qu'une première approche dans l'étude du mode d'action d'*Hemileia coffeicola* sur ses hôtes. L'étude sera poursuivie tant sur caféiers Arabica que sur Robusta.

Ils ont néanmoins permis d'apporter quelques précisions sur les relations hôte-parasite. Le rôle joué par la rouille farineuse sur les caféiers n'est certainement pas négligeable. Il est bien évident que des feuilles parasitées, qui voient leur teneur en chlorophylle diminuer avec l'extension de l'infection, seront moins fonctionnelles que des feuilles saines.

Dans l'étude des facteurs responsables de la sensibilité clonale, nous avons pu mettre en évidence les corrélations existant entre cette dernière d'une part, la teneur en eau et la teneur en carbone des tissus d'autre part.

Quant au phosphore, il joue certainement un rôle très important comme l'on montré les résultats obtenus.

Pour résumer, on peut dire que la feuille réagit à la pénétration des filaments infectieux par une accumulation de phosphore dans les tissus du limbe. Par la suite, chez un clone sensible, cette accumulation diminue au fur et à mesure que les symptômes visibles de la maladie (apparition des urédospores) s'accroissent, donc que l'envahissement des tissus par le parasite devient plus important. Enfin, il semble que le phosphore accumulé à la suite de la présence du champignon est moins disponible pour les autres parties de la plante.

MASSAUX (F.), MISSE (C.), TCHIENDJI (C.), LACROIX (M.), TARJOT (M.). — **Contribution to the study of the host-parasite relationship between grey rust (*Hemileia coffeicola*) and the coffee tree (*Coffea canephora* var. *robusta*) in Cameroon.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 533-535.

This study was carried out in Cameroon to gain a better understanding of the role played by *Hemileia coffeicola*, coffee tree grey rust.

The susceptibility of available plant material was first evaluated with the aid of the « average infection percentage » parameter.

Variations in the water, chlorophyll and mineral elements content of the leaves related to susceptibility to *Hemileia coffeicola* and degree of leaf infestation revealed that :

— The clones are all the more susceptible the greater the water and P_2O_5 content and the smaller the C content of the limb.

— The chlorophyll contents decrease with infestation.

— The phosphorus accumulated in the leaves as the result of the presence of the fungus is less available to the other parts of the plant.

INTERNATIONAL CO-OPERATION ON COFFEE RUST RESEARCH : A MEANS OF APPROACHING NATIONS IN A USEFUL COMMON PROJECT

C. J. RODRIGUES Jr

Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro,
Oeiras, Portugal

There are eleven International Centers coordinated by the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) and sponsored by FAO, World Bank and UNDP whose first priority is to carry out research on basic staple food in order to increase food production in the developing world.

Coffee is not a staple food and therefore not included in any of CGIAR programmes. Nevertheless coffee is the second most important product in the international trade and, in some areas of the world, the only source of income for many millions of persons.

As the Technical Advisory Committee of CGIAR recognizes on p. 16 of its 1976 report « not only nutrition but also income, employment, and foreign exchange earnings are essential goals of developing countries. Lack of purchasing power is as critical a cause of malnutrition as problems of food production, and it must not be forgotten that (such commodities) provide in some areas the only source of income to many families while in others they form the major cash component of farming systems in which food is produced largely for subsistence, for example cotton in semi-arid tropics. Moreover, shortage of foreign exchange may be a key constraint on the supply of inputs required to raise food output ».

Coffee growing has faced serious problems, among which the coffee rust, the C.B.D., pests of wide spread occurrence or not, nematode problems, etc.

The coffee rust is perhaps still the most important. On this very moment its presence in Central America is again a motive of alarm for all the region. Understanding the seriousness of the situation, Nicaragua is struggling to eradicate the rust, and in so doing it is defending itself and the surrounding countries of the dangerous consequences of the rust presence.

Since the *H. vastatrix* epidemics in Ceylon, in 1868, the coffee growers face an urgent need for rust resistant material. The search for this material was made at first among coffee species other than *C. arabica*, but after some time the coffee growers attention was directed anew to that species. Exchange of coffee material took place among countries and a number of introductions of *C. arabica* was made from Ethiopia in different occasions by individual efforts and under the auspices of FAO. Seed collections were forwarded to different places and new efforts were made to look for resistant material. These efforts would have probably been disco-ordinated and incomplete, were it not the joint action of several individuals who anticipated the necessity of centralizing the work on coffee screening for rust resistance in a single place outside the coffee growing areas.

The work of the last twenty years has been of true international co-operation on this matter and some remarkable results have already been achieved without any organized financial help. A good example of this co-operation is the existence of the HW 26 derivatives (Caturra Vermelho × Híbrido de Timor) produced and selected at the CIFC, distributed to all the world, and at present well known under the designation of Catimor. The benefits of this co-operation, however, must not be enjoyed only by a few countries but shared by all those interested in the fight against the rust, in accordance with the policy always followed by CIFC. To reach this objective a more intensive co-operation, including the countries whose economy is endangered by the eventual introduction of the disease, is highly recommended. On the other hand, since a great deal is still unknown on several aspects of the coffee-orange rust interactions, new action should be taken through

the intensification of the coffee testing work for rust resistance, exchange of coffee resistant material for evaluation in the field and further local selection, search for new resistance genes, search for the complete life-cycle of the coffee rust and determination of the role played by the so-called « uredinoid teliospores », development of a research front for studies in the histopathology and biochemistry of the resistance, etc. A very important step towards the establishment of a co-ordinated programme of research on coffee diseases, specially the coffee rust, was recently taken in Colombia at the international round-table seminar which was promoted by the Federación

Nacional de Cafeteros de Colombia in co-operation with the Government of the Federal Republic of Germany. The present meeting of ASIC, for the diversity of the attending people seems an excellent opportunity as well to call the attention for the need of a uniform front on coffee rust research.

Since coffee is such an important commodity as it is generally agreed, coffee producing nations should press international organizations for the creation of an international fund to subsidize work on coffee rust and on other diseases of coffee in the most capable research institutions.

RODRIGUES Jr (C. J.). — La coopération internationale pour la recherche sur la rouille du caféier : un moyen de réunir les nations dans un projet utile. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 537-538.

L'auteur de cette brève communication lance un appel aux pays producteurs de café pour qu'ils s'unissent dans la lutte contre la rouille du caféier. Les efforts déjà réalisés par le Centre d'Oeiras au Portugal doivent être poursuivis par tous et les résultats obtenus partagés par tous également.

L'auteur pense par ailleurs qu'un fonds international devrait être créé, fonds qui subventionnerait les travaux de recherche sur la rouille et les autres maladies du caféier dans les organismes de recherches les plus capables.

ÉTUDE SUR LA PRÉSENCE ÉVENTUELLE D' AFLATOXINE, DE STÉRIGMATOCYSTINE ET D' OCHRATOXINE DANS LE CAFÉ VERT

D. de PALO, G. GABUCCI, S. VALUSSI

Trieste

BUT DE LA RECHERCHE

Le but de la présente recherche, demandée par la Direction Générale des Aliments et de la Nutrition du Ministère de la Santé, et effectuée conjointement par le Laboratoire de Chimie concernant la Technologie Commerciale de la Chambre de Commerce et par le Laboratoire de Chimie de la Province de Trieste, a été de mettre au point des méthodes d'analyse parfaitement sûres pour déterminer les mycotoxines dans un nombre statistiquement valable d'échantillons de café

vert arrivés dans le port de Trieste et provenant pratiquement de tous les pays producteurs d'Amérique du Sud, d'Afrique et d'Asie pendant une année.

Il pourrait être intéressant à l'avenir de répéter l'enquête sur les nouvelles mycotoxines qui sont peu à peu mises en lumière par une littérature particulièrement prolifique sur le sujet. Tout comme pourrait être également d'un très grand intérêt le contrôle de la stabilité des mycotoxines à la torréfaction.

MÉTHODES D'ANALYSE DE L' AFLATOXINE ET DE LA STÉRIGMATOCYSTINE EMPLOYÉES PAR LE LABORATOIRE DE CHIMIE DE LA CHAMBRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE, DE L'ARTISANAT ET DE L'AGRICULTURE DE TRIESTE

Le café vert moulu, précédemment mouillé, est extrait avec l'acétone : la solution ainsi obtenue a été purifiée par précipitation avec des sels de métaux lourds et les toxines extraites avec le chloroforme. Puis on fait passer cet extrait sur une colonne chromatographique et l'on détermine les toxines par l'intensité de la fluorescence à la lampe U.V.

Réactifs

- a) : solution de KOH (de lavage) : 1,12 g de KOH et 10 g de KCl dissous dans un litre d'eau ;
- b) : solution de NaOH : 8 g de NaOH dans un litre d'eau (0,2 N) ;
- c) : solution de H_2SO_4 : 0,3 ml H_2SO_4 conc. dilués à un litre ;
- d) : carbonate de cuivre ;
- e) : solution de $FeCl_3$: 111,08 g de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dans un litre d'eau ;
- f) : célite 545 ;
- g) : solvants : acétone et chloroforme techniques ;
- h) : minicolonnes : tubes de verre capillaires 6×200 mm obstrués au bec bunsen à environ 5 cm du fond ;
- k) : absorbants : Florisil, Alumine acide, Driérite, Silicagel. A conserver dans un séchoir ;
- l) : solutions standard :
 - 1 — Aflatoxine : 10 mg dans 10 ml $CHCl_3$
 - 2 — Stérigmatocystine : 93 ppm dans le benzène.

Préparation et extraction de l'échantillon

Peser 25 g de café vert moulu dans un matras de 250 ml. Mouiller l'échantillon avec 19 cm³ d'eau, ajouter 106 cm³ d'acétone et agiter mécaniquement pendant 15 mn. Filtrer et recueillir 75 cm³ de la solution acétonique, lui ajouter ensuite 1,5 g de carbonate de cuivre pesé préalablement dans un becher de 350 ml. Ajouter au filtrat un mélange précédemment préparé de b) et e) (15 ml + 85 ml) et, ensuite, en agitant, 75 cm³ de f). Filtrer sur Whatman 4 dans un entonnoir séparateur de 250 ml, récupérant 75 ml de filtrat limpide. Les toxines sont extraites de cette solution, acidifiée avec 75 ml de c), à l'aide de 5 ml de chloroforme qui sont lavés avec 50 ml du réactif a) et anhydrisés avec Na₂SO₄. Cette solution chloroformique peut être conservée longtemps en la maintenant à basse température et dans l'obscurité.

Préparation des minicolonnes

Tamponner la partie obstruée de la colonne avec un tampon de coton et ajouter les absorbants dans l'ordre et selon la quantité indiquée : 5-10 mm Florisil, 15-20 mm Silicagel, 10 mm Alumine acide, 15-20 mm Silicagel, 5 mm Driérite, coton.

Pour l'élution dans ces minicolonnes on a utilisé pour les deux toxines un mélange de chloroforme-méthylisobutylcétone 4:1.

Chromatographie

3 ml de la solution chloroformique des toxines sont introduits dans une colonne avec une pipette de 5 ml et s'écoulent par gravité. Quand la solution atteint le haut de l'absorbant, on ajoute 3 ml de la solution d'élution que l'on fait passer à travers la colonne grâce à la pression exercée par une seringue de 5 ml raccordée à la colonne elle-même par un tuyau de caoutchouc.

Repérage par U.V.

Après une dessiccation partielle, la colonne est exposée aux rayons d'une lampe U.V. Une fluorescence bleue dans la partie supérieure de la couche de Florisil dénote la présence de l'aflatoxine. Cette présence est confirmée en faisant virer la couleur au jaune citron par aspiration de H₂SO₄ à 25 % avec une seringue.

Une fluorescence jaune canari dans la partie supérieure de la couche d'alumine dénote la présence de stérigmatocystine.

Dans le cas d'un essai positif, on effectue un repérage quantitatif à l'aide d'une chromatographie sur couche mince. On a utilisé des plaques de Silicagel diluées dans un mélange de benzène, de méthanol, d'acide acétique 18:1:1 et, comme révélateurs, H₂SO₄ à 25 % pour l'aflatoxine et une solution d'AlCl₃ dans l'éthanol à 1 % pour la stérigmatocystine (virage du rouge au jaune). Les limites de visibilité en colonne sont de 0,004 mg/kg pour l'aflatoxine et de 0,02 mg/kg pour la stérigmatocystine.

MÉTHODES D'ANALYSE DE L'AFLATOXINE ET DE LA STÉRIGMATOCYSTINE EMPLOYÉES DANS LE LABORATOIRE DE CHIMIE DE LA PROVINCE DE TRIESTE

Le café vert moulu est extrait avec de l'eau et de l'acétone ; la solution, après précipitation avec de l'acétate de plomb, est extraite avec du chloroforme et purifiée sur colonne de gel de silice. L'extrait purifié est chromatographié sur plaque de gel de silice et les toxines sont mises en évidence par la fluorescence à la lumière de Wood.

Réactifs

- a) : acétone, chloroforme, benzène ;
- b) : solution d'acétate de plomb : 200 g d'acétate de plomb trihydraté + 3 ml d'acide acétique glacial portés à 1 l avec de l'eau distillée ;
- c) : sulfate de sodium anhydre ;
- d) : éluants pour colonne :
 - d') n-hexane

- d'') éther éthylique
- d''') mélange de chloroforme méthanol 87/3 (v/v) ;
- e) : éluants pour chromatographie sur couche mince :
 - e') chloroforme acétone 9/1 (v/v)
 - e'') benzène - méthanol - acide acétique glacial 18:1:1 (v/v) ;
- f) : gel de silice pour chromatographie sur colonne, granulométrie 0,05-0,20 mm ;
- g) : gel de silice G pour chromatographie sur couche mince ;
- h) : solution d'acide sulfurique dans l'eau 1 + 1 ;
- i) : solution d'AlCl₃ dans l'éthanol ; dissoudre 20 g d'AlCl₃·6H₂O dans 100 cm³ d'éthanol ;
- l) : aflatoxine standard : solution contenant 1 ng/ml dans du benzène-acétonitrile 98 + 2 ;
- m) : stérigmatocystine standard : solution contenant 10 ng/ml dans du benzène.

Appareillage

- a) : moulin à café ;
- b) : agitateur mécanique ;
- c) : colonnes en verre pour chromatographie ; diamètre intérieur 22 mm, longueur 300 mm avec robinet en téflon ;
- d) : évaporateur rotatif ;
- e) : stratificateur pour chromatographie sur couche mince ;
- f) : plaques de verre de 20 × 20 cm pour chromatographie sur couche mince ;
- g) : lampe U.V. (lumière de Wood) ;
- h) : centrifugeuse avec possibilité de centrifuger jusqu'à 250 ml.

Préparation et extraction de l'échantillon

50 g de café vert moulu sont placés en matras de 500 ml muni d'un bouchon émeri ; on ajoute 50 cm³ d'eau et, au bout de quelques minutes, 150 ml d'acétone. On ferme le matras et on agite mécaniquement pendant 30 mn. Ce temps écoulé, on filtre à travers un filtre plissé dans un cylindre gradué en tenant compte du volume récupéré (100-110 cm³). Au filtrat placé dans un becher de 400 cm³, on ajoute 25 cm³ d'eau et 40 cm³ d'acétate de plomb ; le tout est ensuite placé dans un bain-marie bouillant et concentré jusqu'à ce que l'on obtienne à nouveau le volume de départ.

On refroidit sous l'eau courante et on centrifuge à 3.000 tours pendant 10 mn. Le liquide surnageant est extrait deux fois avec 40 cm³ de chloroforme. La couche chloroformique est filtrée sur du sulfate de sodium anhydre et recueillie dans un ballon de 150 cm³, le filtre est lavé avec 20 cm³ de chloroforme ; la solution ainsi obtenue est concentrée à 2-3 cm³ à l'aide d'un évaporateur rotatif et elle est prête pour la purification sur colonne.

Purification par chromatographie sur colonne

Mettre sur le fond de la colonne un peu d'ouate ou de laine de verre et la remplir jusqu'aux 2/3 avec du chloroforme. Puis on ajoute avec précaution 5 g de sulfate de sodium anhydre, 10 g de gel de silice et à nouveau 15 g de sulfate de sodium anhydre. On ouvre le robinet, on attend que le liquide atteigne le niveau du sulfate de sodium et on ajoute l'échantillon préparé comme il a été décrit précédemment en lavant le ballon deux fois avec quelques cm³ de chloroforme. On attend que le chloroforme atteigne le niveau du sulfate de sodium, puis on élue d'abord avec 100 cm³ d'hexane puis avec 200 cm³ d'éther et, enfin, avec 150 cm³ du mélange chloroforme méthanol. Les deux dernières fractions sont recueillies dans un ballon de 250 ml et contiennent respectivement la stérigmatocystine et l'aflatoxine. Toutes deux sont séchées en utilisant

l'évaporateur rotatif et reprises respectivement avec 1 cm³ de chloroforme et avec 20 cm³ de benzène. La fraction contenant l'aflatoxine contient aussi une importante quantité de caféine qui crée des inconvénients au moment de la déposition sur plaque. Pour pallier cela, la fraction est reprise avec 20 cm³ de benzène et lavée trois à quatre fois avec 20-30 cm³ d'eau. Le benzène, après filtrage sur du sodium sulfate-anhydre, est concentré à 1 cm³. En alternative, également bien et avec un important gain de temps, on peut laver le ballon contenant l'aflatoxine et la caféine deux à trois fois avec 2 cm³ de benzène, en transvasant chaque fois dans un petit verre. Le benzène est ensuite concentré à 1 cm³ en se servant d'un phon.

Chromatographie sur couche mince

Préparation des plaques : pour cinq plaques de 20 × 20 cm on choisit une suspension composée de 30 g de gel de silice G et de 60 cm³ d'eau. La suspension est étendue sur les plaques propres en couches uniformes de 0,25 mm d'épaisseur. Après avoir séché à l'air, elles sont activées pendant une heure à 110 °C dans une étuve, puis elles sont conservées dans un dessiccateur jusqu'au moment de l'emploi.

Les deux fractions sont déposées quantitativement une par plaque en bandes d'environ 4 cm de largeur en utilisant une seringue de 1 cm³ et en lavant le ballon avec 100-200 µl de solvant ; puis sont déposés sur la plaque 5-10 µl des mycotoxines standards. Les plaques sont développées avec l'éluant adéquat pendant une quarantaine de minutes (correspondant à une course d'environ 12 cm) : l'acétone chloroforme pour l'aflatoxine, le benzène-méthanol-acide acétique pour la stérigmatocystine, puis elles sont séchées et éclairées avec la lampe U.V.

L'aflatoxine apparaît comme une bande ayant la caractéristique fluorescence bleue qui passe au jaune quand la plaque est vaporisée avec de l'acide sulfurique. La stérigmatocystine apparaît, par contre, comme une bande ayant une fluorescence rouge, qui devient jaune quand la plaque est vaporisée avec la solution de chlorure d'aluminium. Le traitement avec le chlorure d'aluminium doit toujours être effectué, même s'il n'y a pas de fluorescence rouge, car il augmente beaucoup la sensibilité.

On peut effectuer une éventuelle analyse quantitative en déposant en tache une quantité déterminée d'extrait et en confrontant l'intensité de la fluorescence avec des standards connus.

En ce qui concerne la sensibilité de la méthode décrite, on a ajouté les toxines à des concentrations diverses au café initial et l'on a trouvé que pour des quantités respectives de 0,004 ppm pour l'aflatoxine et 0,04 ppm pour la stérigmatocystine, celles-ci sont encore visibles.

Il faut rappeler que la stérigmatocystine à ces niveaux n'est visible qu'après que la plaque a été vaporisée avec AlCl₃.

MÉTHODE D'ANALYSE DE L'OCRATOXINE

Pour déterminer l'ochratoxine dans les mêmes échantillons de café vert que dans ceux soumis aux tests d'identification de l'aflatoxine et de la stérigmatocystine, on a appliqué dans les deux laboratoires la méthode de Colette P. Levi, publiée dans la revue J.A.O.A.C., 58, 258/395 (1975).

Le café vert moulu et humidifié a été extrait avec du CHCl_3 ; la solution ainsi obtenue a été purifiée sur colonne chromatographique et la toxine déterminée par fluorescence à la lampe U.V. après chromatographie sur couche mince.

Considérations sur les méthodes d'analyse

On a effectué des analyses sur des échantillons de café avec des quantités connues de toxines, en en tirant des indications utiles. La méthode Levi prévoit l'interaction du groupe acide de l'ochratoxine avec la célite basique, avec une réaction d'équilibre facilement réversible par addition d'acide acétique et de benzène (solvant d'élution). Toutefois, dans la molécule de l'ochratoxine est aussi simultanément présent un groupe aminique secondaire, réactif, responsable de l'interaction de cette toxine avec des acides de Lewis (FeCl_3), qui peuvent la complexer et la précipiter en phase de purification de la solution acétonique (cf. méthode pour l'extraction de l'aflatoxine et de la stérigmatocystine). En effet, des essais faits sur 25 g de café vert additionné de quantités connues des trois toxines (0,01 mg/kg d'ochratoxine, 0,02 mg/kg d'aflatoxine, 0,04 mg/kg de stérigmatocystine), avec la

méthode adoptée pour déterminer l'aflatoxine et la stérigmatocystine, ont conduit, dans 100 % des cas, à retrouver à peu près la quantité des deux toxines et à la perte totale de l'ochratoxine. On a donc fait une extraction sur le précipité obtenu dans le procédé de purification, avec 100 ml de benzène et d'éthanolamine 98:2 en agitant mécaniquement en matras de 250 ml pendant une demi-heure. Le filtrat a été concentré et absorbé quantitativement sur une plaque de gel de silice avec un témoin de comparaison. La plaque a été tout d'abord purifiée par développement en phase descendante avec un mélange de chloroforme, de méthylisobutylcétone 4:1 pendant 5 h et, ensuite, développée en phase ascendante avec du benzène, du méthanol, de l'acide acétique 18:1:1. L'ochratoxine se présente de façon très nette, mais à demi couverte par d'importantes impuretés. Etant donné la difficulté d'une purification ultérieure et la durée de l'analyse, cette méthode n'a pas été affinée.

Un autre système, valable toutefois pour l'analyse d'un seul échantillon à la fois, est celui qui consiste à concentrer les 50 ml du filtrat chloroformique et à les placer sur une plaque de Hyflo Super cell. + 10 % NaHCO_3 + gypse, selon le pourcentage utilisé dans les plaques de gel de silice (en plusieurs fois, étant donné la densité de cette solution). Les impuretés sont enlevées par un lavage de la plaque en phase descendante avec un mélange d'hexane, de chloroforme et d'éther 1:1:1 (un lavage après chaque application d'échantillon) et l'élution finale est faite en phase ascendante en deux dimensions avec l'habituel solvant d'élution et en obtenant un bon repérage de l'ochratoxine.

CONCLUSIONS

Dans l'espace d'une année, on a analysé cinq cent deux échantillons de café vert provenant de :

Indonésie 55 %
Afrique 30 %
Brésil 10 %
Amérique du Sud 5 %.

Dans aucun échantillon on n'a trouvé de trace de mycotoxine.

Sur dix stocks de café avarié, dans un, provenant de Centrafrique et resté en magasin pendant plus de deux années, complètement envahi de moisissures, on a trouvé une importante quantité de stérigmatocystine correspondant à 12 mg/kg.

Le test a une valeur purement théorique du fait que l'échantillon analysé ne pouvait en aucun cas être commercialisé.

Quelques grains de ce café ont été mélangés à 200 g de café sain. La culture, humidifiée et gardée dans l'obscurité pendant 15 j, a été envahie de moisissures de divers types. L'analyse du café ainsi contaminé a révélé la présence de stérigmatocystine en quantité égale à 8 mg/kg.

On peut donc conclure que, bien que le café soit sain et commercialisable, sans mycotoxine dans 100 % des cas, la présence de contaminants peut, dans des cas particuliers, polluer aussi les stocks sains.

BIBLIOGRAPHIE

<i>J. of Chromatography</i>	1976, 141	<i>J. of A.O.A.C.</i>	1967, 354
<i>Z.U.L.</i>	1976, 157	" "	1973, 803
"	1977, 171	" "	1973, 808
"	1976, 313	" "	1975, 500
"	1976, 13	" "	1975, 757
<i>J. of Agr. and Food Chem.</i>	1976, 86	" "	1975, 743
" " "	1968, 483	" "	1968, 74
<i>Analyst</i>	1969, 136	" "	1968, 609
<i>Deutsche Lebensmittel Rund.</i>	1976, 52	" "	1975, 114
" " "	1975, 332	" "	1975, 156
<i>Zeitschrift für Anal. Chem.</i>	1975, 30	" "	1971, 91
Norme Grassi e derivati	III Ed C 15 1972	" "	1973, 1440
Circ. Min. Sanità	n. 108 31.7.1972	" "	1973, 485
<i>Boll. Lab. Chimici Provinciali</i>	1967, 170	" "	1975, 395
<i>J. of A.O.A.C.</i>	1971, 1307	" "	1973, 1123
" "	1976, 1315	" "	1975, 110
" "	1969, 1300	" "	1975, 163
" "	1977, 60	" "	1975, 258
" "	1966, 733	" "	1974, 866
" "	1974, 875	" "	1974, 764
" "	1967, 214	" "	1973, 225

PALO (D. de), GABUCCI (G.), VALUSSI (S.). — **Etude sur la présence éventuelle d'aflatoxine, de stérigmatocystine et d'ochratoxine dans le café vert.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café (Abidjan), 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 539-543, réf.

Cette étude a pour but la mise au point de méthodes d'analyse parfaitement sûres pour déterminer les mycotoxines dans un nombre statistiquement valable d'échantillons de café vert.

Présentation des méthodes d'analyse de l'aflatoxine et de la stérigmatocystine employées d'une part par le Laboratoire de Chimie de la Chambre du Commerce, de l'Industrie, de l'Artisanat et de l'Agriculture de Trieste, d'autre part par le Laboratoire de Chimie de la Province de Trieste.

Aucune trace de mycotoxine n'a été trouvée dans les cinq cent deux échantillons de café vert débarqués au port de Trieste. Un seul échantillon, provenant d'un café qui n'était plus commercialisable, présentait une importante quantité de stérigmatocystine (12 mg/kg). Un stock sain de café vert peut être facilement contaminé par la présence de stérigmatocystine.

PALO (D. de), GABUCCI (G.), VALUSSI (S.). — **Study on the possible presence of aflatoxine, sterigmatocystine and ochratoxine in green coffee.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 539-543, réf.

The object of this study was to develop completely reliable methods of analysis to determine the mycotoxines in a statistically valid number of samples of green coffee.

Methods of analysis for aflatoxine and sterigmatocystine used on the one hand by the Chemical Laboratory of the Chamber of Commerce, Industry, Crafts and Agriculture of Trieste, and on the other hand, by the Chemical Laboratory of the Province of Trieste, are presented.

No trace of mycotoxine was found in the five hundred and two samples of green coffee landed at the port of Trieste. A single sample of a coffee which was no longer marketable was found to have a large quantity of sterigmatocystine (12 mg/kg). A stock of healthy green coffee can easily be contaminated by the presence of sterigmatocystine.

AMINOACIDES LIBRES D'UN CAFÉ VERT PROVENANT DE L'HUAMBO (ANGOLA)

Séparation et identification par électrophorèse et chromatographie sur couche mince

A. PEREIRA, M. Manuela PEREIRA

Missão de Estudos Agrónomicos do Ultramar, Lisbonne

INTRODUCTION

Ce travail s'insère dans les études chromatographiques et électrophorétiques que nous réalisons sur les aminoacides libres des cafés verts de plusieurs origines botaniques et géographiques.

Dans des publications antérieures (9 et 10) nous avons rapporté les dissemblances trouvées entre les cafés *Coffea arabica* et *C. robusta* et ceux d'un hybride de ces espèces. Parmi de telles différences, nous considérons assez significative l'existence, dans le *C. arabica*, d'un composé dont le comportement ressemble à celui de l'acide pipécolique.

Aussi Campos et Rodrigues (2), ayant comparé quelques échantillons de cafés verts, ont-ils reconnu la présence de l'acide pipécolique dans ceux de *C. arabica* et noté l'absence de cette substance dans ceux de *C. robusta*.

L'acide pipécolique, qui semble ne pas participer à la constitution de protéines, a été cependant reconnu dans plusieurs espèces végétales, y compris chez

quelques champignons et algues et, assez fréquemment chez les Angiospermes, notamment les Liliacées, Canabinacées, Moracées, Crucifères, Rosacées, Légumineuses, Ombellifères et Solanacées (8).

Dans certains cas on a attribué à l'acide pipécolique une signification chimiotaxonomique.

Au cours d'une visite aux centres de recherche scientifique et à des institutions d'enseignement du plateau de Huambo, nous avons vu à Cuima, dans les terrains de l'Ecole du Magistère, une culture de *Coffea* en pleine floraison.

Etant donné que la circonstance permettait la détermination de l'espèce productrice, nous avons cru intéressant d'entreprendre l'étude des aminoacides libres des grains.

Le Dr Joaquim Correia, alors directeur de cette école, a eu la gentillesse de nous céder le matériel nécessaire aux recherches.

DÉTERMINATION DE L'ESPÈCE BOTANIQUE PRODUCTRICE

L'étude botanique des branches fleuries spécimens de cette culture a été effectuée par le Dr António Rocha da Torre, du Centre de Botanique de la « Junta de Investigações Científicas do Ultramar », à qui nous

rendons hommage et témoignons notre reconnaissance.

Cette étude a révélé qu'il s'agissait de *C. arabica* L. ou d'un hybride de cette variété.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Matériel

- Ensembles « Shandon » pour l'électrophorèse.
- Cuve « Shandon » pour la chromatographie descendante.
- Ensemble « Desaga » pour la chromatographie sur couche mince.

Préparation de l'échantillon

Les grains de café ont été pulvérisés dans un moulin « Retschmühle », en utilisant le crible n° 1.

Ensuite, on a éliminé les substances lipidiques par l'éther de pétrole (p.e. 40-60° C).

Pour l'extraction des aminoacides, nous avons utilisé un mélange hydro-alcoolique (9). Ainsi, 5 g de poudre délipidée et sèche ont été agités avec 50 ml d'alcool de 20° C, pendant 4 h à la température ambiante (18-20° C). Après filtration, l'extrait a été concentré par évaporation sous pression réduite, jusqu'au volume de 1 ml.

Chromatographie sur couche mince

Préparation des plaques

Des plaques de 20 × 20 cm, revêtues avec une couche de cellulose (10 g de cellulose CC 41 Whatmann, dispersés dans 26 ml d'eau distillée), séchées sans chauffage, ont été maintenues à la température ambiante pendant au moins 24 h avant l'emploi. Un système chromatographique de partage, où l'eau retenue dans la couche de cellulose agit en qualité de phase liquide sur un support solide (7, 11), a ainsi été constitué.

Solvants

Les systèmes solvants employés pour la première dimension ont été l'isopropanol-acide formique-eau (40:2:10) et, pour la seconde, le butanol tertiaire-méthyléthylcétone-ammoniaque-eau (75:45:20:10).

Les réactifs révélateurs

- Solution acétonique de ninhydrine à 0,2 % (p/v).
- Solution hydro-acétonique de ninhydrine-acétate de cadmium, obtenue par dissolution de 0,5 g d'acétate de cadmium dans 50 ml d'eau distillée et addition de 10 ml d'acide acétique glacial et de propanone, jusqu'à compléter le volume à 500 ml. Avant l'usage, on y ajoute 0,2 % (p/v) de ninhydrine (4) (6).
- Solution benzénique de chlorure de p-nitrobenzoyle à 0,2 % (p/v).

Le recours à cette solution impose le traitement ultérieur du chromatogramme avec un mélange pyridine-éther de pétrole (1:10, v/v).

Application de l'échantillon

L'échantillon a été placé à 1,5 cm du bord inférieur de la plaque et à 1,5 cm de son extrémité gauche, au moyen d'une seringue micrométrique Hamilton de 1 µl. La quantité employée a varié dans différents essais, comme il est rapporté ci-après. Cependant, après le placement de chaque microlitre, un courant d'air chaud a été soigneusement utilisé pour évaporer le solvant.

Développement dans la première dimension

La saturation des cuves a été faite selon la méthode de Sankoff & Sourkes, aussi préconisée par Haworth & Heathcote (4).

Après une première utilisation, le solvant qui est resté dans la cuve est remplacé avant l'utilisation suivante par un volume égal (100 ml) de solvant frais.

Dans chaque cuve ont été introduites deux plaques qui y sont restées près de deux heures et demie, à la température de 22° C, jusqu'à ce que le front du solvant soit distant d'environ 13 cm de l'origine. Alors, les plaques ont été retirées et, au moyen d'un courant d'air chaud, le solvant qui les imprégnait a été éliminé.

Le développement et le séchage ont ensuite été répétés d'une façon identique.

Développement dans la seconde dimension

De nouveau introduites dans la cuve, les plaques ont alors été plongées dans le solvant, en position perpendiculaire par rapport à la première.

Comme dans l'opération précédente, on a laissé agir pendant 2 h 30 mn, temps nécessaire pour que le solvant atteigne à peu près 13 cm depuis l'origine.

Les plaques retirées, on a éliminé le solvant au moyen de l'air chaud.

Après, on a répété, dans les mêmes conditions, le développement.

Révélation

Les plaques, après séchage, ont été imprégnées, par nébulisation, d'une solution de ninhydrine-acétate de cadmium et soumises ensuite à un courant d'air chaud jusqu'à l'apparition des taches. Les aminoacides apparaissent d'habitude avec un ton rosé, mais quelques-uns se présentent jaunâtres et d'autres avec une tonalité bleu-violet (par ex. l'acide pipécolique).

Quand, après l'imprégnation avec le révélateur, les plaques sont placées dans l'étuve à 60-80° C pendant 15 minutes, la visualisation des taches devient plus rapide, mais la couleur de fond devient simultanément plus foncée ce qui rend difficile leur délimitation.

Electrophorèse

Pour effectuer la séparation par cette méthode, nous avons réalisé l'électrophorèse dans la première dimension et la chromatographie dans la deuxième.

Nous avons obtenu de meilleurs résultats quand, pour l'électrophorèse avec des plaques en plâtre (9) ou en papier, nous avons préalablement fractionné les aminoacides en trois groupes : « acides », « basiques » et « neutres ».

Séparation électrophorétique des aminoacides en trois groupes

Le matériel de support employé a été constitué par des plaques en plâtre de Paris ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) de dimensions $20 \times 15,5 \text{ cm}$ (1) (9) ou par des feuilles Whatmann n° 1 de $40 \times 40 \text{ cm}$.

Pour la séparation sur papier, nous avons recouru à l'équipement d'électrophorèse verticale.

Les échantillons étaient placés du côté anodique le long d'une ligne horizontale à 18 cm du bord du papier. Dans chaque essai, 0,2 ml de la solution extractive a été utilisé.

Nous avons employé un tampon, pH 3,9, constitué par le mélange pyridine-acide acétique-eau (30:100:4870 v/v).

Le séchage étant obtenu et d'étroites tranches (à peu près de 1,5 cm) soit des plaques, soit du papier ayant été détachées, nous avons procédé à la révélation avec la ninhydrine.

Les groupes des aminoacides ont été extraits avec de l'alcool à 20° et les différents extraits ont été réduits au volume de 1 ml (9).

Isolement des acides aminés intégrants de chaque groupe

Pour séparer les aminoacides des groupes respectifs, nous avons aussi employé du papier Whatmann n° 1 et n° 3 de $40 \times 40 \text{ cm}$ et appliqué 0,1 ml de la solution correspondante (9).

Electrophorèse

Dans la première dimension nous avons pratiqué l'électrophorèse dans des conditions conformes aux circonstances.

Acides aminés dicarboxiliques : application à 18 cm du bord anodique et à 10 cm du bord latéral ; action pendant 7 h à pH 3,9 (pyridine-acide acétique-eau (30:100:4870, v/v).

Acides aminés-neutres : application à 9 cm du bord anodique et à 9 cm du bord latéral ; action pendant 14 h à pH 2,4 (acide acétique n/1).

Acides aminés basiques : application à 10 cm du côté cathodique et à 10 cm du bord latéral ; action pendant 15 h à pH 11,7 (ammoniac n/1) (9).

Dans tous les cas, le papier a été séché par ventilation pendant 12 h après l'électrophorèse.

Chromatographie descendante

Dans la deuxième dimension nous avons réalisé la chromatographie descendante avec le solvant butanol-

acide acétique-eau (4:1:5) qui a agi pendant 18 h dans le cas de la fraction « acide » et pendant 12 h dans celui de la fraction « neutre » (9).

Le papier ayant été de nouveau séché par ventilation, on a procédé à la révélation des aminoacides en appliquant les réactifs par immersion.

Chromatogrammes de référence

Pour obtenir des chromatogrammes de référence (fig. 1 et 2), nous avons préparé 10 ml d'une solution hydro-alcoolique (alcool de 20°) contenant 5 mg d'acide pipécolique et 4 mg de chacun des aminoacides restants. Des solutions de chacun des aminoacides utilisés en étalon interne ont aussi été préparées séparément, à la concentration de 5 mg/10 ml, dans le cas de l'acide pipécolique et de 4 mg/10 ml pour les autres.

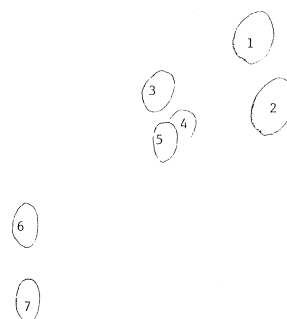


Fig. 1. —
↑ 1^{ère} dimension — Isopropanol : acide formique : eau (40:2:10)

→ 2^e dimension — Butanol tertiaire : éthylméthylcétone : ammoniac : eau (75:45:20:10)

Etalons : 1-Leucine, 2-Phénylalanine, 3-Valine, 4-Méthionine, 5-Acide pipécolique, 6-Acide glutamique, 7-Acide aspartique.

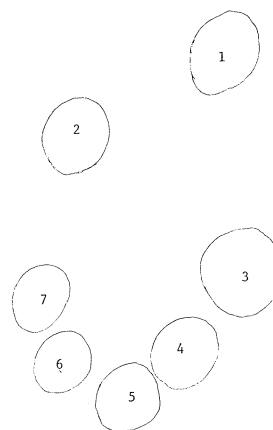


Fig. 2. — Electrophorèse
↑ Chromatographie — Butanol : acide acétique eau (4:1:5)
→ Electrophorèse — pH 2,4

Etalons : 1-Leucine, 2-Phénylalanine, 3-Valine, 4-Acide pipécolique, 5-Acide aminopimélique, 6-Tyrosine, 7-Tryptophane.

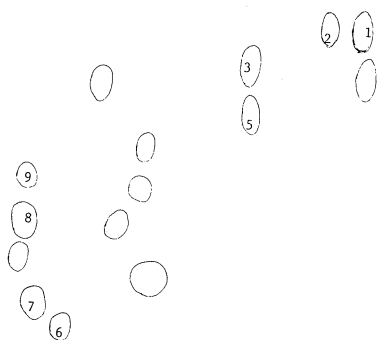


Fig. 3. —
Café (Cuima) + acide pipécolique
↑ 1^{ère} dimension — Isopropanol : acide formique : eau (40:2:10)
→ 2^e dimension — Butanol tertiaire : éthylméthylcétone : ammoniacque : eau (75:45:20:10)
Étalons : 1-Leucine, 2-Isoleucine, 3-Valine, 5-Acide pipécolique, 6-Histidine, 7-Lysine, 8-Acide aspartique, 9-Acide glutamique.

Nous avons employé de 4 μ l à 8 μ l de ces solutions pour l'électrophorèse.

Les quantités employées pour la chromatographie sur couche mince ont varié entre 1 μ l et 7 μ l ; les quantités les plus élevées correspondaient à la solution d'acide pipécolique jointe à l'extrait de café pour constituer un étalon interne (fig. 3).

Pour reconnaître l'acide pipécolique dans le café étudié, nous avons exécuté non seulement des chromatogrammes sur couche mince, mais aussi des électrophorégrammes, l'étalon interne ayant été joint à l'extrait étudié (fig. 4).

Les chromatogrammes obtenus sur papier, révélés avec la solution acétonique de ninhydrine à 0,2 % et séchés par l'air froid, n'ont pas révélé la présence d'acide pipécolique ; cependant, après chauffage des chromatogrammes par un courant d'air chaud, la tache pourpre qui correspond à cette substance-là apparaît.

Si nous imprégnons les chromatogrammes dans la solution benzénique de chlorure de p-nitro-benzoyl, les séchons et les plongeons immédiatement dans le mélange pyridine-éther de pétrole (1:10), la tache qui correspond à l'acide pipécolique se présente avec une couleur orangée, un peu fugace, puisqu'elle ne se maintient que pendant quelques minutes. Cette conduite, quoique commune aux N-méthylaminoaci-

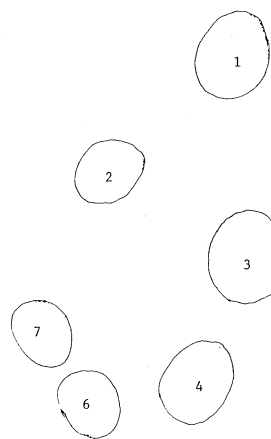


Fig. 4. — Electrophorèse
Café (Cuima) + aminoacides « neutres » + étalon acide pipécolique
↑ Chromatographie — Butanol : acide acétique : eau (4:1:5)
→ Electrophorèse — pH 2,4
Étalons : 1-Leucine, 2-Phénylalanine, 3-Valine, 4-Acide pipécolique, 6-Tyrosine, 7-Tryptophane.

des, ne se présente ni avec les autres acides aminés, ni avec les N-méthylamines.

Si les chromatoplaques sont révélées avec la solution d'acétate de cadmium-ninhydrine, l'acide pipécolique se présente avec une couleur violette bleutée, tandis que les autres acides aminés se présentent en rose. Les chromatogrammes ont également été chauffés dans ce cas.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Aminoacides décelés dans le café étudié :

Acides Acide aspartique
Acide glutamique

Basiques Histidine
Lysine

Neutres Glycine
Alanine
Sérine
Phénylalanine
Hydroxiproline
Proline
Valine

Tyrosine
 Asparagine
 Leucine
 Isoleucine
 Méthionine
 Acide pipécolique
 Thréonine
 Tryptophane
 X1
 X2

La présence de sels rend difficile la séparation d'acides aminés par chromatographie sur couche mince.

Bien que l'extrait employé n'était pas entièrement dépourvu de composants salins, quelques aminoacides se sont séparés dans de bonnes conditions. Ainsi, le procédé et l'emploi d'une quantité suffisante d'échantillons ont rendu possible la mise en évidence de la leucine, de l'isoleucine, de la lysine et de l'histidine (fig. 3 et 5), ce qui n'a pas été réussi au moyen de l'électrophorèse sur papier.

Dans la chromatographie sur cellulose C C 41 Whatmann, quand le développement a été fait deux fois avec de l'isopropanol-acide formique-eau (40:2:10) et, deux autres, perpendiculairement avec du butanol/tertiaire-méthyléthylcétone-ammoniaque-eau (75:45:20:10), de meilleures séparations ont été obtenues.

Après la révélation et un chauffage prolongé, la tache qui, par sa couleur et sa position correspond à l'acide pipécolique, apparaît ; cependant, cela n'a été possible qu'avec l'utilisation de 20 µl de l'extrait hydro-alcoolique étudié (fig. 5).

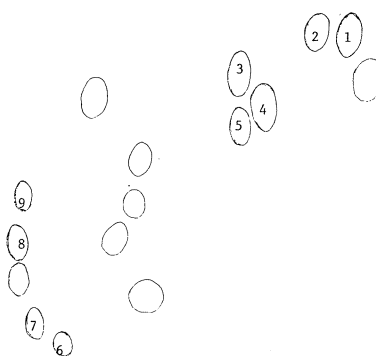


Fig. 5. —
 Café Cuima 20 µl
 ↑ 1^{re} dimension — Isopropanol : acide formique : eau (40:2:10)
 → 2^e dimension — Butanol tertiaire : éthylméthylcétone : ammoniaque : eau (75:45:20:10)
 Etalons : 1-Leucine, 2-Isoleucine, 3-Valine, 4-Méthionine, 5-Acide pipécolique, 6-Histidine, 7-Lysine, 8-Acide aspartique, 9-Acide glutamique.

Dans un essai exécuté en même temps, où nous avons utilisé 10 µl de l'extrait hydro-alcoolique et 4 µl de solution étalon d'acide pipécolique (équivalent de 2 µg de cette substance), nous avons obtenu des résultats identiques à ceux ci-dessus mentionnés.

Par électrophorèse, la séparation de la plupart des aminoacides a été bonne, surtout quand a été fait au préalable le fractionnement en « acides », « basiques » et « neutres » (fig. 6). Bien sûr cette séparation préala-

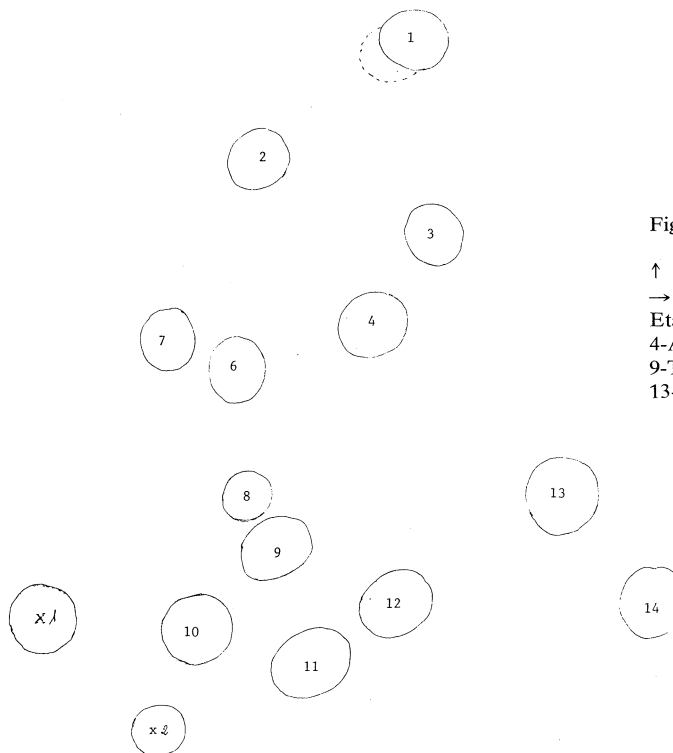


Fig. 6. —
 Café Cuima + aminoacides « neutres »
 ↑ Chromatographie — Butanol : acide acétique : eau (4:1:5)
 → Electrophorèse - pH 2,4
 Etalons : 1-Leucine et Isoleucine, 2-Phénylalanine, 3-Valine, 4-Acide pipécolique, 6-Tyrosine, 7-Tryptophane, 8-Proline, 9-Thréonine, 10-Hydroxyproline, 11-Asparagine, 12-Sérine, 13-Alanine, 14-Glycine.

ble rend l'opération plus longue et demande l'emploi d'une plus grande quantité d'échantillon à séparer.

L'électrophorèse de l'extrait hydro-alcoolique de café (électrophorèse à pH 2,4, 320 volts) pendant 12 h et la chromatographie descendante avec du butanol-acide acétique-eau (4:1:5) permettent la reconnaissance de la méthionine séparée de la valine.

S'agissant de l'étude d'un café provenant d'une plantation bien délimitée et confirmée botaniquement comme *Coffea arabica*, la reconnaissance de la présence d'un aminoacide dont le comportement correspond à celui de l'acide pipécolique semble revêtir une signification spéciale ; en effet, nous avons toujours trouvé cet acide dans des cafés de cette espèce-là et de son hybride, mais pas dans ceux provenant de *C. robusta*.

L'existence de cet acide-là dans plusieurs espèces botaniques bien différentes semble avoir, en des circonstances déterminées, un intérêt chimiotaxonomique.

D'une façon générale chez les végétaux, le métabolisme aminoacide a lieu principalement dans le sens de la synthèse ; cependant, il y a chez les plantes, un certain métabolisme oxydant d'aminoacides.

L'acide pipécolique constitue l'une des substances qui apparaît au cours de la dégradation oxydante de la lysine qui conduit à l'acétoacétylcoenzyme A.

Tout comme d'autres produits d'oxydation formés dans le catabolisme de la lysine, l'acide pipécolique peut aussi devenir un précurseur dans la synthèse de quelques alcaloïdes végétaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. G. BISERTE *et al.* — *J. Chromatog.* (Amsterdam), 1960, **3**, 25.
2. L. S. CAMPOS, J. M. L. RODRIGUES. — V^e Coll. Intern. sur la Chimie des cafés, Lisbonne, 14-19 juin 1971, ASIC, Paris, 1973, p. 91-96.
3. J. CASIMIR, G. LEMARCHAND. — *Bull. Jard. Bot.*, 1966, **36**, 53.
4. C. HAWORTH, J. G. HEATHCOTE. — *J. Chromatog.* (Amsterdam), 1969, **41**, 380.
5. J. G. HEATHCOTE, R. WASHINGTON. — *Analyst* (Cambridge), 1967, **92**, 627.
6. D. HORTON *et al.* — *J. Chromatog.* (Amsterdam), 1966, **23**, 309.
7. K. JONES, J. G. HEATHCOTE. — *J. Chromatog.* (Amsterdam), 1966, **23**, 106.

PEREIRA (A.), PEREIRA (M. M.). — **Aminoacides libres d'un café vert provenant de l'Huambo (Angola). Séparation et identification par électrophorèse et chromatographie sur couche mince.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 545-550, fig., réf.

Après avoir employé des méthodes d'extraction convenables, les auteurs ont étudié les acides aminés libres dans un café vert provenant d'une plantation du plateau de l'Huambo (Angola).

Pour cela, en utilisant la chromatographie sur couche mince et l'électrophorèse, ils ont séparé l'ensemble des aminoacides auparavant obtenus et les ont ensuite identifiés au moyen des réactifs de coloration.

Une attention très spéciale a été donnée à la présence éventuelle de l'acide pipécolique.

Des essais comparatifs avec des chromatogrammes de référence, l'usage de l'acide pipécolique comme étalon interne et l'utilisation des réactifs révélateurs (ninhydrine-acétate de cadmium et chlorure de p-nitro-benzoyl) ont permis de détecter une substance dont le comportement est semblable à cet aminoacide. Par ailleurs, ils ont toujours trouvé une telle substance dans des cafés verts de *Coffea arabica* et de l'hybride *C. arabica* × *C. robusta*, mais pas dans ceux d'autres provenances botaniques.

L'examen taxonomique des spécimens producteurs du café étudié a confirmé qu'il s'agissait vraiment d'une variété ou d'un hybride de *C. arabica*.

8. R. I. MORRISON. — *Biochem. J.* (Londres), 1953, **53**, 474.

9. A. PEREIRA, M. M. PEREIRA. — V^e Coll. Intern. sur la Chimie des Cafés, Lisbonne, 14-19 juin 1971, ASIC, Paris, 1973, p. 85-90.

10. A. PEREIRA, J. B. GRAÇA, M. M. PEREIRA. — Les acides aminés dans les cafés de Timor (sous presse).

11. K. RANDEPATH. — *Thin-Layer Chromatography*. Ed. Academic Press (New York), 1963, 18.

12. I. SMITH, J. W. T. SEAKINS. — *Chromatography and electrophoretic Technics*, 4^e Edit., Heinmann, (Londres), 1976, vol. I, 82.

PEREIRA (A.), PEREIRA (M. M.). — **Free amino-acids in green coffee from Huambo (Angola). Separation and identification by electrophoresis and thin layer chromatography.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 545-550, fig., réf.

Following the application of suitable extraction methods, the authors studied the free amino-acids in green coffee obtained from a plantation on the Huambo Plateau (Angola).

To achieve this, they separated all the obtained amino-acids by using thin layer chromatography and electrophoresis, and followed this by identifying them by staining.

Particular attention was paid to the possible presence of pipercolic acid.

Comparative tests with reference chromatograms, the utilisation of pipercolic acid as an internal standard, and the utilisation of developers (cadmium ninhydrin acetate and p-nitro-benzoyl chloride) enabled a substance to be detected, the behaviour of which resembled that of this amino-acid. In addition, they always found such a substance in the green coffees of *Coffea arabica* and of the hybrid *C. arabica* × *C. robusta*, but not in those of other botanical origins.

A taxonomic examination of producer specimens of the studied coffee confirmed that in fact one variety or a hybrid of *C. arabica* is concerned.

STATISTICAL RISKS IN THE ISO DRAFT STANDARD (NEW YORK, JUNE 1976) FOR THE DETERMINATION OF INSECT-DAMAGED BEANS

J. NUNES MEXIA

Missão de Estudos Agronômicos do Ultramar, Lisbonne

Introduction

In this paper we are going to evaluate the statistical risks arising in the use of the above referred standard.

These risks will correspond to the rejection (or acceptance) of lots for which the percentage of insect-damaged beans is < 0.1 [or > 0.1].

The application of the standard

In order to apply this standard we use a graph which, through interpolation, enables us to determine from the observed percentage p^{\times} of insect-damaged bean the confidence level q at which we may state

$$(1) p < 0.1.$$

The graph is prepared for samples up to 1,000 observed beans. Let n be the number of beans in the sample.

Statistical method

To obtain that graph a Bayesian approach was used since the assumption was made that there was a prior distribution for p , uniform in $[0,1]$.

Since we cannot clearly see the theoretical grounds on which such assumption rests we decided to check the results to which it lead.

In order to do this we determined, through interpolation in the graph, for $q = 0.95 ; 0.9 ; 0.85 ; 0.8$ and 0.75

the corresponding values of p^{\times} for $n = 200 ; 300 ; \dots ; 1,000$.

These values are presented in table I, p. 552.

Then using the normal approximation to the distribution of

$$(2) \quad t = \frac{P^{\times} - p}{\sqrt{\frac{P(1-p)}{n}}}$$

as well as table I of Fisher and Yates (1957) we determined for the same values of n and q the probability P of a lot for which $100 \times p = 7.5 ; 8.0 ; 8.5 ; 9.0 ; 9.5 ; 10.0$ and 10.5 being accepted.

These values are presented in table II, p. 552.

Conclusions

When we look at table II we see that :

a) the real values of P are quite different from those that we would expect. This may be due to the Bayesian approach used to construct the graph ;

b) the best value of q is, in our opinion, 85 % — since using this value we have for, $n = 1,000$ and $p = 7.5 \%$, $P = 96 \%$ and, for $n = 1,000$ and $p = 10.5$, $P = 6 \%$ which we think are fair values for this probability.

REFERENCE

R. A. FISHER, F. YATES. — Statistical Tables (Londres), Oliver & Boyd, 1957, 138 p.

Table I

q	Values of 100 x p								
	n								
	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000
0.95	6.5	7.17	7.45	7.75	8.04	8.14	8.19	8.25	8.32
0.90	7.13	7.66	8.04	8.17	8.30	8.41	8.52	8.60	8.68
0.85	7.54	8.09	8.30	8.48	8.60	8.75	8.81	8.90	9.00
0.80	8.04	8.41	8.59	8.78	8.91	9.02	9.09	9.11	9.14
0.75	8.32	8.67	8.88	9.03	9.10	9.16	9.22	9.25	9.27

Table II

q	p x 100	Probability P (%)								
		n								
		200	300	400	800	600	700	800	900	1,000
96 %	7.5	29	42	48	58	69	74	77	81	84
	8.0	22	30	34	42	52	56	58	61	64
	8.5	15	21	23	27	34	35	38	40	42
	9.0	11	14	14	17	21	21	21	22	23
	9.5	8	8	8	9	11	11	10	10	10
	10.0	5	5	5	5	5	5	5	5	4
90 %	10.5	3	3	2	2	2	2	1	2	1
	7.5	42	54	66	71	77	82	86	90	92
	8.0	33	41	51	56	61	66	71	75	79
	8.5	24	30	37	40	43	47	51	54	58
	9.0	18	21	25	26	28	29	32	34	36
	9.5	12	13	14	15	16	16	17	18	19
85 %	10.0	9	9	10	9	8	8	8	8	8
	10.5	6	5	5	5	4	4	4	3	3
	7.5	51	65	73	80	85	90	92	94	96
	8.0	41	52	59	65	71	77	80	84	88
	8.5	31	40	44	49	54	59	63	67	72
	9.0	24	29	32	34	37	41	43	46	50
80 %	9.5	17	20	21	22	24	25	25	27	29
	10.0	13	14	13	13	13	14	14	14	14
	10.5	9	9	8	7	6	7	6	6	6
	7.5	61	73	80	86	90	94	96	97	98
	8.0	51	60	67	74	79	84	87	89	91
	8.5	39	48	53	59	64	69	72	75	78
75 %	9.0	32	36	39	43	48	52	53	55	56
	9.5	24	26	27	29	31	33	35	34	35
	10.0	18	19	17	18	19	19	20	19	18
	10.5	13	12	11	11	10	10	10	10	9
	7.5	67	78	85	90	93	95	97	98	99
	8.0	57	67	74	80	83	85	90	92	93
70 %	8.5	46	54	61	66	70	73	77	79	81
	9.0	37	42	47	51	53	56	59	60	62
	9.5	29	31	34	36	37	38	39	40	40
	10.0	21	22	23	23	23	23	23	23	22
	10.5	15	15	15	14	13	13	12	11	10

MEXIA (J. N.). — Aléas statistiques du projet de norme ISO (New York, juin 1976) pour l'évaluation des grains endommagés par les insectes. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café (Abidjan), 28 nov.-3 déc. 1978, ASIC (Paris), 1979, p. 551-552, tabl., réf.

Les aléas statistiques du projet de norme adopté à la réunion ISO à New York en juin 1976 sont évalués. Un tableau est présenté dans lequel la probabilité d'acceptation d'un lot est donné en fonction de la taille de l'échantillon et du pourcentage réel de grains endommagés par les insectes.

MEXIA (J. N.). — Statistical risks in the ISO draft standard (New York, June 1976) for the determination of insect-damaged beans. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 551-552, tabl., réf.

The statistical risks in the use of the draft standard approved at the ISO meeting in New York, June 1976, are determined. A table is included where the probability of acceptance of a lot is given in function of the sample size and the true percentage of insect damaged beans.

LA FERTILITÉ CHEZ LES HYBRIDES « ARABUSTA »

Méthodes d'estimation, influence du parent Arabica et relation avec le comportement méiotique

Monique GRASSIAS

Faculté des Sciences d'Abidjan

Afin d'associer les qualités gustatives et commerciales de l'Arabica à la productivité du Robusta et aux conditions de la culture de ce café en Côte d'Ivoire, l'Institut français du Café et du Cacao a choisi parmi les schémas possibles d'amélioration, celui de l'hybridation interspécifique entre *Coffea canephora* ($2n = 22$) préalablement doublé par la colchicine et *Coffea arabica* ($2n = 44$). Ce nouveau caféier hybride F_1 tétraploïde, appelé « Arabusta », a été décrit par Capot et Aké Assi (1974).

La sélection de ce matériel consiste à diversifier au cours des années les parents *C. canephora* et *C. arabica*. Chaque couple de géniteurs conduit à la création d'une famille d'Arabusta d'origine différente.

On constate qu'au niveau de la productivité, il existe une grande hétérogénéité d'une famille à l'autre et, à l'intérieur même d'une famille, d'un individu à l'autre. Tous ces hybrides présentent une certaine stérilité se traduisant par un taux de caracolis (fruits contenant un seul grain) plus ou moins élevé. Ce défaut de fertilité des Arabusta est imputable aux géniteurs tétraploïdes *Canephora* et peut être corrigé en les sélectionnant

pour leur fertilité (Capot, 1972 ; de Reffye, 1975). C'est la raison pour laquelle une importante collection de tétraploïdes *Canephora* issus de générations successives en fécondation libre a été créée à Bingerville. Elle fournit alors au sélectionneur des géniteurs à rendement et fertilité améliorés, utilisés dans l'obtention de nouvelles familles d'Arabusta.

Devant l'importance de la fertilité comme critère de sélection dans le programme d'amélioration de l'Arabusta, il nous a paru justifié ;

1. D'estimer la fertilité d'un arbre par différentes méthodes, soit en utilisant le pollen, soit en utilisant le paramètre P_1 directement lié au taux de caracolis (de Reffye, 1974) ;

2. De connaître les facteurs intervenant dans la variation de cette fertilité, d'un arbre à l'autre et d'une floraison à l'autre ;

3. De rechercher le rôle joué par le parent *C. arabica* au niveau de la fertilité des Arabusta.

4. Enfin, d'étudier les irrégularités du déroulement de la méiose au cours de la formation des grains de pollen en liaison avec les défauts de fertilité.

MATÉRIEL VÉGÉTAL UTILISÉ

Les observations sur la fertilité pollinique ont porté sur un échantillon de trente-quatre Arabusta à développement végétatif convenable cultivés à la station de l'IFCC de Bingerville. Ils présentent néanmoins une très grande variabilité dans leur taux de caracolis (de 15 % à 81 %) et appartiennent à des familles d'Arabusta d'origine variée. Elles proviennent pour la plupart du croisement entre divers tétraploïdes *Canephora* originaux (cas de cinq familles) ou de première génération (cas de six familles) avec différents Arabica choisis comme parent mâle. Sept de ces arbres dénommés X sont des hybrides naturels dont on ne connaît pas l'origine du pollen Arabica. Enfin, parmi ces trente-quatre hybrides, quelques rares pieds de *C. arabica* ont été utilisés en tant que géniteur femelle.

L'effet du parent *C. arabica* sur la fertilité ovulaire des Arabusta a été mesuré sur treize arbres de la famille 4200, sur neuf arbres de la famille 5100 et sur huit arbres de la famille 1300. Ces trois familles possèdent en commun la souche *Canephora* tétraploïde T 73, mais diffèrent par les géniteurs mâles Arabica utilisés (un cultivar, le « Guinée Pita », l'« Ar 11C » et l'« Ar 54 », tous deux d'origine spontanée et rapportés d'Éthiopie par Hallé et Guillaumet en 1967.

Les observations méiotiques, quant à elles, ne concernent qu'un hybride, dans chacune des familles 1300 et 4200, mais des observations sur quatre autres Arabusta (non rapportées dans cette étude) ont confirmé les résultats trouvés.

MÉTHODES

Estimation de la fertilité mâle

Les mesures ont été faites au cours des quatre floraisons successives s'étalant de janvier à fin mars 1977, après des périodes de sécheresse d'un mois pour les deux premières floraisons, d'une et deux semaines pour les suivantes. A chaque floraison et pour chaque hybride, on a prélevé un échantillon de fleurs qui a servi simultanément aux trois tests étudiés.

Tests de coloration

— par le **carmin acétique** de Behling traditionnellement utilisé à la concentration de 2 %. Il a la propriété de colorer en rouge intense et homogène le cytoplasme des grains supposés fertiles.

— par un **sel de tétrazolium**, le chlorure 2, 3, 5 triphényltétrazolium utilisé à la concentration de 0,25 % dans de l'eau distillée à la température ambiante du laboratoire (22° C). Ce sel a été déjà expérimenté avec succès par Sarvella (1964) sur le coton et par Hecker (1963) sur la betterave. Il est soluble et incolore dans l'eau, mais il précipite sous forme de cristaux rouges quand il est réduit sous l'action des enzymes déshydrogénases impliqués dans les processus respiratoires des grains de pollen potentiellement viables. Le mode de conservation des lames ainsi que le moment de lecture importent beaucoup dans ces expériences : les lames sont donc conservées en atmosphère saturée d'humidité dans des boîtes de Pétri avant d'être lutées, et ne sont lues qu'après un temps minimal de 24 h, la réaction de coloration et de précipitation des cristaux se faisant très lentement à la température du laboratoire.

Pour chacune de ces deux colorations, nous avons compté à chaque floraison, et pour chaque génotype, trois fois un total de cent grains.

Test de germination *in vitro*

Le test de germination *in vitro* consiste à étaler des grains de pollen sur des boîtes de Pétri contenant un

milieu gélosé humide enrichi de 10 % de saccharose et placées pendant 6 h dans une étuve à la température de 28-30 °C.

La germination des grains de pollen est stoppée en ajoutant au milieu un colorant non vital, l'alexander (Alexander, 1969). Il contient de la fuschine acide qui teinte en rouge le cytoplasme et du vert malachite qui colore les parois des grains en vert. Ce dernier constituant se trouve être un excellent bactéricide et fongicide, ce qui permet de conserver les boîtes de Pétri pendant plus d'un mois avant de procéder à leur lecture.

Seuls les grains prolongés par un tube pollinique sont retenus dans l'estimation de la fertilité et un total de neuf fois cent grains est compté pour chaque génotype.

Estimation de la fertilité femelle

Un échantillon de deux cents à cinq cents fruits âgés de six à sept mois est récolté sur chaque arbre choisi. Après découpage au scalpel, les fruits peuvent être différenciés en cerises à deux grains normaux et en cerises à un grain caracoli et une écaille (ovule avorté précocement). On a estimé la fertilité femelle par le paramètre F_1 ou taux d'utilisation des ovules, directement lié à $1-P_1$, ou taux de caracolis (de Reffye, 1974).

Analyses méiotiques

Les observations ont été faites sur les frottis de cellules mères de grains de pollen colorés dans un mélange de carmin acétique ferrique et d'hématoxyline acétique, conformément à des techniques déjà décrites (Kammacher et Capot, 1972 ; Grassias et Kammacher, 1975). Nous n'avons pas limité l'expérience à l'observation exclusive des plaques métaphasiques, mais nous nous sommes intéressée, dans la mesure du possible, à tous les stades de la division méiotique.

RÉSULTATS

Estimation des fertilités pollinique et ovulaire

Au cours des quatre floraisons étudiées et pour chaque génotype choisi, nous avons rassemblé dans le tableau I, les différentes valeurs prises par le paramètre

P_1 et les différents pourcentages de grains à cytoplasme coloré par le carmin acétique (C), de grains présentant des cristaux avec le tétrazolium (T) et enfin de grains germés (G).

La comparaison de l'ensemble des résultats obtenus par les quatre méthodes d'estimation montre que, quel

Tableau I. — Fertilités ovulaire et pollinique (données non transformées)

Génotypes utilisés	Fertili- té ovu- laire	FERTILITÉ POLLINIQUE P. 100										
		Floraison du 29.1.77			Floraison du 1.3.77			Florai- son du 9.3.77			Floraison du 23.3.77	
		P	C	T	G	C	T	G	C	C	T	
1 305	0,19		46,00	16,88	29,60	33	7,66	41,00				
1 334	0,27	55,33	63,30	22,11		63,60						
1 101	0,32				63,00		11,33		71,16			
4 705	0,37		58,30	23,33	42,00	66,00						
1 328	0,37		68,00		63,00	69,30	38,11					
3 112	0,38		57,60	14,55	42,60	58,60	14,33	84,60	76,00	38,00		
X ₁	0,39				63,00							
1 327	0,39	51,05		16,44			9,00	32,00		47,00		
1 333	0,41	60,30	62,00	27,44	58,30	63,60	15,22					
4 240	0,43	64,60	55,00	21,40					69,00	42,60		
1 324	0,45		57,30	24,00	61,00	58,60	23,00	78,50				
5 314	0,48	50,00			71,30				80,00			
X ₈₈	0,49						28,00					
X 72	0,50											
5 304	0,51	45,00	47,30									
1 323	0,53	67,30		22,88	47,33			74,50	84,00	42,00		
1 317	0,54							76,00				
5 412	0,54	62,00			60,80	53,30	13,83					
X 72	0,56		59,30	33,40	74,00		34,33	78,80				
4 224	0,57		50,30		67,50							
X 214	0,59	72,30	53,60	33,44				82,00	88,00			
1 319	0,60		74,00	22,88	73,30	64,00		65,60				
4 311	0,60		66,60		61,00	68,00						
4 355	0,62		73,30		78,00	75,00	35,11		94,00			
4 602	0,63			16,33								
4 634	0,64	44,00	42,00			46,00			73,60			
X 233	0,85	90,60	68,60	58,77	94,30	77,30	64,22					
2 718		66,20				67,30	44,40	50,60	75,00	57,30		
4 231			54,60		48,60							
4 420					58,00	60,67			78,30			
4 415			74,60	38,77	72,30	71,00						
4 301			54,60	33,33	84,60	79,30	45,88		72,30	59,30		
X 212		80,30	52,30	48,55	85,00	65,60						
4 507			76,30			65,60						

que soit le test utilisé, il existe une grande variabilité au niveau des fertilités pollinique et ovulaire selon l'Ara-busta étudié.

Etude des corrélations entre les différentes mesures

Nous avons d'abord comparé les différentes méthodes d'estimation de la fertilité pollinique en calculant les coefficients de corrélation (r) qui existent entre les mesures données par les trois tests au cours de la deuxième floraison (tableau II).

Tableau II. — Coefficients de corrélation existant entre les différentes mesures d'estimation de la fertilité pollinique

	Carmin	Tétrazolium
Test de germination	0,86 **	0,81 **
Carmin		0,77 **

** significatif à P 0,01

La lecture de ce tableau montre que tous les coefficients de corrélation calculés sont hautement significatifs au seuil de 1 %. On peut donc en conclure que les différentes méthodes utilisées donnent une estimation de la fertilité pollinique du même type.

Puis nous avons cherché une liaison éventuelle entre fertilité ovulaire estimée par le P_1 et fertilité pollinique. Les coefficients de corrélation calculés sont regroupés dans le tableau III.

Tableau III. — Coefficients de corrélation entre fertilité ovulaire et fertilité pollinique

	Carmin	Tétrazolium	Test de germination
P_1	0,80 **	0,49 NS	0,82 **

** significatif à P 0,01

Comme nous l'indique l'examen de ce tableau, une très forte liaison existe entre le P_1 et le pourcentage de grains colorés au carmin ou ayant germé *in vitro*. Par contre, l'absence de corrélation entre les P_1 et les valeurs données par le tétrazolium est de prime abord surprenante, puisque toutes les données sont, par ailleurs, en corrélation entre elles. Or on a remarqué deux groupes de plantes réagissant différemment au cours de cette floraison : le premier groupe, constitué d'hybrides ayant fleuri normalement, possède un P_1 en corrélation avec le test de coloration au tétrazolium ; le second, formé d'arbres déjà couverts de fruits et ayant présenté une très faible floraison, donne des pourcentages de grains contenant des cristaux anormalement bas et non en corrélation avec les P_1 . Il semblerait donc que les mesures fournies par le test au tétrazolium soient dépendantes de la qualité de la floraison. Des expériences complémentaires seront menées cette année pour vérifier cette interprétation.

Etude de la variation de la fertilité pollinique d'une floraison à l'autre

En prenant comme test d'estimation la coloration au carmin, nous avons étudié la variation de la fertilité pollinique en fonction des quatre floraisons et des différents génotypes (tableau IV).

En comparant les variations de la fertilité pollinique entre les deux premières floraisons pour chacun des trois tests, on a mesuré les influences respectives des facteurs génotype, floraison et interaction hybride-floraison (tableau V).

De l'examen de ces deux tableaux, il se dégage les conclusions suivantes :

1. Dans tous les cas, l'échantillon des Arabusta étudié présente une variation génétique pour le caractère de fertilité pollinique (l'effet génotype est en effet hautement significatif dans toutes les expériences).

2. Les mesures de la fertilité pollinique peuvent varier significativement d'une floraison à l'autre.

3. Le classement dans les fertilités des différents arbres n'est pas forcément le même d'une floraison à l'autre (l'interaction hybride-floraison étant elle aussi hautement significative quelle que soit la floraison). Il existerait donc une forte interaction génotype-milieu.

Ces remarques attirent toute notre attention sur l'extrême prudence que doit avoir le chercheur dans l'interprétation des résultats fournis par les tests de coloration et de germination.

Rôle du parent Arabica dans la fertilité femelle

Les valeurs de fertilité ovulaire P_1 qui caractérisent chaque hybride appartenant aux trois familles d'Arabusta 4200, 5100 et 1300 sont données dans le tableau VI.

La comparaison des moyennes de la fertilité femelle dans ces trois familles montre que la famille 1300 est

Tableau IV. — Analyse de variance des mesures obtenues par coloration au carmin entre diverses floraisons (données transformées en arc sin \sqrt{X})

source de variation nature de la floraison	effet génotype	effet floraison	Interaction hybride-floraison
mesures entre 1ère et 2ème floraison	56,98 **	0,68 NS	8,53 **
mesures entre 1ère et 3ème floraison	12,20 **	0,56 NS	10,57 **
1ère et 4ème floraison	15,49 **	83,6 **	9,99 **
2ème et 3ème floraison	61,47 **	105,29 **	22,43 **
2ème et 4ème floraison	25,84 **	104,76 **	21,97 **
3ème et 4ème floraison	38,20 **	10,91 **	8,55 **

** significatif à P 0,01

NS non significatif

Tableau V. — Analyse de variance des mesures obtenues dans trois tests d'estimation de la fertilité pollinique, lors des deux premières floraisons (données transformées en arc sin \sqrt{X})

source de variations différents tests employés	effet génotype	effet floraison	interaction hybride-floraison
Carmin	56,98**	0,68 ^{NS}	8,53**
Tétrazolium	22,36**	3,06 ^{NS}	5,98**
Test de germination	47,78**	9,96**	8,25**

Tableau VI. — Différentes valeurs du P₁ dans trois familles d'Arabusta

FAMILLE 4200		FAMILLE 5100		FAMILLE 1300	
T 73 x Ar 11 C		T 73 x Ar 54		T 73 x Guinée Pita	
Génotypes	P ₁	Génotypes	P ₁	Génotypes	P ₁
4240	0,43	5106	0,54	1305	0,19
4202	0,43	5122	0,54	1334	0,27
4227	0,57	5114	0,59	1328	0,37
4224	0,57	5116	0,63	1327	0,39
4223	0,53	5105	0,65	1333	0,41
4201	0,59	5115	0,68	1324	0,45
4203	0,60	5108	0,68	1323	0,53
4225	0,60	5109	0,70	1319	0,60
4207	0,62	5112	0,77		
4222	0,63				
4215	0,64				
4221	0,66				
4211	0,89				

très différente des deux autres ($F = 16,24$ au seuil de 1 %) qui ne sont pas significativement différentes entre elles. Ces trois familles ayant le même géniteur *Canephora* autotétraploïde, il apparaît clairement que les géniteurs *C. arabica*, « Ar 11c » et « Ar 54 », conduisent à la création d'un certain nombre d'Arabusta à taux de caracolis exceptionnellement bas et deux fois moins élevé que dans la famille 1300 (cf. tableau VI).

Bien que l'échantillonnage soit restreint, ce premier résultat implique son étude dans un plus grand nombre de croisements.

Premières informations apportées par l'étude des méioses

On sait que chez les plantes polyploïdes, les défauts de fertilité rencontrés s'expliquent en général au niveau de la méiose par la présence d'univalents, de multivalents qui se distribuent mal ou de stades non synchrones pour tous les chromosomes.

Nous avons regardé la méiose de deux Arabusta particulièrement peu productifs ayant un fort taux de caracolis, le 1305 et le 4240. Ils sont en effet caractérisés par :

- un P₁ de 0,19 et 0,43 respectivement,
- un pourcentage de grains colorés au carmin de 30 et 65 %,
- un pourcentage de grains colorés au tétrazolium de 40 et 55 %,
- un pourcentage de grains germés de 17 % et de 22 %.

L'ensemble des observations est consigné dans le tableau VII, p. 558.

L'analyse de ce dernier tableau nous révèle que, dès la métaphase 1, on trouve, à côté de bivalents, dont le nombre est supérieur à onze, des trivalents et de rares quadrivalents, un nombre élevé d'univalents (dont la moyenne est respectivement de six et huit).

L'interprétation des plaques et des associations chromosomiques rencontrées s'avère délicate et implique pour chaque plante l'observation au même stade d'un grand nombre de cellules et la nécessité de faire de nombreux recoupements à partir de photos prises à tous les stades de la méiose. En analysant les images rencontrées à des stades antérieurs à la métaphase I, il apparaît qu'il n'y a pas, chez les Arabusta, de multivalents de plus de quatre chromosomes associés.

Les univalents recensés restent groupés par paire en étant disposés symétriquement par rapport au plan

Tableau VII. — Ensemble des observations faites sur la méiose de deux Arabusta, le 1305 et le 4240

	Nombre de cellules examinées		Résultats	
	hybride 1 305	hybride 4 240	hybride 1 305	hybride 4 240
Formule d'appariement chromosomique à la Métaphase I :	11	44		
- nombre d'univalents			8,45	6,22
- nombre de bivalents			13,81	15,95
- nombre de trivalents			2,27	1,50
- nombre de quadrivalents			0,27	0,34
Observations à l'Anaphase I :				
- % de pôles à 22 chromosomes	36	43	25	30,23
- % du nombre de cellules sans trainards	146	90	26	18
- % du nombre de pôles à 21 chromosomes	36	43	26,3	23,25
- % du nombre de pôles à 23 chromosomes	36	43	16,6	16,27
- % du nombre de pôles à n-x ou n+x chromosomes	36	43	31,94	18,59
Observations à l'Anaphase II :				
- % de gamètes à 22 chromosomes	45	82	24,4	19,04
- % de gamètes à 21 chromosomes	45	82	11,1	29,76
- % de gamètes à 23 chromosomes	45	82	11,1	20,23

équatorial, ou bien se répartissent au hasard, en nombre variable, de part et d'autre de ce plan, accompagnés parfois d'un trivalent et de bivalents.

La présence de ces nombreux univalents dès le stade métaphase I, pourrait nous laisser supposer une répartition inégale des chromosomes aux pôles dans les stades ultérieurs de la méiose. Or le tableau VII nous indique une fréquence élevée de gamètes au nombre normal de vingt-deux chromosomes ou subnormal de vingt et un ou vingt-trois chromosomes, c'est dire que les écarts par rapport au nombre normal ne sont que très rarement supérieurs à un. On peut se demander si cette répartition numérique équilibrée ou presque donne des gamètes qualitativement viables.

La signification de ces nombreux univalents en

métaphase I, en tant qu'indice de non-homologie entre plusieurs chromosomes, semble donc être remise en question par le fait que très peu de chromosomes sont égarés au cours des anaphases I et II de la méiose. Il faudrait rechercher alors l'origine de ces univalents dans la séparation précoce et non synchronisée d'un certain nombre de bivalents dès la métaphase I. Cette irrégularité de comportement pourrait s'expliquer par la cohabitation dans le même cytoplasme Arabusta de chromosomes appartenant aux génomes de *C. arabica* ou du tétraploïde *Canephora*. L'absence d'homologie entre les deux génomes confrontés ne porterait donc que sur un nombre beaucoup plus restreint de chromosomes que ne le laissait prévoir l'examen des plaques métaphasiques.

CONCLUSIONS

La concordance des résultats donnés par les différents tests utilisés montre qu'ils permettent tous d'évaluer, dès la floraison, la fertilité potentielle des hybrides Arabusta.

La principale source de variation de la fertilité est d'origine génétique.

Il convient d'être prudent dans l'utilisation et l'interprétation du test choisi, car la fertilité d'un arbre donné peut varier d'une floraison à l'autre, et en fonction du milieu où il se trouve.

Cette étude montre par ailleurs clairement que le choix du parent Arabica peut faire varier du simple au double le niveau moyen de la fertilité des descendants Arabusta. Il y a donc lieu de prendre en considération le choix des géniteurs *C. arabica* au même titre que celui du parent tétraploïde *Canephora* pour l'amélioration globale de la fertilité des Arabusta.

Des problèmes se posent pour l'interprétation de la conjugaison chromosomique de ce matériel : il est donc important de suivre le comportement des chromosomes

pendant tout le déroulement de la méiose. Les cellules analysées au stade de la métaphase I présentent de nombreux univalents, une moyenne supérieure à onze bivalents et des multivalents constitués essentiellement de trivalents. Au stade anaphase II, l'écart par rapport à la normale observé le plus fréquemment porte sur des gamètes à vingt et un ou vingt-trois chromosomes.

La signification des univalents observés en métaphase I est envisagée comme la conséquence pour la plupart d'entre eux, d'une séparation précoce de bivalents. L'absence d'homologie entre les deux génomes

confrontés dans le cytoplasme Arabusta ne toucherait que très peu de chromosomes. L'ensemble des anomalies rencontrées dans le déroulement de la méiose indiquerait donc une mauvaise régulation de cette méiose plutôt qu'un indice de différenciation fondamentale entre les chromosomes. Dans les travaux ultérieurs, l'analyse des méioses pourrait être utilisée comme un autre critère d'appréciation de la fertilité de ce nouveau type de structure déséquilibrée qu'est l'Arabusta.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. P. ALEXANDER, 1969. — Differential staining of aborted and nonaborted pollen. *Stain Tech.* (Baltimore), II, n° 3, p. 117-121.
2. J. CAPOT, 1972. — L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire — Les hybrides « Arabusta ». *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 16, n° 1, janv.-mars, p. 3-18.
3. J. CAPOT, L. AKÉ ASSI, 1974. — Un nouveau caféier hybride de Côte d'Ivoire. *Bulletin de l'I.F.A.N.*, (Dakar), t. XXXVI, sér. A, n° 4.
4. M. GRASSIAS, P. KAMMACHER, 1975. — Observations sur la conjugaison chromosomique du *Coffea arabica* L. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 19, n° 3, juil.-sept., p. 177-190.
5. J. L. GUILLAUMET, F. HALLÉ, 1967. — Etude de la structure et de la variabilité du *Coffea arabica* dans son aire d'origine. Rapport de mission ORSTOM dans le Sud-Ouest de l'Ethiopie (12 nov.-18 déc. 1966). ORSTOM, Abidjan, rapport multigr., 53 pages.

6. R. J. HECKER, 1963. — Use of tetrazolium salts in determining viability of sugarbeet pollen. *J. Amer. Soc. Sugarbeet Tech.* (Forts Collins), 12, n° 6, p. 521-528.
7. P. KAMMACHER, J. CAPOT, 1972. — Sur les relations caryologiques entre *Coffea arabica* et *C. canephora*. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 16, n° 4, oct.-déc., p. 289-294.
8. Ph. de REFFYE, 1974. — Le contrôle de la fructification et de ses anomalies chez les *Coffea arabica*, *robusta* et leurs hybrides Arabusta. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. 18, n° 4, oct.-déc., p. 237-254.
9. Ph. de REFFYE, 1975. — Formulation mathématique des facteurs de la fertilité dans le genre *Coffea*. Thèse de 3^e cycle. Faculté des Sciences, Orsay.
10. P. SARVELLA, 1964. — Vital-stain testing of pollen viability in cotton. *J. Hered.* (Washington), 55, p. 154-158.

GRASSIAS (M.). — **La fertilité chez les hybrides « Arabusta ».** Méthodes d'estimation, influence du parent *Arabica* et relation avec le comportement méiotique. VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977, ASIC (Paris), 1979, p. 553-560, tabl., réf.

Sur un échantillon de trente-quatre Arabusta appartenant à des familles d'origine variée et cultivées sur la station de l'IFCC à Bingerville (Côte d'Ivoire), une estimation de la fertilité pollinique a été réalisée par trois méthodes (coloration au carmin, au tétrazolium, test de germination) puis mise en corrélation avec la fertilité femelle définie par le paramètre P1, ou taux d'utilisation des ovules, directement lié au taux de caracolis.

L'analyse de variance sur les mesures d'estimation de la fertilité pollinique a mis en évidence : un effet génotype, un effet floraison et une interaction génotype-milieu hautement significatifs.

La comparaison des moyennes de la fertilité femelle dans trois familles d'Arabusta, créées à partir du même géniteur autotétraploïde *Canephora*, démontre clairement le rôle joué

GRASSIAS (M.). — **Fertility in « Arabusta » hybrids. Evaluation methods, influence of the parent *Arabica* and relationship to behaviour at meiosis.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 553-560, tabl., réf.

An estimate of pollen fertility was made on a sample of thirty-four Arabusta belonging to families of various origin and cultivated on the IFCC Station at Bingerville, using three methods (staining with carmine, with tetrazolium, germination test). The results were then correlated with female fertility defined by the parameter P1, or percentage of ovule utilisation, directly related to the percentage of peaberries.

Variance analysis on the pollen fertility estimation figures revealed a genotype effect, a flowering effect and a genotype-environment interaction which are highly significant.

A comparison of the averages of female fertility in three Arabusta families, developed from the same auto-tetraploid *Canephora* parent, clearly revealed the role played by the parent *Arabica* in raising the average fertility level of the Arabusta progenies.

par le parent Arabica dans l'amélioration du niveau moyen de la fertilité des descendants Arabusta.

Les anomalies rencontrées dans la méiose de deux Arabusta à taux de caracolis élevés indiquent que l'absence d'homologie entre les deux génomes Arabica et Canephora confrontés dans le même cytoplasme Arabusta ne porterait que sur un nombre restreint de chromosomes, et ne perturberait pas l'ensemble du déroulement de la méiose.

The irregularities found at meiosis in two Arabusta with a high peaberry percentage indicate that the absence of homology between the two genomes Arabica and Canephora compared in the same cytoplasm Arabusta would appear to bear only on a limited number of chromosomes and not to disturb the overall course of meiosis.

THE PRESENT STATE OF COFFEE INDUSTRY IN NIGERIA

G. A. FILANI (*), O. AJOBO (**)

Cocoa Research Institute of Nigeria, Ibadan

INTRODUCTION

Coffee farms are scattered over large areas of Nigeria particularly in the Southern parts. There are many species of this crop grown in the Country, but broadly the main ones are *Coffea arabica* and *Coffea canephora* (Robusta). *C. canephora* is grown mainly in the Southern parts and the riverain areas of the Northern States of Nigeria where the annual rainfall ranges from 1,000 mm to 2,000 mm.

In the South approximately 87 % of the total coffee grown is owned by peasant farmers whose holdings range from 0.4 to 2.1 ha. The rest of the coffee is grown principally in plantations and almost all of these are owned by Government Investment Corporations.

C. arabica is grown only on the Mambilla Plateau of the Gongola State in the North Eastern parts of Nigeria. This Plateau lies in the Gashika-Mambilla Division of the Sardauna province of the State. It rises to a height of 1,500-2,000 m above sea level and it

covers approximately 4,000 sq km (Holmes, 1960). Before the United Nations supervised plebiscite of 1960, the Plateau was part of Northern Cameroon then administered as a Trust-territory by the British and later by Nigeria as part of the Northern Nigeria (Are *et al.*, 1965). The weather is cool with a mean minimum temperature of 65°F and a mean maximum of 75°F. The rainfall, 1,500-2,000 mm per annum, starts during early March and continues until the end of October. The climate of this Plateau is therefore ideal for the cultivation of *C. arabica*.

It is not known exactly how long *C. arabica* has been growing on the plateau but the first introduction was said to have been made by a man called de Bouley into Gembu, the administrative headquarters of the Plateau, from Bamenda in West Cameroon in 1952 (Kaasboll-Smith, 1965), now part of the Cameroon Republic.

PRODUCTION AND MARKETING

An accurate assesement of total coffee production and total land area under cultivation of coffee has been very difficult to make principally because for a very long time there was no uniform and rigid marketing policy for the whole Nigeria. However, it is known that coffee, principally *C. canephora*, *C. liberica*, *C. excelsa* and *C. abeokutae*, are widely scattered over

various parts of Southern Nigeria. In these areas, the farmer has been faced with the problem of how to dispose his produce. Some of the processed coffee in some areas are sold away to buyers from the Republic of Benin, a neighbouring country, while most of it are just stored away until a buyer comes along usually at the times when the farmer needs money badly and therefore ready to give away his produce at any price. In other areas, the farmers sell to Northern produce buyers who in turn sell to the Northern Nigerian Marketing Board. As a result of these difficulties, the

(*) Assistant Chief Plant Pathologist

(**) Senior Economist

farmer lost all interest in his coffee farm and in most cases, the crops were cut down to be replaced by cocoa or food crops, while in other cases, the farmer merely ignores his farm which is then over grown by bush and becomes wild.

The situation in the North was more organised because the Northern Nigeria Marketing Board guaranteed a ready and steady market for all coffee produced in the North. All *C. canephora* grown in the riverain parts of the North are owned by individual small holders, and on the Mambilla a large proportion of *C. arabica* produced are by peasant farmers, but the Nigerian Beverages Production Company has established large plantations on the Plateau. The Ministry of Natural Resources of Gongola State is encouraging farmers on the Plateau to plant more coffee by supplying seedlings at very low costs, by giving advice on proper cultural methods and by establishing pilot farms. The Marketing Board provides the market for good quality and ripe cherries at favourable prices, and the establishment of small pulping and hulling stations at key locations on the Plateau means that farmers would no longer have to process their own coffee, and a higher and uniform quality product can therefore be obtained.

All coffee purchased by the Northern Nigerian Marketing Board are exported through the Nigerian Produce Marketing Company. However, some resourceful individual Nigerians were granted licences to purchase and export coffee from the country, but apart from this, many individuals were found to be involved in smuggling coffee from Nigeria into other neighbouring countries. This apparent lack of control and centralisation of marketing have contributed immensely to the difficulty in obtaining very reliable data on coffee export from Nigeria.

This confused situation has however changed since April, 1977 with the establishment of the Nigerian Cocoa Commodity Board, an organisation charged with the purchase, storage and exportation of cocoa, coffee and tea from Nigeria and The Federal Government of Nigeria has now fixed the producer prices for 1977 as follows :

Arabica : N 1,100.00 per metric ton
Robusta : N 950.00 per metric ton
Liberica : N 880.00 per metric ton

As a matter of fact, the Board is currently advertising for applications from prospective Nigerians for appointments as coffee buying agents throughout the country for the 1977/78 season. The required conditions are very simple and in the main include evidence of ability to purchase with reasonable regularity throughout the season a minimum of 200 t with the required financial capacity to do this. Prospective buying agents must also be able to show evidence of

the availability of space to store at least 100 t at a time and to be able to arrange for the necessary transportation to the Board's central store or to the port of export if required.

It is hoped that with the establishment of this new organisation, the introduction of uniform prices for the same type of coffee, and the cancellation of licences to individuals to export directly, it will be possible to check occurrences of smuggling and monitor the total export of this produce from Nigeria. The farmer is now likely to take more interest in his coffee, rehabilitate the old farms, and establish new ones and therefore increase production appreciably over the next few years. Altogether, it is estimated that there are a total of 6,000 hectares of land under Arabica coffee on the Mambilla Plateau, and this is the area where most of the efforts in expansion programmes are being directed. Most of these farms are owned by individual small scale land holders who are being encouraged to plant more coffee by making available to them seedlings at very low costs, giving advice on proper cultural methods, and by establishing model and pilot farms. Small scale pulping and hulling stations at key locations on the Plateau have been established to enable farmers to produce uniform and good quality beans.

Figure 1 shows the main coffee growing areas in Nigeria while table I (p. 564) shows the estimated total land areas under coffee in the various locations. Table II shows the amounts and values of coffee (green and roasted coffee and substitutes containing coffee) exported from Nigeria from 1970 to October, 1977. It will be seen that only a maximum of N5,374,865 (*) has ever been earned by Nigeria from this crop, but it would appear that the situation may be improving since as at October 1977, over one million naira had already been earned. The prospects are, however, very bright because of the establishment of the Commodity Board. The major countries to which Nigerian coffee has been exported are France, Italy, United-Kingdom, United-States of America, Czechoslovakia, Saudi Arabia, Belgium and Western Germany. Table III shows the total imported coffee into Nigeria in various finished products from 1970 to March, 1976. It will be seen that the importation has increased steadily and in 1976 over N3,0 million worth of these products were imported into Nigeria. Ivory Coast, United-Kingdom and United-States of America are the major exporters of these products into Nigeria. From casual observations by the Authors it would appear that most of the imported products are in form of instant and percolated drinking coffee under a wide variety of trade names.

(*) One naira (N1.00) is equivalent to 1.5352 U.S. dollars

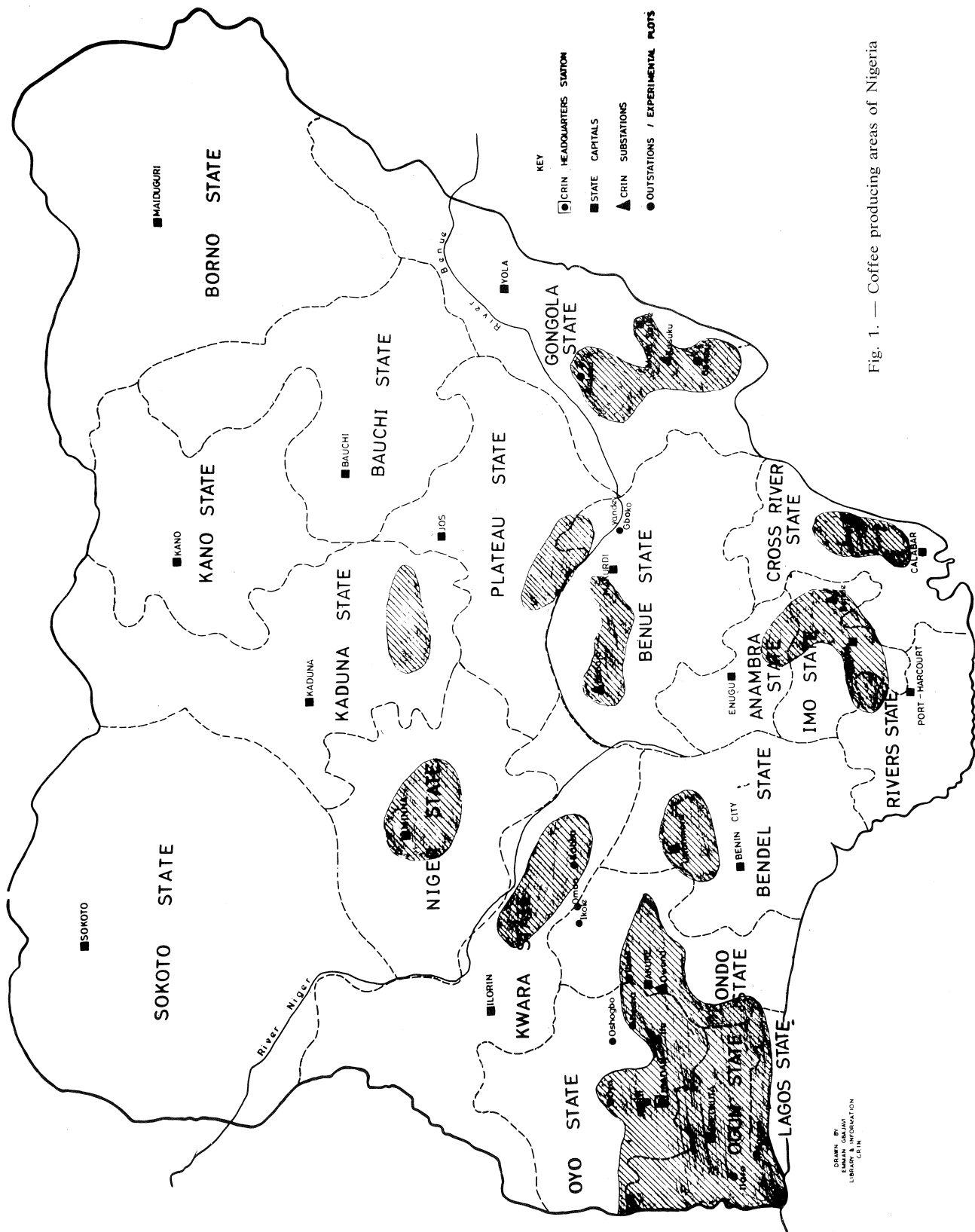


Fig. 1. — Coffee producing areas of Nigeria

Table I. — Coffee producing areas in Nigeria

Areas of production	Land area (ha)	Type of coffee
<u>Ogun State</u>		
Egbado Division	836.15	Robusta & Liberica
Egba Division	219.39	Robusta & Liberica
Ijebu Division	2.02	Robusta
<u>Ondo State</u>		
Ondo Division	597.81	Robusta & Liberica
Owo Division	425.72	Robusta
Ekiti Division	231.21	Robusta
Okitipupa Division	6.68	Robusta
<u>Oyo State</u>		
Ibadan & Osun Divisions	369.43	Robusta
Oyo Division	240.69	Robusta & Liberica
<u>Lagos State</u>		
Benin	26.19	Robusta & Liberica
Udonmora	6.07	Robusta
<u>Benue State</u>		
Oturko	1.21	Robusta
Reau	1.21	Robusta
<u>Gongola State</u>		
Mambilla Plateau	6,000.00	Arabica
<u>Kaduna State</u>		
Jama	4.86	Robusta
<u>Sokoto State</u>		
Puji)	6.07	Robusta
Ebo)		
Nupeko)		
<u>Kwara State</u>		
Gwalwao)	161.94	Robusta
Ocharu)		
Ochanja)		
<u>Cross River State</u>		
Ikom	20.24	Robusta

Table II. — Total estimated export of coffee by Nigeria

Year	Export (t)	Value (Naira)**
1970	3,360.98	1,656,168
1971	3,703.18	1,995,970
1972	4,178.74	2,065,612
1973	2,535.63	1,289,984
1974	265.08	144,005
1975	1,091.6	1,074,496
1976	5,919.9	5,374,865
1977	1,143*	1,034,300

* From the Cocoa Commodity Board of Nigeria.

** One Naira (N 1.00) is equivalent to 1.5352 U.S. Dollars.

Sources : Nigerian Trade Summary, December 1970 - 1976.

Table III. — Import of coffee and coffee derivatives into Nigeria

Year	Import (t)	Value (Naira)
1970	757.99	915,826
1971	789.70	695,296
1972	566.47	464,330
1973	492.19	888,079
1974	1,502.12	1,180,970
1975	1,976.07	1,860,030
1976	2,477.20	3,003,103

Sources : Nigeria Trade Summary : Dec. 1970 - 1976

RESEARCH ACTIVITIES

The Cocoa Research Institute of Nigeria is the only organisation conducting research into all aspects of coffee production in Nigeria. The institute started research into this crop in 1963/64 by the first making introductions of *C. arabica* from Costa Rica and by initiating serious studies into the different types of Robusta that were already established in the low land areas of Nigeria. In 1965, 115 rust-resistant varieties were introduced for the establishment of a gene pool at the Mambilla Plateau. The best of these introductions have been selected and used with some local selections in hybridization and partial diallel crosses to develop new varieties and improve the local ones (Williams, 1970).

Hemileia leaf rust disease is the most serious disease of *C. arabica* in Nigeria. D'Oliveira (1971) reported that out of eleven cultures of rusts received from Nigeria by the Coffee Rusts Research Centre, Oeiras, Portugal, seven were found to belong to race 11 while four belonged to race 111. It has not been possible to trace records of this correspondence with Oeiras, but it is being assumed that these collections were made from the Mambilla Plateau because d'Oliveira's report showed also that all the fourteen collections obtained from Cameroon belonged to race 11. A later report (Rodrigues *et al.*, 1975) shows that out of seventeen cultures from Cameroon, sixteen belonged to race 11 while one belonged to race 111. Of course, the race situation is most likely to have changed since a lot of new introductions have been made principally from India, Cameroon, Kenya, Ethiopia, Tanzania, and Uganda. Efforts are, however, being made to re-establish contacts with Oeiras for a complete re-assessment of the race situation. Table IV shows the major diseases of coffee that have been identified in Nigeria. The grey-rust caused by *H. coffeicola* has been found on very few mature trees in the field. The fungus has also been found to attack seedlings in the nursery particu-

larly under conditions of heavy shade, over-watering and high seedlings population densely packed together.

Coffee Berry Disease has not been observed to be a major disease of Arabica in Nigeria. In Cameroon CBD has been recorded as a very serious disease, but up till now Mambilla has been relatively free of this disease. The only explanation one can give for this is that Mambilla is on a lower range than Cameroon and therefore not cold enough to support the proper establishment of *Colletotrichum coffeanum*. We are, however, keeping a very close watch on our farms, and stringent quarantine measures are being taken at the boarders with Cameroon to prevent the importation of diseased materials.

Other minor diseases that have been observed are pink berry mould (*Fusarium* spp.) and physiological disorders like various nutritional deficiency symptoms and over-bearing. The only disease that is mechanical in origin is the hail-stone damage occurring mostly during the rains which are often accompanied by hail-stones which tear leaves into shreds leaving them pre-disposed to attack by weaker pathogens and saprophytes.

The single most serious pest of coffee in Nigeria is the berry-borer. Other insects apart from the major berry-borer, *Stephanoderes hampei*, are also being studied. Generally, insects found on coffee are being collected and so far the major ones are those of leaf-feeding, leaf-skeletonizing, leaf-mining and shoot-sucking ones.

The Cocoa Research Institute of Nigeria has direct contacts with State Ministries of Agriculture to where all research information on improved varieties, control of diseases and pests, proper and correct agronomic practises are passed and from where these are expected to reach the farmers through the Extension Divisions of these ministries.

Table IV. — Major Diseases of Coffee Crop in Nigeria

Diseases	Variety affected	Status
Hemileia leaf rust (<i>H. vastatrix</i>) races II & III	<u>C. arabica</u>	The most serious leaf disease of coffee. Very widespread.
Brown leaf spot (<i>C. coffeicola</i>)	<u>C. arabica</u> <u>C. canephora</u>	Very serious in the nursery under humid conditions. Can lead to severe defoliation.
Brown leaf blight (<i>Botryodiplodia theobromae</i>)	<u>C. arabica</u> <u>C. canephora</u>	Occurs mostly under drought. Leads to die-back, but many stands may recover at the beginning of the rains.
Coffee Berry Disease (<i>C. coffeanum</i>)	<u>C. arabica</u>	Although present, but not a major problem at present.
Pre-emergence seed decay and post emergence seedling root rot (<i>Pythium</i> sp., <i>Rhizoctonia</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp., <i>Fusarium</i> sp.)	<u>C. arabica</u> <u>C. canephora</u>	Occurs in the nursery beds particularly under conditions of high soil moisture. Losses in both cases could be as high as 60% - 70%.

CONCLUSION

It is probably correct to say that coffee industry in Nigeria is at its infancy. Compared with other cash crops like cocoa, oil-palm produce and rubber, coffee has not received an equitable amount of attention in terms of national marketing organisation and pricing policy. The difficulty encountered by farmers in selling

their produce has led them to become disillusioned and dis-interested in their coffee farms. With the establishment of the Cocoa Commodity Board and uniform producer prices for the whole Nation, the industry is likely to grow very rapidly.

REFERENCE

1. L. A. ARE, O. A. ODEGBARO, B. S. OLORUNTOBA, 1965. — Some important problems affecting the production of *Coffea arabica* on Mambilla Plateau. *Niger. agric. J.*, 4 : 45-48.
2. E. C. HOLMES, 1960. — Arabica-coffee-Mambilla. Newsletter Min. of Agriculture, Kaduna.
3. S. A. KAASBOLL-SMITH, 1965. — Notes on the cultivation of Arabica coffee in Mambilla District. Min. of Agriculture, Northern States, Nigeria, 21 p.
4. B. d'OLIVEIRA, 1971. — Coffee Rusts Research Centre, Oeiras, Portugal. Report p. 18.
5. C. J. RODRIGUES Jr, A. J. BETTENCOURT, L. RIJO, 1975. — Races of the pathogen and resistance to Coffee Rust. *Annual Rev. Phytopath.*, 13 : 49-70.
6. J. A. WILLIAMS, 1971. — Coffee Breeding. CRIN Annual Report 1969/70, p. 112.

FILANI (G. A.), AJOBO (O.). — **Situation présente de l'industrie caféière au Nigeria.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 561-566, fig., tabl., réf.

Le café est abondamment cultivé dans diverses régions du Nigeria. Les deux principales espèces sont le *C. arabica* et le *C. canephora*. La production de cette culture n'a pas progressé de façon appréciable en l'absence d'un marché organisé pour le produit dans les régions sud du Nigeria où l'ensemble du café produit dans le pays est cultivé. Avec la création du « Cocoa Commodity Board » chargé du commerce du cacao, du café et du thé au Nigeria, et avec l'introduction de prix uniformes à la production pour le même type de café sur tout le territoire, on espère que les planteurs restaureront leurs anciennes plantations et en créeront peut-être de nouvelles, ce qui entraînerait un accroissement général de la production.

FILANI (G. A.), AJOBO (O.). — **The present state of coffee industry in Nigeria.** VIII^e Colloque Scientifique International sur le Café, Abidjan, 28 nov.-3 déc. 1977. ASIC (Paris), 1979, p. 561-566, fig., tabl., réf.

Coffee is widely grown in various parts of Nigeria. The two main types are *C. arabica* and *C. canephora*. The production of this crop has not expanded appreciably largely because of lack of organised marketing for the produce in the Southern parts of Nigeria where the bulk of coffee produced in the country is grown. With the recent establishment of the Cocoa Commodity Board charged with the marketing of cocoa, coffee and tea throughout Nigeria, and with the introduction of uniform producer prices for the same type of coffee all over the country, it is expected that farmers would rehabilitate their old farms, and perhaps establish new ones leading to an overall increased production.

RAPPORT DE SYNTHÈSE

(Présenté le 3 décembre 1977)

CHIMIE, TECHNOLOGIE, EFFETS PHYSIOLOGIQUES

Les connaissances sur la composition du café vert et sur l'utilisation de procédés technologiques constituent la base nécessaire pour caractériser l'effet physiologique de la consommation du café-boisson sur l'homme.

L'Association scientifique internationale du café présente la structure d'accueil pour favoriser les contacts entre chercheurs appartenant à des disciplines différentes. La rencontre entre médecins, agronomes, ingénieurs, biochimistes a permis de faire le point sur les connaissances, ceci dans un climat de parfaite collégialité favorisé par la qualité de la réception et l'amitié témoignée par le Comité d'organisation d'Abidjan.

Dans son exposé introductif, le Professeur K. Heyns (Université de Hambourg, Allemagne fédérale) a dressé un tableau général des domaines dans lesquels les conclusions des chercheurs apportent des renseignements précieux pour améliorer la qualité du café-boisson et adapter certaines préparations industrielles (par exemple : le café décaféiné), pour permettre à des personnes sensibles de goûter le plaisir d'une tasse de café.

R. F. Smith (Londres, Grande-Bretagne) a présenté une revue des travaux concernant les aspects chimiques et technologiques du café. Ces travaux, au nombre de 195, couvrent la période 1975-1976.

Composition du café vert

La composition du café vert est conditionnée par les structures biologiques du grain, par l'héritage génétique qui oriente la production de substances naturelles dans la plante. Le Professeur J. Poisson (Université Paris-Sud, France) a montré que les voies de biosynthèse permettent de comprendre la filiation des substances qui sont présentes dans le grain de café. E. Dentan (Recherche Nestlé, Suisse) et le Professeur H. Amorim (Université Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brésil) ont caractérisé la structure cellulaire du grain de café vert en effectuant des localisations spécifiques de certains constituants. Selon le Professeur J. Wurziger (Institut d'analyse des aliments, Hambourg, Allemagne fédérale) le point d'attaque sur la fève de l'insecte *Stephanoderes hampei* provoque la formation d'acide viridique.

La biosynthèse de la caféine a été exposée par l'équipe de recherche dirigée par le Professeur H. Wanner (Université de Zurich, Suisse). Les étapes de cette biosynthèse ont été déchiffrées jusqu'à l'échelon d'un nucléotide, lui-même relié à la biosynthèse des acides nucléiques. Les travaux de T. W. Baumann, P. S. Citroreksoko et P. M. Frischknecht

(Université de Zurich, Suisse) permettent donc de conclure que l'héritage génétique présente une relation directe avec la teneur en caféine des plants de caféier.

Une hybridation provoquera donc un changement important dans la composition de la graine. On comprend que les travaux du Colloque aient porté sur la caractérisation chimique de l'hybride *Coffea arabusta* développé récemment en Côte d'Ivoire. Le Professeur J. Wurziger (Institut d'analyse des aliments, Hambourg, Allemagne fédérale) a comparé les teneurs de l'Arabusta en diterpènes (kahweol), en lipides et en caféine avec celles de l'Arabica et du Robusta. Le Dr M. N. Clifford (Grimsby College, Grande-Bretagne) a comparé les teneurs en acides chlorogéniques. Le Professeur R. Tressl (Université technique, Berlin, Allemagne fédérale) a établi les teneurs en phénols. Le Dr O. Vitzthum (Recherche, Hag, Brême, Allemagne fédérale) a comparé les profils aromatiques et J.-C. Vincent (IFCC, Montpellier, France) les critères sensoriels. Les résultats confirment la réalisation des généticiens en montrant que la composition du café Arabusta se trouve placée à mi-chemin entre les compositions chimiques des cafés Arabica et Robusta. Les congressistes ont pu du reste vérifier cette conclusion en dégustant des tasses de café Arabusta gracieusement offertes durant les pauses par l'IFCC de Côte d'Ivoire.

D'autres communications ont permis d'étendre la liste des constituants identifiés dans le café. Plusieurs phénols et de nouveaux dérivés furanniques ont été identifiés dans une recherche systématique exposée par le Professeur R. Tressl (Université technique, Berlin, Allemagne fédérale). Le Dr O. Vitzthum (Recherche, Hag, Brême, Allemagne fédérale) a détecté des composés soufrés qui jouent certainement un rôle très important dans l'arôme. Le Professeur J. Poisson (Université Paris-Sud, France) a suggéré une filiation bio-synthétique pour expliquer la présence de terpènes et de dérivés du kaurène dans le café vert ; il a révélé la structure de la cafamarine, principe amer de *Coffea buxifolia*. P. S. Citroreksoko (Université de Zurich, Suisse) a identifié des traces d'acide tétraméthylurique dans des échantillons de caféine brute isolée de *Coffea excelsa*. E. Illy (Illycafé, Trieste, Italie) a exposé le résultat d'une étude systématique de recherche des aflatoxines dans des échantillons de café vert. Sur les soixante échantillons commerciaux étudiés, aucun ne présentait une teneur en aflatoxines suspecte.

Modifications de composition apportées par la torréfaction

Le développement de la couleur et de l'arôme du café au cours de la torréfaction a fait l'objet d'un exposé magistral du

professeur W. Baltès (Université technique, Berlin, Allemagne fédérale). Les réactions complexes entre composants du café vert mettent en jeu les dégradations pyrolytiques combinées avec des réactions du type Maillard. Le rôle important joué par les mélanoidines a été démontré dans le développement de la couleur du café-boisson. Diverses communications ont étendu les connaissances sur les transformations chimiques apportées par l'opération de torréfaction. Le Professeur Tchetché Adou Gbata (Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire) a suivi le développement de la vitamine PP à partir de la trigonelline ; les dosages précis montrent que la teneur en vitamine de l'infusion de café passe par un maximum pour un taux moyen de torréfaction. Le Professeur H. Amorim (Ecole Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz, Université de São Paulo, Piracicaba, Brésil) a suivi l'inactivation thermique des enzymes. M. Blanc (Recherche Nestlé, Suisse) a déterminé l'évolution des acides organiques. D. I. Rees (Recherche Lyons, Londres, Grande-Bretagne) a suivi la décomposition thermique des acides chlorogéniques au cours de la torréfaction.

Diverses méthodes d'analyse du café ont été revues ou modifiées. Le dosage de la caféine par pyrolyse a été exposé par M. Quijano-Rico (LIQC, Bogota, Colombie). Le dosage des acides a été effectué en utilisant des méthodes enzymatiques par M. Blanc (Recherche Nestlé, Suisse). Les acides chlorogéniques ont été déterminés par diverses méthodes colorimétriques par M. N. Clifford (Grimsby College, Grande-Bretagne). Le dosage d'éléments en traces a été revu par M. Quijano-Rico (LIQC, Bogota, Colombie). Le dosage de certains polysaccharides permet, selon H. W. Meyer (Recherche Gilbert, Hambourg, Allemagne fédérale) de mettre en évidence un traitement à la vapeur du café vert avant torréfaction. La méthode de référence pour le dosage de l'eau dans le café vert a été revue par J. L. Multon (INRA, France).

La nouvelle méthode de chromatographie liquide sous pression (HPLC) a été appliquée avec succès à la séparation de 5-hydroxytryptamides dans les cires du café selon P. Folstar (Université de Wageningen, Pays-Bas) et à la séparation des acides chlorogéniques (D. I. Rees, Recherche Lyons, Grande-Bretagne).

La génération du goût et de la couleur typique du café est donc due à des réactions excessivement complexes dont l'élucidation nécessite encore de nombreuses recherches.

Technologie du café

Un exposé introductif du Professeur M. Loncin (Université de Karlsruhe, Allemagne fédérale) et l'exposé du Dr P. J. A. M. Kerkhof (Université de Eindhoven, Pays-Bas) montrent que la technologie alimentaire peut être améliorée en appliquant des déductions rigoureuses basées sur les connaissances de la physique en transferts de masse et d'énergie. Les diverses opérations technologiques utilisées dans le domaine du café ont été ensuite passées en revue par des experts. M. Richard (IFCC, Montpellier, France) a exposé le principe de fonctionnement qui a été adopté pour construire l'installation de conditionnement du café vert SERIC à Toumbokro. Les congressistes ont pu visiter cette magnifique réalisation le 1^{er} décembre lors de leur excursion à Yamoussoukro. K. F. Sylla (Hag AG, Hambourg, Allemagne fédérale) a passé en revue la technologie complexe qui est utilisée pour fabriquer les cafés instantanés. Les opérations unitaires comprennent la torréfaction, l'extraction à l'eau, la concentration et le séchage (atomisation, lyophilisation) des extraits.

Quelques opérations unitaires ont fait l'objet d'exposés spécialisés. J.-C. Vincent (IFCC, Montpellier, France) a décrit une installation expérimentale de torréfaction en lit fluidisé. Une étude systématique de la concentration des

extraits de café par évaporation et cryoconcentration a été exposée par W. H. J. M. Van Pelt (Entreprise Grecco, Pays-Bas). Les principes physiques permettent de diminuer la perte d'arôme volatil lors du séchage des extraits de café, selon les essais décrits par P. J. A. M. Kerkhof (Université de Eindhoven, Pays-Bas).

L'emballage du café torréfié exige de connaître le comportement de cette marchandise au cours du stockage. Le matériel utilisé répond à des exigences précises reposant elles-mêmes sur des connaissances de base qui ont été exposées par le Professeur R. Heiss (Institut de technologie alimentaire, Munich, Allemagne fédérale).

Un modèle mathématique a été proposé pour relier le prix à l'exportation du café vert à des facteurs économiques et sociaux par B. Martínez Villalba (Bucaramanga, Colombie).

Consommation de café boisson

Le consommateur recherche dans la dégustation d'une tasse de café un plaisir et une stimulation de ses capacités intellectuelles. La qualité à la tasse du café est déterminée par des dégustateurs professionnels qui utilisent leur palais pour classer les lots de café. Le Professeur R. M. Pangborn (Université de Davis, Californie) et plusieurs experts parmi lesquels G. Pictet (Recherche Nestlé, Suisse) ont exposé leurs recherches sur l'influence de systèmes d'extraction ménagère et l'influence de la qualité de l'eau sur la qualité du café-boisson. La sensibilité des consommateurs au goût sucré et au goût amer de la tasse de café (faite avec des quantités variables de sucre) a été aussi caractérisée. Cette sensibilité varie selon les pays comme le montre une étude internationale groupant des consommateurs américains, français, polonais et suédois.

L'intensité de l'amertume plaisante du café n'est pas due uniquement à la caféine ; en déterminant des indices d'amertume, A. Voilley (ENSBANA, Dijon, France) a démontré que d'autres principes contribuent à ce goût défini du café boisson.

Ces recherches débouchent sur l'adoption d'un vocabulaire commun pour caractériser la qualité à la tasse de café. J.-C. Vincent (IFCC, Montpellier, France) a aussi défini le goût caractéristique de la tasse d'Arabusta, qui se situe entre les qualités du Robusta et celle de l'Arabica.

Consommation de café et état de santé

Un groupe de travail européen dirigé par R. Viani (Nestlé, Suisse) regroupe les publications qui ont trait aux effets physiologiques de la consommation du café. On trouve déjà mention de ces effets dans la Grande Encyclopédie de Diderot du 18^e siècle. L'homme moderne est exposé à diverses maladies chroniques et les causes de ces maladies font l'objet d'études médicales très poussées portant sur l'examen périodique de l'état de santé d'un échantillon important de volontaires. Les conclusions du Dr H. Emerson Thomas (Université de Boston, Etats-Unis) et du Professeur S. Heyden (Université Duke, Durham, Etats-Unis) sont que la consommation modérée de café n'a aucune influence négative sur l'état de santé. Les forts fumeurs devraient cependant modérer leur consommation de café pour éviter un taux de cholestérolémie trop élevé. On sait en effet qu'un taux élevé présente un risque accru aux maladies cardiovasculaires. Les autres risques de maladies chroniques (cancer, mort subite, infarctus du myocarde) ne sont pas accrues par la consommation de café.

Ces résultats sont du reste confirmés par des essais de longue durée sur des animaux qui ont reçu l'équivalent de

soixante tasses de café par jour chez l'homme. L'administration de cafés instantanés et des cafés instantanés décaféinés n'a provoqué aucun effet sur le poids corporel, la pression sanguine, l'indice d'artériosclérose et le taux de formations néoplasmiques selon des recherches systématiques exposées par le Dr H. P. Würzner (Recherche Nestlé, Suisse).

La phase de détente qui suit la dégustation d'une tasse de café met en jeu des phénomènes psychosomatiques dont la complexité a été relevée par le Dr R. Ulrich (Office d'hygiène publique, Brême, Allemagne fédérale). La stimulation intellectuelle provoquée par la consommation de café a été caractérisée par le Professeur W. Müller-Limmroth (Institut de médecine du travail, Munich, Allemagne fédérale). Des volontaires se sont soumis à des examens de lecture après avoir consommé une tasse de café. L'examen des performances montre une acuité intellectuelle meilleure le matin après que le sujet a absorbé une tasse de café ; cet effet peut être attribué à l'action positive de la caféine. Chez des sujets soumis à une tension nerveuse, la consommation d'une tasse de café n'augmente pas la performance intellectuelle.

La consommation de fortes quantités (plus de six tasses par jour) de café, d'alcool et de cigarettes par la femme enceinte conduit à une légère diminution du poids de son enfant à la naissance. Il faut donc revoir ces habitudes de consommation avec la future mère lorsqu'elle consulte le dispensaire médical. Une consommation modérée de café n'a aucun effet préjudiciable sur le poids du nouveau-né selon une étude de santé effectuée en Allemagne, qui a été exposée par le Professeur C. Schlatter (Institut fédéral de toxicologie, Suisse).

Divers exposés ont traité de l'effet physiologique spécifique exercé par certains constituants de café. Le Professeur R. Paoletti (Université de Milan, Italie) avait délégué le Dr Puglisi pour exposer les résultats acquis sur l'interaction de la caféine avec la régulation du métabolisme de la cellule animale. La caféine et les autres xanthines inhibent en effet certaines enzymes qui inactivent elles-mêmes le messager secondaire du contrôle hormonal. Le café contient divers dérivés de l'acide cinnamique, dont l'acide caféique. Le Professeur G. Czok (Université Eppendorf, Hambourg, Allemagne fédérale) a suivi le taux de dégradation de ces acides marqués chez le rat. Dans sa présentation, le professeur C. Schlatter (Institut de toxicologie, Zurich, Suisse) a aussi rappelé que le taux de métabolisme rapide de la caféine dans l'organisme humain exclut tout risque d'accumulation.

Les médecins, experts en santé publique et les physiologistes ont donc donné une image très positive sur les effets physiologiques et psychosomatiques de la consommation du café boisson par l'homme.

Professeur D. Reymond
Secrétaire scientifique
de l'ASIC

AGRONOMIE

Deux grands thèmes avaient été retenus pour les journées d'agronomie du huitième colloque de l'ASIC :

La génétique des caféiers et les innovations techniques en matière de culture caféière. Une place a cependant été faite aux maladies en raison de leur caractère d'actualité.

L'amélioration du caféier

M. le Professeur J. Lorougnon Guédé, Ministre de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire, a ouvert les débats

sur l'agronomie par une conférence magistrale. Sous le titre « Quelques aspects de l'utilisation de la biologie végétale pour le développement des pays de l'Afrique Intertropicale », M. Lorougnon Guédé, s'appuyant sur l'histoire géologique de notre monde, fit un parallèle entre les régions africaines et les régions plus froides, faisant ressortir la plus grande diversité de la flore intertropicale, plus riche à l'origine et moins malmenée par l'homme du fait d'une moindre concentration de population et d'une domestication moins poussée des espèces utiles. S'appuyant sur des exemples précis de plantes étrangères telles que le blé, qui ont fait l'objet de beaucoup de travaux, il attira l'attention sur le fait que les plantes intertropicales actuellement utilisées ont encore été peu exploitées, et il souligna la nécessité d'utiliser au mieux leur polymorphisme génétique, d'en provoquer la variation afin d'étendre leurs possibilités d'utilisation par l'homme. Revenant au caféier, pour lequel il rappela les récentes réalisations de l'IFCC (création de l'Arabusta, étude des caféiers sans caféine) et les perspectives offertes pour une meilleure compréhension du fonctionnement de l'information génétique en relation avec le milieu, par des techniques particulières, telles que les cultures de tissus ou de cellules, il souligna la nécessité de rechercher de nouveaux types de caféiers et d'autres plantes pendant qu'il en est encore temps, c'est-à-dire avant que les dégradations des écosystèmes naturels par l'homme, dont l'activité dévastatrice va croissant, ne le permette plus.

Le Professeur P. Kammacher fit à son tour un exposé introductif des problèmes de génétique : « Utilisation des ressources génétiques du genre *Coffea* pour l'amélioration des caféiers cultivés ». Contrairement à la plupart des plantes cultivées qui ont subi une longue domestication, les *Coffea* cultivés *C. arabica* et *C. canephora robusta* ne se sont révélés utiles qu'à l'époque historique sans que soit exploitée leur variabilité génétique. Rappelant les connaissances actuelles en ce qui concerne la systématique des *Coffea* diploïdes et leurs origines, il montra qu'ils présentent une grande variabilité offrant au sélectionneur un capital important ; de même les Arabica, *Coffea* tétraploïdes, dont l'isolement en Ethiopie leur a permis de développer des traits originaux. Rappelant le succès de l'Arabusta, et soulignant qu'il est le symbole de la première synthèse artificielle de tétraploïdes utilisable en culture, il montra qu'une telle voie pourrait être exploitée indéfiniment. P. Kammacher conclut en recommandant que les prospections soient intensifiées d'urgence pour la recherche de caféiers sauvages devant permettre un élargissement des possibilités d'amélioration et de diversification du caféier, avant que les destructions humaines de leurs écosystèmes naturels n'en entraînent la disparition.

Le Professeur L. Aké Assi rappela que la Côte d'Ivoire compte 17 % de l'ensemble des espèces de *Coffea* connues dans le monde, répartis dans les différents types de forêt du territoire.

Les résultats des prospections effectuées conjointement par l'ORSTOM et l'IFCC, sont rapportés par J. L. Guillaumet, J. Berthaud et D. Le Pierrès. Ces prospections ont porté sur les *Mascarocoffea* de Madagascar, sur les Arabica d'Ethiopie (1967), sur les *Canephora*, *Congensis*, *Excelsa*, et sur des hybrides interspécifiques spontanés en Centre Afrique (1975), sur les *Coffea eugenioides*, *C. arabica* et *Mozambicocoffea* au Kenya (1977). Elles se poursuivent en Côte d'Ivoire sur des populations de *C. canephora* et *C. humilis*.

L'analyse de la variabilité dans les populations naturelles des caféiers diploïdes est entreprise au plan biochimique (teneurs en caféine et polymorphisme enzymatique par les techniques d'électrophorèse). Elle montre la variabilité des populations naturelles et par conséquent l'intérêt de ce matériel pour un programme d'amélioration (F. Berthou et J. Berthaud, ORSTOM).

A. Charrier (ORSTOM) rappela que la structure génétique du genre *Coffea* est étudiée par croisements interspécifiques

et analyse du comportement méiotique de leur première descendance : on a ainsi montré que les espèces diploïdes possèdent un même génome de base qui se retrouve chez le tétraploïde Arabica, ce qui met en évidence que l'on peut tenter de synthétiser de nouveaux Arabica.

Parallèlement aux travaux de l'IFCC sur l'Arabusta, dont le but est d'obtenir pour les zones de basse altitude des caféiers associant les qualités de l'Arabica (arôme et faible teneur en caféine) à celles du Robusta, la création de caféiers hexaploïdes résultant du doublement chromosomique de descendants triploïdes entre *C. arabica* et *C. robusta* est entreprise par l'ORSTOM (J. Berthaud), de même que des hybridations entre *Coffea* diploïdes (*C. canephora* et *C. eugenioides*) dans l'espoir d'obtenir un caféier robuste à faible teneur en caféine (J. Louarn).

Le problème de la fertilité des hybrides interspécifiques entre caféiers malgaches et africains et de la variabilité de la descendance est étudié par C. Lanaud de l'IFCC.

Enfin, on a évoqué les techniques de vulgarisation de l'Arabusta en Côte d'Ivoire. Ce produit récent de la recherche est étudié au Centre d'étude et de développement de l'Arabusta (CEDAR) à Soubré, afin de mettre au point les méthodes agronomiques et technologiques les plus appropriées à son exploitation, les techniques de multiplication et les conceptions actuelles pour sa diffusion en milieu paysan. C'est là un exemple du dynamisme ivoirien qui fait passer très vite dans la pratique les résultats de la recherche.

Les innovations agrotechniques en caféiculture

Les innovations agrotechniques en caféiculture ont été magistralement traitées par le Professeur P. Sylvain de Turrialba (Costa Rica). Rappelant que ces progrès sont souvent dus dans ce domaine autant à des améliorations des techniques anciennes qu'à des nouveautés, il passe en revue les différentes étapes de la culture du caféier, du semis à la cueillette, soulignant les possibilités offertes par le bouturage, la culture des tissus qui est une forme de bouturage, le greffage, au plan de la multiplication et de la conservation du matériel végétal et pour en exploiter la précocité. Il fit le point des problèmes de la culture ombragée et non ombragée, en relation avec la photosynthèse. La fertilisation scientifique retint son attention et il en analysa le développement au cours du dernier quart de siècle avec les méthodes d'appréciation (diagnostic-sol, diagnostic foliaire). Pour terminer, en traitant des contraintes humaines et financières de la récolte, il fit le point des améliorations possibles : groupement de la maturation par des voies chimiques, encore difficile à obtenir, mécanisation de la cueillette.

Appliquant au caféier la théorie de la résistance des matériaux, Ph. de Reffye et P. Duceau (IFCC, Côte d'Ivoire) expliquèrent les modalités de la sélection du matériel végétal contre la verse du caféier qui se produit au bout de quelques années de plantation.

La délégation cubaine (M. T. Cornide et M. Alvarez, S. Montes, S. Cortes) analysa les facteurs principaux du rendement dans un groupe de variétés et lignées du *C. arabica*, la taille et l'écartement en plantation de la variété *Caturra* cultivée en plein soleil, et la taille de la variété *Catuai* en pépinière.

L'économie en eau des caféiers

J. Snoeck (IFCC, Côte d'Ivoire) fit le point des études de l'irrigation conduites à Toumbokro : après avoir rappelé les diverses méthodes d'alerte à l'irrigation, il exposa les résultats

obtenus aux plans technique et économique, tant au niveau du planteur qu'au niveau de la nation, montrant que cette pratique qui valorise l'utilisation des engrais serait plus payante dans des régions plus déficitaires en eau.

L'irrigation précoce de l'Arabica est étudiée par R. A. Muller (IFCC, France), qui montre qu'au Cameroun, cette méthode permet de contrôler l'antracnose des baies (*Colletotrichum coffeanum* Noack *sensu* Hindorf) tout en conférant à la plante une foliation plus abondante et une plus grande activité photosynthétique. Malgré son action activatrice sur *Hemileia*, elle permet de réduire le nombre des traitements chimiques et constitue une sorte d'assurance pour une production régulière de haut niveau. Les résultats, obtenus dans des conditions particulières de sécheresse atmosphérique, permettent de penser que l'irrigation ouvre à la caféiculture, Arabica et Arabusta particulièrement, des régions tropicales à climat moins humide que celles propices à la culture traditionnelle.

Hemileia vastatrix

L'amélioration du caféier Arabica en Angola est centrée sur la résistance à la rouille (M. F. Carneiro, A. J. Bettencourt, D. T. Fernandes), et fait l'objet d'expérimentation au champ sur divers matériels végétaux fournis par le Centre de recherche sur la rouille du caféier (Oeiras, Portugal). Au Timor, le croisement de l'hybride présumé de Timor avec le *Caturra vermelho* apparaît comme très prometteur du fait de sa productivité et de sa résistance à l'*Hemileia* (M. Gonçalves, M. Rodrigues, J. Mexia).

Au Kenya (Van der Vossen), la sélection de caféiers Arabica résistants à l'antracnose des baies repose sur des tests de sensibilité appliqués aux jeunes plantules, une bonne corrélation existant entre les réactions à l'infection de ces plantules et des baies. Un système oligogénique de relations hôte-parasite a pu être identifié.

Les relations hôte-parasite dans le complexe caféier-*Hemileia* sont étudiées au Portugal et au Cameroun : au Portugal, L. Rijo et C. J. Rodrigues analysent le processus d'infection par le parasite sous l'angle de l'histologie et décrivent les phénomènes de pénétration et de développement du parasite chez les variétés sensibles et résistantes.

C. J. Rodrigues et E. Medeiros montrent l'existence de substances du type des phyto-alexines lorsque l'on confronte une variété de caféier et une souche d'*Hemileia* incompatibles. Le même phénomène se produit lorsque le caféier est en présence d'une autre espèce de rouille non pathogène. M. Guedes et M. A. Nunes étudient les échanges gazeux lorsque le caféier est infecté par l'*Hemileia* : la respiration s'accroît tandis que la photosynthèse est perturbée et que la production d'éthylène augmente progressivement avec le degré d'infection.

Au Cameroun, M. Tarjot (IFCC), F. Massaux, C. Tchiendji et C. Misse (ENSA) montrent que la sensibilité du caféier Robusta à *Hemileia coffeicola* est en corrélation avec la teneur en eau de la feuille, et avec sa teneur en phosphore. Grâce à l'utilisation d'éléments radio-actifs, les auteurs étudient les perturbations du métabolisme sous l'action de cette rouille, qui nuit à l'assimilation du phosphore et du carbone.

La répartition géographique de *Hemileia coffeicola*, découvert pour la première fois en Côte d'Ivoire, en 1975, sur caféier Robusta, puis sur caféiers sauvages, est étudiée par M. Lour et B. Huguenin (ORSTOM, Côte d'Ivoire).

Enfin la nécessité d'une coopération internationale pour la recherche sur les rouilles et autres maladies du caféier est évoquée ; elle devrait permettre d'intensifier les investigations et de hâter les solutions.

En conclusion, on notera succinctement que si les communications présentées au cours de ces journées d'agronomie étaient d'un très haut niveau, technique et scientifique, elles visaient toutes des objectifs pratiques :

— amélioration du caféier en vue de son utilisation, grâce à une meilleure connaissance et une meilleure utilisation de son polymorphisme génétique ;

— amélioration des techniques culturales, telles que les hautes densités ou l'irrigation, en vue d'améliorer les revenus du planteur et d'apporter des solutions aux problèmes des

maladies, de la sécheresse, etc... avec en plus la possibilité d'étendre vers des zones apparemment climatiquement moins favorables une culture susceptible d'augmenter les revenus des populations de ces régions ;

— approfondissement enfin de la connaissance des relations hôte-parasites en vue d'une meilleure stratégie de lutte.

René Coste
Secrétaire administratif
permanent de l'ASIC