

I. F. C. C.



INSTITUT

FRANÇAIS
DU CAFÉ
ET
DU CACAO

LA ROUILLE DES CAFÉIERS
due à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br.

A. M. SACCAS
J. CHARPENTIER †

PUBLICATIONS DE L'I.F.C.C. et de L'A.S.I.C.

Café Cacao Thé, revue trimestrielle :

	FRANCE ET ZONE FRANC	ÉTRANGER
ABONNEMENT 1971	30 F	35 F
NUMÉRO SÉPARÉ 1970	9 F	10,5 F
Règlement à l'ordre de « CAFÉ CACAO THÉ » C.C.P. Paris 17816-84		

Bulletins :

N° 1 : A. LOUÉ. — *Etude des carences et des déficiences minérales sur le cacaoyer.* In-4°, 54 p., 2 fig., 26 planches h. t. en noir, 24 planches h. t. en couleurs, 28 réf., avril 1961. Participation 25 F.

N° 2 : E. M. LAVABRE. — *Recherches biologiques et écologiques sur le scolyte des rameaux de caféiers.* In-4°, 137 p., tabl., 42 fig., 74 réf., janvier 1962. Participation 20 F.

N° 3 : H. MOULINIER. — *Contribution à l'étude agronomique des sols à caféier et à cacaoyer en Basse Côte d'Ivoire.* In-4°, 70 p., 17 tabl., 34 fig., mars 1962. Participation 14 F.

N° 4 : A. LOUÉ. — *Etude des carences et déficiences en potassium, calcium et magnésium chez le caféier Robusta.* In-4°, 48 p., 3 fig., 2 photos en noir, 10 planches h. t. en couleurs, 26 réf., août 1962. Participation 12 F.

N° 5 : I. F. C. C. — *Les principes de la sélection des caféiers canéphoroïdes et libériocelsoïdes. Leur application aux travaux des Centres de recherches de l'Institut Français du Café et du Cacao en Côte d'Ivoire, à Madagascar et en République Centrafricaine* (tiré à part des articles successivement publiés dans *Café Cacao Thé* en 1962). In-4°, 48 p., 17 photos, 3 tabl., 7 graph. dont 1 h. t., février 1963. Participation 6 F.

N° 6 : R. A. MULLER. — *L'antracnose des baies du caféier d'Arabie (Coffea arabica) due à Colletotrichum coffeanum Noack.* In-4°, 38 p., 4 fig., 3 photos, 2 tabl., 69 réf., décembre 1964. Participation 6 F.

N° 7 : G. VERLIÈRE. — *Contribution à l'étude de la croissance et de la nutrition des jeunes cacaoyers en Basse Côte d'Ivoire.* In-4°, 27 p., 22 fig., 2 tabl., mars 1965. Participation 4 F.

N° 8 : R. BÉNAC. — *Étude des besoins en éléments majeurs du caféier Arabica en pays Bamoun (Cameroun)* (tiré à part des articles successivement publiés dans *Café Cacao Thé* en 1965, 1966 et 1967). In-4°, 86 p., 27 fig., 27 tabl., 166 réf., décembre 1967. Participation 10 F.

N° 9 : A. M. SACCAS, J. CHARPENTIER. — *L'antracnose des caféiers Robusta et Excelsa due à Colletotrichum coffeanum Noack en République Centrafricaine.* In-4°, 84 p., 30 fig., 6 tabl., 205 réf., avril 1969. Participation 35 F.

N° 10 : A. M. SACCAS, J. CHARPENTIER †. — *La rouille des caféiers due à Hemileia vastatrix Berk. et Br.* In-4°, 124 p., fig., photos en noir, 2 planches h. t. en couleurs, 307 réf., février 1971. Participation 50 F.

Hors-série :

Second Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés (Paris, 3-7 mai 1965). In-4°, 262 p., fig., tabl., réf., avril 1966. Participation 40 F.

Troisième Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés (Trieste, 2-9 juin 1967). A. S. I. C. (Paris, juin 1968). In-4°, 442 p., fig., tabl., réf. Participation 100 F.

Quatrième Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés (Amsterdam, 2-6 juin 1969). A. S. I. C. (Paris, oct. 1970). In-4°, 264 p., fig., tabl., réf. Participation 80 F.

Conférence Internationale sur les Recherches Agronomiques Cacaoyères (Abidjan, 15-20 novembre 1965), organisée conjointement par la République de Côte d'Ivoire, l'Office International du Cacao et du Chocolat (O. I. C. C.) et l'I. F. C. C. In-4°, 294 p., fig., tabl., réf., mai 1967. Participation 40 F.

Rapports d'activité de l'I. F. C. C. 1965, 1966, 1967, 1968, 1969. In-4°, 95 p., fig., tabl., juin 1966 ; 120 p., fig., tabl., juil. 1967 ; 102 p., fig., tabl., juil. 1968 ; 108 p., fig., tabl., juin 1969 ; 98 p., fig., tabl., juin 1970. Participation 25 F, 30 F pour le rapport 1968, le rapport 1969.

Ouvrages :

E. M. LAVABRE. — *Protection des cultures de caféiers, cacaoyers et autres plantes pérennes tropicales.* 1961, in-8° raisin, 268 p., 98 fig., 8 planches h. t. en noir, 2 planches h. t. en couleurs, 124 réf., index alphabétique. Participation 12 F.

J. FORESTIER. — *Culture du caféier Robusta en Afrique centrale.* In-8° raisin, 206 p., 55 illustr., tabl., index alphabétique, octobre 1969. Participation 15 F.

LA ROUILLE DES CAFÉIERS

due à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br.

A. M. SACCAS

*Inspecteur général de recherches ORSTOM,
Directeur du Centre de Recherches Agronomiques
de l'I. F. C. C. à Boukoko (R. C. A.),
et Chef du laboratoire de phytopathologie*

J. CHARPENTIER †

Assistante du laboratoire de phytopathologie

SOMMAIRE

Considérations générales	7
Historique. Répartition géographique	10
Origine du parasite	20
Caractères macroscopiques de la maladie	23
Symptômes sur feuilles de <i>Coffea robusta</i>	23
Symptômes sur feuilles de <i>Coffea excelsa</i>	25
Caractères microscopiques du champignon sur la plante hôte	28
Mycélium	28
Urédospores	30
Téleutospores ou téliosporés	32
Etude biologique	37
Essais de germination des urédospores.....	38
Aspect morphologique de la germination.....	39
Action de la température sur la germination des urédospores.....	42
Action de l'humidité sur la germination des urédospores.....	48
Action de la lumière sur la germination des urédospores.....	49
Etude expérimentale	51
Contaminations artificielles : infection, durée d'incubation	51
Essais d'inoculations artificielles	53
Essais sur disques de feuilles flottants	53
Inoculations artificielles des clones de <i>Coffea robusta</i>	61
Cycle de reproduction. Propagation et dissémination du parasite	64
Influence de différents facteurs sur le développement de l'<i>Hemileia vastatrix</i>	68
Influence de l'altitude	68
Influence de l'humidité et de la pluie	70
Influence de la température	71
Influence du vent, de l'éclairement, de l'ombrage et des façons culturales	72
Les races physiologiques et biologiques d'<i>Hemileia vastatrix</i> et leur virulence vis-à-vis des différentes espèces, variétés, lignées, clones et hybrides des <i>Coffea</i> cultivés et spontanés	76
Aspect macroscopique et microscopique de deux formes de sores	81
Etude biométrique des urédospores	81
Essais d'inoculations artificielles	82
Dégâts	86
Moyens de lutte	92
Mesures prophylactiques d'ordre cultural.....	92
Traitements chimiques	95
Sélection de variétés, clones et hybrides résistants.....	103
Lutte biologique	106
Résumé	109
Bibliographie	117

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Hemileia vastatrix, responsable de la rouille des caféiers, est un parasite très répandu dans les plantations de caféiers, des continents asiatique et africain, tout particulièrement de l'espèce *Coffea arabica*. Les dégâts qu'il occasionne peuvent être très importants, voire catastrophiques, comme ce fut le cas à Ceylan, après son apparition en 1868, où le caféier dut être abandonné et remplacé par le théier et le quinquina.

Depuis cette date, la maladie s'est répandue très rapidement dans d'autres territoires : Inde méridionale (1869) ; Sumatra (1876) ; Iles Fidji et Natal (1878) ; Java (1879) ; Ile Maurice (1880) ; La Réunion (1882) ; Madagascar (1886) ; Tonkin (1888) ; Bornéo et Malaisie (1890) ; Philippines (1891) ; Samoa et Nouvelles-Hébrides (1894) ; Nouvelle-Calédonie (1910-1911) ; Nord-Vietnam (1966) ; Sud-Est asiatique, près de Port Moresby, Papouasie, et Nouvelle-Guinée (1965).

Le continent africain, d'après certains auteurs, a été atteint en 1894 et la maladie a été observée en Afrique orientale la même année et peut-être en 1912.

En Afrique centrale, WILDEMAN signalait la présence de la rouille en 1907. Elle a été ensuite observée au Kenya sur *C. arabica* en 1913 et s'est répandue progressivement dans toute l'Afrique tropicale à l'exception de l'Angola, des Iles du Cap-Vert et de la Guinée portugaise.

Seuls l'Australie, les Iles Hawaii et, jusqu'à ces derniers temps, le continent américain étaient épargnés par ce redoutable parasite. Cependant, la présence de la maladie a été constatée début 1970 au Brésil, dans les Etats de Bahia, de Espiritu Santo... où la progression de la maladie est rapide malgré les mesures prises pour circonscrire les premiers foyers ; elle risque de gagner rapidement les autres Etats gros producteurs de café, Santos et Parana. En dehors de cet Etat, il semble que la rouille fut importée accidentellement à Porto Rico au début du siècle (1902) par un bateau venant d'Indonésie, mais les premiers foyers furent rapidement exterminés.

L'*Hemileia vastatrix* n'est pas un parasite exclusif de *C. arabica* ; il attaque de nombreuses autres espèces de *Coffea* cultivées et spontanées, et en particulier les *Coffea canephora*, *C. robusta*, *C. liberica*, *C. dewevrei* var. *excelsa*, *C. abeokutae*, *C. stenophylla*, *C. congensis*, *C. racemosa*, etc...

Sur *Coffea robusta*, espèce très cultivée dans les basses altitudes des régions tropicales et équatoriale du continent africain, l'*Hemileia vastatrix* a été observé pour la première fois au Kenya en 1913. Depuis, il a été signalé dans tous les territoires de l'Afrique orientale, centrale et occidentale, non seulement sur *C. robusta*, mais également sur d'autres espèces et en particulier le *C. liberica* et le *C. dewevrei* var. *excelsa*.

En Extrême-Orient, la présence de la rouille sur *C. robusta* fut signalée pour la première fois à Ceylan, en 1922, puis aux Indes, en Indonésie, aux Philippines, en Nouvelle-Calédonie, à Madagascar, etc... ; le parasite a été également observé sur d'autres espèces et, en particulier, sur *C. liberica* et *C. dewevrei* var. *excelsa*.

En République Centrafricaine, l'*Hemileia vastatrix*, observé pour la première fois sur *Coffea robusta* et *C. dewevrei* var. *excelsa* en 1949, ne sévisait dans les plantations que sous forme sporadique et jusqu'en 1954 nous ne lui avons attribué qu'une importance secondaire et sans incidence économique pour la production.

En 1955, lors d'une prospection phytosanitaire comportant des tests par comptages, effectués dans un certain nombre de plantations industrielles et familiales de *C. robusta* dans les régions de l'est et du sud-ouest du territoire, durant la saison pluvieuse, une intensification de ses attaques fut observée. Des comptages effectués dans certaines plantations révélèrent que le pourcentage des arbustes portant des urédosores variait de 45 à 65 %, mais que les attaques intenses étaient très réduites. On observait cependant que certains caféiers étaient très atteints avec défoliation massive de plus des trois quarts du feuillage suivie d'un « die-back » des branchettes inférieures,

mais le pourcentage de telles attaques était peu élevé.

La même année, à la fin de la saison des pluies, un contrôle détaillé d'un certain nombre de parcelles expérimentales de descendances illégitimes et de parcelles polyclonales, effectué au Centre de recherches agronomiques de Boukoko, décelait une attaque de 40 à 70 % avec 5 à 10 % d'attaques particulièrement fortes (chute massive des feuilles et dessèchement des branchettes défeuillées), 15 à 30 % d'attaques moyennes (chute partielle des feuilles des branchettes inférieures) et 20 à 60 % d'attaques légères (quelques taches urédosporées sur les feuilles, d'étendue limitée et sans aucune nécrose du limbe).

En 1957, au cours d'une prospection phytosanitaire effectuée en compagnie du Prof. L. ROGER dans les plantations de la Haute-Sangha, dans l'ouest du territoire, nous avons constaté, non seulement la présence d'*Hemileia vastatrix* dans toutes les plantations visitées, mais aussi une intensification de la virulence du parasite. Les plantations les plus affectées par le parasite étaient celles du paysannat de Cadéi et, en particulier, celles qui étaient mal entretenues, non taillées et plantées dans des sols pauvres et légers ; là, le pourcentage d'attaque s'élevait à plus de 60 %. C'est la même année que le Prof. ROGER et nous-mêmes avons découvert dans ces mêmes plantations la présence d'*Hemileia coffeicola* Maubl. et Roger, connu uniquement jusqu'à cette époque sur *Coffea arabica* au Cameroun.

Depuis, l'intensification de la virulence de la rouille est observée chaque année dans les champs expérimentaux du Centre de recherches agronomiques de Boukoko, aussi bien dans les parcelles de descendances illégitimes que polyclonales. Le pourcentage des attaques varie suivant les années de 40 à 80 % des caféiers, avec 20 à 30 % de sujets fortement attaqués avec chute massive des feuilles, surtout au début de la saison sèche, suivie d'un die-back des branchettes qu'on attribuait à l'épuisement des caféiers à la suite d'une forte récolte et à la sécheresse. Mais dans ce dernier cas la rouille n'est pas la seule cause incriminée, l'anthracnose y participe activement.

Dans les parcelles polyclonales, le contrôle des caféiers atteints par la rouille a révélé une grande variabilité de comportement des différents clones à l'égard de ce parasite. Certains sont particulièrement sensibles, d'autres ne présentent qu'une sensibilité moyenne ou légère, alors qu'un très faible pourcentage d'entre eux paraît indemne. Les mêmes observations ont été faites dans les parcelles des descendances illégitimes.

Cet aperçu général met en évidence qu'*Hemileia vastatrix*, qui jusqu'à ces dernières années était

considéré comme un parasite secondaire du *C. robusta* et sans incidence économique, doit actuellement s'inscrire dans la liste des parasites graves de cette espèce. Son extension, l'intensification de ses attaques et surtout le degré de sa virulence laissent penser que la race du parasite inféodée à *C. robusta* n'était pas virulente il y a vingt ans, mais que depuis l'extension de la culture de cette espèce en République Centrafricaine, de nouvelles races se sont créées, mieux adaptées à cette espèce et plus virulentes, douées de propriétés biologiques différentes de celles de la race initiale. Depuis 1960, deux races ont été identifiées sur cette espèce, ce sont les races II et IV, et il est probable que d'autres races sont apparues depuis 1960, plus virulentes que les deux premières.

Deux espèces d'*Hemileia* sévissent dans les plantations de la République Centrafricaine :

— *Hemileia vastatrix* B. et Br., connu depuis plus de vingt ans et actuellement très répandu dans les plantations de *C. robusta* et de *C. excelsa* ;

— *Hemileia coffeicola* Maubl. et Roger, observé pour la première fois il y a treize ans dans les plantations de la Haute-Sangha ; en 1959, il envahissait celles de la préfecture de la Lobaye et, depuis 1964, il s'est répandu sur l'ensemble des plantations du territoire.

Ces deux espèces sont faciles à identifier, d'une part par les caractères des symptômes sur les feuilles, l'aspect, la disposition et la coloration des urédosores et, d'autre part, par les caractères anatomiques du mycélium et la forme des suçoirs dans les cellules des tissus des feuilles, ainsi que par les caractères macroscopiques et les ornementsations des urédospores.

Les pertes occasionnées par la rouille dans les plantations de *C. robusta* varient suivant les années et l'intensité de ses attaques. Toutefois, il est difficile de les évaluer et les sondages faits dans quelques parcelles du Centre de recherches agronomiques de Boukoko permirent de les estimer approximativement entre 10 et 15 %. Mais les attaques intenses et les défeuillaisons massives produites au début de la saison sèche occasionnent souvent un dessèchement des branchettes et un affaiblissement des sujets atteints, ce qui conduit fréquemment à une réduction sensible de la production à venir.

L'évolution rapide de la rouille ainsi que l'accroissement de sa virulence, à la suite de la création de nouvelles races, posent actuellement, et poseront davantage à l'avenir, des problèmes au plan de la protection des plantations, comparables à ceux qu'a posés et pose encore aujourd'hui le caféier d'Arabie. Les traitements chimiques, bien qu'efficaces, sont onéreux et souvent difficiles à appliquer

et les moyens les plus sûrs et les plus économiques pour lutter contre ce parasite sont l'utilisation de variétés, clones et hybrides résistants ou tolérants à ce parasite. C'est dans ce but que des travaux de recherches ont été entrepris aux Centre de Boukoko par des tests de résistance des clones retenus par le Laboratoire de Génétique pour leur productivité.

Sur *Coffea excelsa*, les dégâts causés par *Hemileia vastatrix* sont moins importants que sur *C. robusta* et jusqu'ici sans incidence économique. Toutefois, on assiste chaque année à un développement et à une extension de plus en plus grande de ce parasite dont, jusqu'à ces dernières années, les attaques étaient sporadiques et en général légères. Néanmoins, jusqu'à ce jour, cette espèce, peu cultivée en République Centrafricaine, semble être moins sensible aux attaques de deux races d'*Hemileia* connues jusqu'ici.

Signalons, enfin, que trois champignons parasites des urédospores d'*Hemileia vastatrix* existent dans les plantations de *C. robusta* et *C. excelsa* et que leur développement, sur les taches urédosporees, participe activement à la réduction de la rouille par la destruction d'un grand nombre d'urédospores, organes de la propagation de la maladie. Ce sont, par ordre de fréquence décrois-

sante : *Verticillium hemileiae* Bour., *Cladosporium hemileiae* Stey. et *Paranectria hemileiae* Hans.

Dans les chapitres qui vont suivre on examinera successivement l'historique et la répartition géographique du parasite, son origine, les caractères macroscopiques de la maladie, les caractères microscopiques du champignon sur la plante hôte, l'étude biologique, l'étude expérimentale (infection, durée d'incubation), le cycle de reproduction, la propagation et la dissémination du parasite, l'influence de différents facteurs sur le développement de l'*Hemileia* (et, en particulier, de l'altitude, de l'humidité et de la pluie, de la température, du vent, de l'éclairement, de l'ombrage et des façons culturales), les races physiologiques et biologiques et leur virulence sur les espèces, variétés, lignées, clones et hybrides des *Coffea* cultivés et spontanés ; la recherche des variétés et des clones résistants par la méthode des tests de résistance ; les dégâts ainsi que les moyens de lutte préconisés d'ordre prophylactique, traitements chimiques, lutte génétique et lutte biologique, enfin les résultats obtenus par les essais de traitements chimiques à partir de différents produits contre la rouille, après quinze années de recherches au Laboratoire de Phytopathologie du Centre de recherches agronomiques de Boukoko.

HISTORIQUE, RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

La rouille des caféiers (*Hemileia vastatrix*) fut observée pour la première fois à Ceylan en 1868, par le Dr THWAITES (933), dans le district de Madulsima, dans la partie montagneuse du sud-est de l'île, d'où très rapidement elle a envahi toutes les plantations de caféiers *C. arabica* de cette île, occasionnant des pertes considérables.

Ce sont deux mycologues britanniques, BERKELEY et BROOME (158), qui ont les premiers en 1869 identifié et décrit sommairement le champignon parasite qu'ils dénommèrent *Hemileia vastatrix*, genre et espèce nouveaux.

Depuis cette époque, l'aire de répartition géographique de ce dangereux parasite s'est considérablement accrue dans presque tout le continent asiatique, occasionnant partout des dommages importants.

Depuis cette découverte, l'étude du champignon et de la maladie qu'il provoque a donné lieu à de nombreux travaux et recherches. Nous essayerons à l'aide de documents cités de suivre la progression de la maladie.

En 1869, c'est-à-dire un an après son apparition à Ceylan, l'*Hemileia vastatrix* envahissait rapidement la péninsule indoue (298), dont toutes les plantations de *Coffea arabica*, surtout dans la région méridionale, furent atteintes.

Quelques années plus tard, en 1876 (817), la maladie apparaissait dans les plantations de Sumatra (Indonésie); en 1878 (161), dans celles des Iles Fidji et au Natal. En 1879 (1107), le parasite faisait son apparition dans les plantations de Java. En 1880, dans celles de l'Île Maurice et en 1882 dans les plantations de La Réunion. A Madagascar, dans les plantations de *Coffea arabica*, sa présence est certaine en 1886, mais il est probable que le champignon fut importé auparavant, en même temps que des plants de caféiers provenant de Ceylan. D'après BOURIQUET (196), le parasite aurait été introduit vers 1872 par un planteur de Ceylan qui étudiait les conditions de culture dans les régions de Vatandry, Mahanoro et Mananjary.

Au Tonkin, l'*H. vastatrix* a été signalé en 1888 par BALANSA (138). A Bornéo et en Malaisie, en 1890 (749), aux Philippines depuis 1890 ou 1891 (332), aux Iles Samoa et aux Nouvelles-Hébrides en 1894. En Nouvelle-Calédonie, la maladie a été

observée en 1910 ou 1911 par BLANDEAU (165). Le continent africain a été probablement atteint en 1894 et les plantations de l'ex-Afrique orientale allemande étaient alors envahies.

On admet généralement aujourd'hui que l'*Hemileia vastatrix* est originaire du Centre et de l'Est africain. En effet, dans ces régions qui correspondent au centre d'origine de *C. arabica*, ainsi que le rapportent SADEBECK (1895) puis HENNING (1897), le champignon a été récolté à deux reprises sur *C. arabica* var. *stuhlmannii* à l'état sauvage dans les parages du lac Victoria. On peut cependant faire remarquer à ce sujet que malgré la concordance d'origine de ce caféier et de son parasite, il n'est pas impossible que l'*Hemileia vastatrix* ait été initialement hébergé par des Rubiacées non cultivées. En effet, il faut tenir compte du fait que THOMAS (922), en 1924, a signalé la présence d'un *Hemileia* sur deux Rubiacées spontanées : *Vangueria spinosa* et *Rodia uliginosa* dans les forêts de Coorg et Mysore au sud de l'Inde; mais il faut indiquer cependant que cette espèce n'a pu être transmise aux caféiers cultivés.

En Afrique centrale, l'*Hemileia vastatrix* fut signalé sur caféiers en 1904 par WILDEMAN sur des échantillons de feuilles rapportées de l'ex-Congo Belge par E. LAURENT.

Au Kenya, on rapporte que la maladie a été observée pour la première fois en 1913. Depuis, ce parasite s'est répandu dans tous les pays d'Afrique orientale, centrale, occidentale et en Afrique du Sud, partout où les *Coffea* sont cultivés et, en particulier, les *C. arabica*, *C. robusta*, *C. liberica* et *C. dewevrei* var. *excelsa*, ainsi que d'autres espèces moins répandues telles que *C. congensis*, *C. stenophylla*, *C. abeokutae*, etc...

L'importance des dégâts que ce redoutable parasite a occasionnés et occasionne encore dans les caféières a conduit de nombreux spécialistes à se pencher sur son étude aux plans morphologique, biologique et expérimental et, en particulier, sur les moyens de lutte chimique, et surtout au plan génétique sur la recherche de variétés, lignées, clones, hybrides résistants ou tolérants au parasite.

Les remarquables travaux du Prof. BRANQUINHO d'OLIVEIRA et de son équipe, au Centre de Recherches sur la rouille des caféiers d'Oeiras

(Portugal), sur les races physiologiques et biologiques d'*Hemileia vastatrix* sur les espèces, variétés, lignées, clones et hybrides différents de caféiers, provenant du monde entier, ainsi que la mise au point de méthodes de tests de résistance des caféiers aux nombreuses races de la rouille, montrent l'importance que les phytopathologistes, biologistes et généticiens attribuent à cette maladie.

De nombreux travaux de recherches ont été réalisés également par de nombreux autres spécialistes, aussi bien du continent africain qu'asiatique, en particulier au Kenya, au Tanganyika, aux Indes, en Indonésie et aux Philippines.

Nous essayerons, en fonction des documents que nous possédons, de faire un résumé des travaux dans le monde sur l'*H. vastatrix*, en commençant par le continent africain. Nous n'avons pas la prétention d'énumérer la totalité des auteurs qui ont étudié les différents problèmes concernant cette maladie, ni les rapports rédigés par des anonymes, mais nous espérons que les lecteurs trouveront dans ce chapitre une liste assez complète d'auteurs par pays et par année des principaux travaux réalisés jusqu'en 1969.

Continent africain

Au Kenya

D'après certains auteurs, *H. vastatrix* a été observé pour la première fois au Kenya sur *Coffea arabica* en 1913. DOWSON (361) signalait, en 1921, sa présence et indiquait que les conditions météorologiques avaient une influence importante sur les dégâts. MAC DONALD (625), en 1924, préconisait l'application de traitements cupriques. En 1937, le même auteur (639) rapportait les résultats d'inoculations artificielles pratiquées sur feuilles de caféiers sauvages (*Coffea eugenioides*), qui avaient montré que ceux-ci ne présentaient pratiquement aucun symptôme de la maladie, même quand l'infection était installée. LE POER-TRENCH (547) indiquait qu'en 1924 l'*H. vastatrix* était plus répandu que les années précédentes et que dans 50 % des plantations le parasite était associé à d'autres champignons mineurs.

COSTANTIN (311) indiquait, en 1930, que les expériences faites au Kenya, puis au Tanganyika, avaient montré que les caféiers étaient plus tolérants à la rouille aux hautes altitudes qu'aux basses altitudes. En 1935 (312), l'auteur se réfère au rapport existant au Kenya entre l'altitude et la résistance du blé à la rouille et du caféier à l'*Hemileia*. BERKELEY (148), en 1938, observait au Kenya une forte attaque de rouille sur les caféiers chlorosés.

RAYNER (752) mentionnait, en 1955, que les grandes pluies anormales dans le Rift oriental étaient susceptibles de provoquer une épidémie d'*H. vastatrix*; la même année (753), l'auteur fait des inoculations artificielles pour déterminer si la durée d'incubation d'*H. vastatrix* varie avec l'époque de l'année. En 1958 (755), il note une épidémie de rouille due aux conditions climatiques de janvier et février et parallèlement mentionne que les inoculations artificielles étaient positives.

La même année X (1137) indiquait dans son rapport que les recherches faites au Kenya montraient que les attaques d'*H. vastatrix* sur un groupe de *Coffea* K 7 étaient dues à la ségrégation des types sensibles et qu'un autre type était attaqué par la race I d'OLIVEIRA.

BOCK (166), en 1959, mentionne les résultats obtenus avec les traitements contre la rouille et, en 1960 (167), il indique que les traitements de février-mars avec une bouillie bordelaise et d'autres produits cupriques contrôlent la rouille.

NUTMAN (690), en 1959, effectue des essais sur la dissémination des urédospores de la rouille avec des pièges et plaques adhésives.

RAYNER (757), en 1960, d'après ses essais en serre sur feuilles infectées par *H. vastatrix*, considère que la libération des spores est en grande partie provoquée dans les champs par la pluie frappant les feuilles.

BOCK (168), en 1960, indique que les cycles épidémiques saisonniers de la rouille au Kenya ou l'augmentation saisonnière de l'infection dépendent de la pluviosité.

BURDEKIN (224) effectue, en 1960, des tests sur la dispersion des urédospores de l'*H. vastatrix*.

NUTMAN, ROBERTS et BOCK (691), en 1960, indiquent que la dispersion des spores de la rouille se fait non sous l'action du vent, mais surtout par l'eau, tout au moins par le vent qui suit immédiatement la pluie.

RAYNER (756), en 1960, fait une étude générale de la maladie en décrivant les symptômes, les dégâts, la dispersion des spores, les conditions requises pour la germination des spores, le rôle joué par l'eau, la période d'incubation ainsi que la relation entre la chute des pluies et l'incidence de la maladie dans les champs.

WALLIS et FIRMAN (1034), en 1960, donnent les résultats d'essais de traitements en champs avec différents produits cupriques.

BURDEKIN (226), en 1961, indique les résultats d'expériences faites dans la lutte contre *H. vastatrix*.

NUTMAN, ROBERTS et BOCK (691), en 1960, dans un compte rendu détaillé, concluent que l'épidémie périodique d'*H. vastatrix* est due à l'agrégation naturelle des spores emportées et ensuite dispersées par les éclaboussures de pluie plutôt que par le vent.

RAYNER (762), en 1961, indique que le pourcentage de feuilles infectées par groupes d'arbres varie directement avec la densité du feuillage et, plus tard dans l'année, avec le nombre de lésions par feuille. Le même auteur (763) mentionne que les études faites à Ruiru montrent que les spores d'*H. vastatrix* existant dans l'air peuvent effectivement se déposer à la face supérieure des feuilles et de là être transportées sur la face inférieure des autres feuilles par la pluie.

HANGER (456), en 1961, déclare que bien que quelques variétés indiennes d'*Arabica* soient connues comme étant immunisées contre les races I et II d'*H. vastatrix*, elles ne peuvent être recommandées pour être plantées avant que l'on ne soit assuré de leur comportement au Kenya.

FIRMAN (409), en 1961, rapporte qu'*H. vastatrix* a été observé pour la première fois sur *Coffea robusta* au centre et au nord du Nyang.

BOCK (169), en 1962, indique que les études faites à Nairobi prouvèrent que le vent joue ou ne joue pas un rôle sur la dispersion des spores de la rouille, mais que, par contre, le nombre de spores dispersés était proportionnel à la quantité et à l'intensité de la chute des pluies.

NUTMAN et ROBERTS (692), en 1962, mentionnent qu'ils ont une preuve supplémentaire de la dispersion des spores d'*H. vastatrix* par l'eau.

RAYNER (765), en 1962, indique les résultats obtenus avec les essais de fongicides réalisés en champs pour le contrôle d'*H. vastatrix*.

BOCK (170), en 1962, mentionne qu'après les études faites au Kenya, les apparitions d'*H. vastatrix* dans la région de l'est de la vallée du Rift ont eu lieu aux deux saisons de pluies, alors que dans l'ouest de la même vallée, il n'y eut qu'une seule apparition grave pendant la saison humide continue. Il conclut que la longueur et la gravité de chaque apparition sont déterminées par l'interaction de trois facteurs.

HANGER (457), en 1962, rapporte des essais effectués sur la résistance des différents clones aux races I et II d'*H. vastatrix*.

WALLIS et FIRMAN (1035), en 1962, publient les résultats des essais effectués en champs avec différentes combinaisons d'utilisation de fongicides pour le contrôle d'*H. vastatrix*.

NUTMAN et ROBERTS (693), en 1963, décrivent les études réalisées sur les conditions de germination des urédospores, l'influence de l'humidité et de la température et, dans l'ensemble, l'étude biologique du parasite et les conditions d'infection des feuilles.

CROWE (323), en 1963, signale la présence de deux hyménoptères, parasites des spores d'*H. vastatrix*, capables de transmettre un inoculum suffisant dans les plantations éloignées.

Dans son rapport 1962/63, X (1147) indique que

la durée d'incubation de la race II d'*H. vastatrix* à 16-24 °C, sur disques de feuilles de caféiers au laboratoire, varie de 26 à 28 jours. L'auteur signale parallèlement la présence de la rouille sur cerises pour la première fois en octobre 1962.

FIRMAN et HANGER (410), en 1963, font un compte rendu détaillé de la distribution de la rouille et de l'apparition de la race XV sur *C. arabica* et de la race IV sur *C. robusta*. Des essais sur l'infection de la rouille sont décrits avec un tableau des variétés expérimentées, les races de rouille auxquelles elles sont susceptibles et le degré de ségrégation pour la résistance des différentes variétés.

FIRMAN et WALLIS (411), en 1965, indiquent les résultats obtenus dans les essais de traitements avec différentes concentrations d'oxyde cuivreux et différentes époques de traitements.

En Ouganda

L'époque de l'apparition de la rouille dans ce pays n'est pas connue. Elle a été probablement introduite la même année qu'au Kenya (1913) et sévit aussi bien sur *C. arabica* que sur *C. robusta*.

SNOWDEN (836) signalait pour la première fois, en 1921, qu'*H. vastatrix* était la maladie prédominante en Ouganda, suivi ensuite par *Colletotrichum coffeanum*.

PHILLPOTT (724), en 1922, rapportait que les plantations de Kakumaro Mubendé étaient exemptes d'*H. vastatrix* jusqu'en 1922, année où une attaque sévère se reproduisit en novembre.

SNOWDEN (837) indique, en 1922, qu'*H. vastatrix* est très fréquent et extrêmement virulent sur *C. arabica* de juin à août. Certaines variétés de *C. robusta* sont également endommagées. Par contre, les trois variétés de *C. excelsa* cultivées sont très résistantes et *C. liberica* hautement résistant.

SMALL (835) indique, en 1923, que la maladie est commune sur *C. arabica*, surtout dans les plantations sans ombrage. L'auteur mentionne parallèlement que le contrôle direct par traitement est impraticable en Ouganda et il préconise la lutte indirecte (choix du terrain, ombrage, taille, etc...).

HANSFORD (458), en 1937, mentionne qu'*H. vastatrix* n'est pas important sur *C. robusta*. En 1941 (460), décrivant la flore mycologique de l'Ouganda, il découvre que les spores d'*H. vastatrix* sont parasitées par *Paranectria hemileiae* qu'il décrit comme nouvelle espèce.

En Tanzanie (Tanganyika)

Comme en Ouganda, l'époque de l'apparition de la maladie n'est pas connue. Il est fort probable que celle-ci existe depuis le début du siècle, comme au Kenya.

WALLACE (1008), en 1928, indique que les attaques d'*H. vastatrix* varient d'une année à l'autre ainsi que d'une plantation à l'autre; elles dépendent essentiellement de l'influence combinée des conditions environnantes (altitude, humidité, exposition) et de la vigueur des caféiers.

En 1930-31 (1010), il fait une révision générale sur la maladie. En 1933 (1014), il indique qu'une lutte efficace contre la maladie a été entreprise à l'aide de pulvérisations à la bouillie bordelaise.

En 1936 (1017), il mentionne que les meilleurs résultats pour la lutte contre la rouille ont été obtenus avec 0,8 à 1 % de bouillie bordelaise, additionnée d'huile de lin. En 1938 (1020), il indique que les essais de fongicides contre l'*H. vastatrix* ont été poursuivis sur *C. arabica* et que la bouillie bordelaise donnait les meilleurs résultats. Il signale, en outre, que la rouille observée d'abord près de Kikuyu, en 1936, continue à s'étendre dans la province des Highlands du Sud.

En 1940 (1026), l'auteur fait un compte rendu sur les résultats des essais de fongicides dans la lutte contre la maladie en Tanzanie et, en 1941 (1027), donne les résultats des essais entrepris depuis 1939 pour la lutte contre la rouille avec la bouillie bordelaise et un hydroxyde de cuivre, et indique les meilleures époques des traitements.

BIGGS (162), en 1944, rapporte que durant l'année 1943 la rouille ne sévissait en Tanzanie qu'avec une intensité moyenne.

SANDERS (809), en 1955, résumant les travaux de la Station de Recherches de Lyamungu, rapporte que la rouille est à nouveau très répandue sur les arbres portant une forte production et manifestant une forte défeuillaison.

WALLACE (1033), en 1955, mentionne que l'*H. vastatrix* préoccupe les phytopathologistes de Tanzanie.

RILEY (781), en 1958, rapporte que dans la province du nord de la Tanzanie on considère généralement que les pulvérisations de fongicides cupriques n'apportent pas une protection efficace contre la rouille.

Dans son rapport de 1958, X (1139) indique que la rouille du caféier était à nouveau grave dans les principales régions de culture du caféier Arabica.

FERNIE (402), en 1962, rapporte que les descendance F1 provenant de croisements d'une sélection Geisha (UC. 496) et de sélections de caféiers Kent, Bourbon et Amphilo, montrent une résistance marquée à la rouille dans les champs.

Dans son rapport de 1962, X (1144) indique que le « Captan » appliqué quatre fois en février-mars et en octobre-novembre donne le meilleur contrôle de la rouille.

X, en 1964 (1151), dans son rapport, indique qu'on a montré que *C. excelsa* est résistant à toutes les races connues d'*Hemileia*. Une espèce (n° 18) a une double couche palissadique dans la feuille,

tandis que toutes les espèces et variétés étudiées ont seulement une seule couche et sont sensibles, à quelques races près seulement.

BURDEKIN (227), en 1964, mentionne qu'*H. vastatrix* était aussi bien contrôlé par le « Zinèbe » et le « Ziram » que par les fongicides cupriques.

PARK et BURDEKIN (708), en 1964, montrent qu'une quantité donnée de fongicide cuivre utilisée contre l'*H. vastatrix* en champ dure moins longtemps que cela n'avait été prévu à la suite d'essais chimiques.

HOCKING et WHITE (488), en 1965, indiquent qu'ils ont effectué des recherches sur la germination des urédospores ainsi que des essais de fongicides.

Au Congo Kinshasa (ex-Congo Belge)

MARCHAL, MANIL et VANDERWALLE (568), en 1937, rapportent que la rouille fut observée en Afrique centrale au début du siècle et notamment en 1904 par WILDEMAN.

STANER (846), en 1929, signale la présence d'*H. vastatrix* sur *C. arabica* dans l'Ituri et le Kivu.

STEYAERT (858), en 1930, a observé sa présence sur *C. robusta* et il était parasité par *Cladosporium hemileiae*.

GHESEQUIÈRE (435), en 1938, observait également la présence de la rouille des caféiers dans les plantations du Kivu et d'Ituri.

HENDRICKX (469), en 1939, signalait à son tour la présence d'*H. vastatrix* dans les plantations d'Arabica du Kivu et soulignait la présence de téléospores sur les vieilles taches d'urédospores, ainsi que sur les lésions de rouille, celle de *Verticillium* et *Cladosporium hemileiae*. En 1944 (471), il signalait à nouveau la présence de la rouille au Kivu, en Ituri et partout où le caféier est cultivé.

STEYAERT (861), en 1946, indique qu'*H. vastatrix* est virtuellement inexistant sur caféier Robusta au Congo Kinshasa et ajoute que sa présence est plutôt le signe d'un mauvais état sanitaire des caféiers que celui d'un vrai parasitisme. En 1948, l'auteur signale à nouveau sa présence sur *C. canephora*.

PERMANNE (714), en 1952, indique également la présence de la rouille sur les caféiers et décrit parallèlement les symptômes, la propagation, les dégâts, les moyens de lutte et les fongicides à employer.

En Afrique orientale (ex-italienne)

CASTELLANI (258), en 1937, mentionnait que la rouille du caféier n'avait pas encore été observée en Afrique orientale. En 1938 (259), il déclarait que dans ce pays la rouille et *Cercospora coffeicola*

étaient les maladies les plus fréquentes sur *C. arabica*, types Harrar et Moka, mais que les dégâts étaient peu graves à haute altitude ; par contre, ils étaient sévères à basse altitude le long des rivières ; il mentionnait également l'existence de types résistants.

En Somalie

L'*H. vastatrix* a été signalé dans plusieurs localités par CICCARONE (277) en 1951.

En Ethiopie

FERNIE (403), en 1966, signale qu'il a remarqué durant sa visite de 1964 la présence d'*Hemileia vastatrix* dont la distribution variait avec l'altitude ; il a observé parallèlement sur les sores la présence de parasites, probablement *Verticillium*.

Au Soudan

La présence d'*H. vastatrix* dans les plantations de ce pays a été signalée, en 1942, par BOUGHEY (180).

TARR (897), en 1954, indique que la rouille est très répandue dans le sud du Soudan, surtout sur *C. arabica*, causant des pertes appréciables. L'auteur signale que la maladie est si intense dans certaines régions, qu'elle a rendu la culture du caféier impossible.

Au Mozambique

La présence d'*H. vastatrix* dans les plantations de ce territoire a été signalée par CARDOSO (250) en 1940, de même que par BRANQUINHO D'OLIVEIRA (697) en 1957.

Au Malawi (Nyassaland)

D'après LEACH (539), en 1931, la rouille était absente des plantations de caféiers dans ce territoire, mais une enquête a montré qu'elle a été présente dans le passé, quoique non signalée dans ce département.

A Zanzibar

D'après WILLIAMS (1080), la rouille a été observée pour la première fois dans ce territoire en 1947, causant des défeuillaisons parmi les clones de *C. liberica* souffrant de la sécheresse. En 1948, SWAINSON (880) indiquait que la rouille causait de sérieux dégâts dans les plantations de *C. liberica* de cet Etat.

En Rhodésie

H. vastatrix a été signalé pour la première fois par BRAIN (205) en 1931. L'auteur signale que de nombreuses petites plantations établies le long de la bordure de la Rhodésie du Sud étaient détruites par la rouille.

En Afrique du Sud

GYDE (450), en 1932, signale qu'*H. vastatrix* est un parasite de nombreuses Rubiacées.

NYENHUIS (694), en 1967, signale dans une note la réapparition d'*H. vastatrix* dans les essais entrepris pour rétablir la culture du caféier en Afrique du Sud, là où la maladie avait détruit les récoltes il y a cinquante ans. L'auteur indique que les clones plantés provenant d'Afrique orientale sont jusqu'ici restés sains, tous les autres sont attaqués. La race d'*H. vastatrix* responsable est encore inconnue.

En Afrique équatoriale

L'*Hemileia vastatrix* a été observé pour la première fois au Congo-Brazzaville, au Gabon et en République Centrafricaine en 1949 (803) sur *C. robusta*, *C. excelsa*, *C. canephora* var. de la Nana et *C. arabica*.

Au Cameroun

La rouille a été signalée pour la première fois sur ce territoire par PASCALET (710) en 1934, sur *C. arabica* à Dchang. Il s'agissait probablement d'*Hemileia coffeicola* décrit par MAUBLANC et ROGER (583) la même année comme une espèce nouvelle.

Au Cameroun ex-britannique

La maladie a été signalée sur *C. arabica* par WATERSON (1054) en 1954, ainsi que par X (1126) la même année.

Au Nigeria : sur *C. arabica* par HARCASTLE (463) en 1962.

Au Dahomey : par MALLAMAIRE (565) en 1952, sur *Coffea arabica* et *canephora*, qui estimait à 30 % les pertes provoquées par le parasite.

Il fait son historique et décrit les caractères externes et internes du parasite, sa biologie, la sensibilité des espèces et variétés, les dégâts, les moyens de lutte et l'étendue de l'invasion de la maladie au Dahomey.

Au Togo

Dans son rapport, X (1123) indique que la rouille des caféiers est apparue pour la première fois dans les plantations en décembre 1952.

Au Ghana

L'*H. vastatrix* a été signalé par X (1140) qui, dans son rapport de 1959, indique sa présence dans la région de l'Est et l'Ashanti ainsi qu'au Togoland. X (1132), dans son rapport de 1956, indique que la rouille était signalée dans les plantations de la station agricole de Kpeve (Togo ex-britannique) en 1953. X (1136), en 1957, dans son rapport, mentionne qu'*H. vastatrix* est fréquent dans les plantations du Togo ex-britannique, surtout sur les caféiers Niaouli et Robusta sensibles, mais les dégâts sont cependant légers.

En Côte d'Ivoire

GRY (449) signale pour la première fois la présence d'*H. vastatrix* sur les caféiers de cet Etat.

BITANCOURT (164), en 1954, indique qu'*H. vastatrix* est, avec la trachéomycose, la principale maladie en Côte d'Ivoire, signalée pour la première fois en 1953 sur *C. liberica* et sur les variétés de *C. canephora* à grandes et petites feuilles.

MEIFFREN (643), en 1955, signale également le parasite en Côte d'Ivoire sur toutes les espèces cultivées ; il décrit la maladie et ses dégâts sur chacune des espèces et signale la présence de *Verticillium hemileiae* comme hyper-parasite de la rouille.

BOURIQUET (201), en 1956, mentionne que les variétés cultivées en Côte d'Ivoire paraissent dans leur ensemble montrer une certaine tolérance envers *H. vastatrix*. L'auteur préconise la recherche de variétés résistantes.

CHEVAUGEON (268), en 1956, signale de son côté la présence d'*H. vastatrix* sur *C. canephora* var. *robusta* un peu partout dans les plantations au nord de Cavally, qui disparaît brusquement au sud de Taï. L'auteur indique que les cantons les plus atteints par la rouille sont également ceux où on note avec plus de netteté des troubles de nutrition. L'auteur signale également la présence de *Verticillium hemileiae* comme hyper-parasite des sores d'*Hemileia*.

En Guinée

KRANZ (536) signale la présence d'*H. vastatrix* dans les plantations de ce territoire en 1962 ; elle peut être dangereuse, mais les pertes ne sont pas encore sérieuses.

A São Tomé

SILVA (834), en 1958, mentionne que probablement *H. coffeicola* attaque principalement *C. arabica*, quoiqu'on le trouve aussi sur *C. liberica*. La même année (834), l'auteur indique que les plus importants dégâts sont causés par *H. vastatrix* qui sévit surtout sur *C. arabica* au-dessous de 600 m. L'auteur indique que *C. liberica* et *C. dewevrei* var. *excelsa* sont aussi sensibles ainsi que *Coffea stenophylla* et *C. canephora* à Príncipe.

A Madagascar

L'*H. vastatrix* est connu à Madagascar depuis 1886 (196), mais il est probable que le champignon a été importé auparavant, vers 1872, par un planteur de Ceylan (196).

DUCLOS (364), en 1928, indique que la maladie a été observée dans les plantations de l'île sur feuilles âgées de *C. arabica* à la fin de la saison sèche, mais qu'elle disparaissait sans laisser de dégâts au retour de la saison des pluies.

BOURIQUET (184), en 1934, mentionne qu'à la suite d'un essai de traitement contre la rouille dans une parcelle expérimentale, certains planteurs traitèrent leurs plantations. La même année, l'auteur (185) indique la nécessité du remplacement sur la Côte Est de Madagascar du *C. arabica* très sensible par des espèces plus résistantes. En 1935 (191), il indique que des traitements cupriques contre la rouille ont été entrepris sur 100.000 caféiers par les autorités locales d'Itasy. En 1946 (196), le même auteur indique que toutes les variétés de caféiers poussant à Madagascar sont attaquées en toutes saisons par la rouille et que *C. arabica*-espèce la plus sensible, a été remplacé par *C. liberica*, *C. kouilou*, *C. congensis* et *C. robusta* dans les régions côtières de l'est de l'île.

A l'île Maurice

La maladie a été observée pour la première fois en 1880 : elle est citée par WIEHE (1072), en 1948.

Continent asiatique

A Ceylan

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre (933), Ceylan fut le premier territoire où la rouille fit son apparition en 1868.

PETCH (719), en 1924, signale la maladie sur *C. robusta* et mentionne qu'il a observé des téléospores pendant toute l'année sur les feuilles de cette espèce atteintes d'*Hemileia*.

RAGUNATHAN (739), en 1924, signale de son côté la présence de téléutospores sur les spores d'*Hemileia* des feuilles de *C. robusta* atteintes du parasite.

RHIND (773), la même année, indique que la culture du caféier Arabica a été réduite en superficie en raison des ravages provoqués par l'*Hemileia*.

DOIDGE (349), en 1926, indique que la maladie cause la ruine des planteurs de caféiers à Ceylan. L'auteur pensait qu'elle était originaire d'Afrique centrale et s'était répandue à Ceylan par des plants importés.

MORSTATT (669), en 1943, mentionne les effets désastreux produits par la rouille sur les caféiers à Ceylan et ailleurs.

MAYNE (618), en 1958, indique la présence d'*H. vastatrix* sur les caféiers et d'*Exobasidium vexans* sur les théiers.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (699), en 1959, fait l'historique de la sélection du caféier effectuée pour obtenir l'immunité contre l'*H. vastatrix* et décrit les dégâts provoqués par la première épidémie à Ceylan.

Aux Indes

La présence d'*H. vastatrix* aux Indes a été observée en 1869.

MUNRO et SUNDARARAMAN (673), en 1923, entreprirent des essais de traitements dans le Pirchikady pour prouver qu'on peut lutter efficacement contre *Hemileia vastatrix* et *Corticium koleroga*.

ANSTEAD (119), en 1924, fait des essais démonstratifs contre la rouille en pépinière.

HARTLEY et RANDS (467) indiquent que de graves épidémies de rouille ont eu lieu dans le sud-est de l'Inde en 1880 et 1890.

THOMAS (922), en 1924, indique que la maladie est d'une importance économique considérable, d'origine discutée. Certains auteurs pensent que le parasite est endémique sur caféiers en Afrique, d'autres qu'il existait sur plantes de brousse.

COLEMAN (283), en 1930, indique que les traitements cupriques sont généralement efficaces dans la lutte contre la rouille.

MAYNE (584), la même année, ayant étudié les conditions climatiques favorisant le développement de la rouille, indique que celle-ci s'accroît après la floraison et continue à évoluer lentement pendant la période chaude de la mousson ; les fortes pluies presque continues semblent par contre l'arrêter.

Les résultats des recherches montrent que la période la plus propice à la propagation de la maladie se situe entre la floraison et le début de la mousson sud-ouest.

THOMAS (925) indique que le sud de l'Inde est cultivé en *C. arabica* très sensible. L'hybride

Jackson, récemment introduit, est aussi sensible que *C. arabica typica*, tandis que le caféier Hall est très résistant.

COLEMAN (289), en 1932, indique qu'*Hemileia vastatrix* est une des principales maladies des caféiers aux Indes et que les meilleurs résultats pour la lutte ont été obtenus avec la bouillie bordelaise caséinée.

MAYNE (590), la même année, a étudié la biologie du champignon et en particulier l'influence de l'humidité et de la lumière sur la germination des urédospores. La même année (589), l'auteur indique que des travaux sur la réaction de nombreux hybrides et sélections de *C. arabica* mirent en évidence l'existence de la spécialisation physiologique de cette rouille. La même année (587), dans son rapport sur la périodicité saisonnière de l'*Hemileia*, il indique que dans la plupart des régions caféières du sud des Indes, deux traitements fongicides sont nécessaires pour contrôler la rouille, mais que dans certaines conditions, un seul peut donner des résultats satisfaisants.

En 1933 (591), le même auteur indique que des cultures représentant deux formes d'*H. vastatrix*, récemment découvertes, étaient maintenues sur feuilles vivantes de caféiers et ces formes testées étaient utilisées pour mettre à l'épreuve la résistance des plantules à la rouille. La même année encore (592), l'auteur mentionne que la vigueur du champignon est déterminée par celle de l'hôte et que les méthodes culturales et les engrais ne peuvent pas contrôler la maladie.

MAYNE, NARASIMHAN et SREENIVASAN (593), en 1933, indiquent l'importance des traitements dans la lutte contre la rouille et les expériences effectuées avec des bouillies variées ; les meilleurs résultats ont été obtenus avec la bouillie bordelaise caséinée.

MAYNE (594), en 1934, indique que les essais de traitements contre *Corticium koleroga*, *H. vastatrix* et « die-back » confirment la supériorité de la bouillie bordelaise caséinée. En 1935, l'auteur (595) pense que la résistance des caféiers à la race I est transmise par un simple facteur dominant mendélien. En 1936 (596), il fait des recherches sur la transmission de la résistance des caféiers à la rouille. Parallèlement, il mentionne que les essais de lutte effectués depuis 1930 avec différents produits ont montré des différences significatives dans l'efficacité de la bouillie bordelaise simple.

NARASIMHAN (677), en 1936, a observé fréquemment la forme téléutosporee de la rouille à Bangalota, sauf pendant les grandes pluies.

MAYNE (597), en 1937, indique que des essais de traitements comparatifs contre la rouille de 29 à 60 jours ont été réalisés après la floraison. La même année (598), l'auteur a étudié l'influence de l'hôte, du parasite et des conditions ambiantes sur l'inci-

dence de la rouille dans le sud de l'Inde. En 1938 (599, 601), il entreprend des essais de lutte dans le Mysore avec l'oxyde de cuivre ainsi que des essais de dates de traitements avec des résultats prometteurs. En 1940 (605), le même auteur mentionne qu'à la suite d'une période prolongée de temps sec, 1938-1939, les attaques de rouille furent exceptionnellement légères. La même année (602, 603), il préconise comme moyen de lutte le « Perenox » et la bouillie bordelaise.

MAYNE (616), en 1946, tout en indiquant qu'*H. vastatrix* est une des principales maladies des caféiers dans le sud des Indes, signale la création de nombreuses variétés de caféiers résistants aux races physiologiques actuelles. La même année (617), il indique que les variétés « Kent » et « Coorg » présentent des réactions différentes à la rouille, qu'il attribue à l'existence de races physiologiques.

THIRUMALACHAR et NARASIMHAN (912), en 1947, mentionnent des expériences faites sur la morphologie des spores et des essais d'inoculations croisées, pour distinguer les différentes espèces d'*H. vastatrix* sur des Rubiacées aux Indes, auxquels ils attachent une importance particulière en raison de leur rôle potentiel dans l'extension de la rouille du caféier.

THOMAS (926), en 1948, prétend que l'extension de la rouille aux Indes peut être arrêtée par des traitements périodiques à la bouillie bordelaise. Il note également l'identification de quatre races physiologiques.

AIYER (4), en 1949, indique de fortes attaques d'*H. vastatrix* aux Indes et préconise les moyens de lutte.

THOMAS (927), en 1949, donne les résultats des essais de lutte contre la rouille avec la bouillie bordelaise de 1945 à 1948. En 1950 (928), il effectue des essais de lutte avec la bouillie bordelaise et le « Perenox » et indique que leur action varie suivant les lieux et la saison.

NARASIMHASWAMY (678), en 1952, fait un compte rendu des travaux réalisés dans la lutte contre la rouille dans le sud de l'Inde et indique que les traitements à la bouillie bordelaise peuvent augmenter la production de 100 %, mais présentent des difficultés d'ordre économique.

THOMAS (929), en 1953, mentionne qu'il n'y a pas de défoliation sur *C. arabica* S 446 et que les sélections d'hybrides de Kurvenmythy étaient résistantes, à végétation vigoureuse, et que les croisements entre *C. robusta* étaient indemnes de maladie.

NARAYANAN (681), en 1955, précise dans ses rapports que dans les essais de traitements contre la rouille, la bouillie bordelaise 2-2-40, additionnée de « stanvac », assurait le meilleur rendement de cerises et que les spécialités cupriques étaient en général moins efficaces.

GEORGE (429), en 1957, rappelle les symptômes et les méthodes de lutte contre la rouille. En 1959

(430), l'auteur donne les résultats des essais de traitements comparatifs avec différents produits fongicides et rapporte que la bouillie bordelaise à 0,5 % était aussi efficace, et dans quelques cas meilleure, que les autres spécialités.

VISHVESHVARA et NAG RAJ (1001), en 1960, effectuent des études cytologiques sur la formation des basidiospores d'*H. vastatrix*.

ANANTH et CHOKKANNA (10), en 1961, observèrent deux insectes, *Euphysothrips subramanii* et *Scirtothrips*, se nourrissant des urédospores d'*H. vastatrix* et les dispersant à la face inférieure des feuilles.

GEORGE (432), en 1961, indique qu'une économie considérable dans le volume des bouillies a été réalisée avec la pulvérisation micronisée pour le contrôle de la rouille, mais que ce procédé ne couvrirait pas la totalité de la surface des feuilles.

EVANS et SAGGERS (382), en 1962, indiquent que des expériences préliminaires faites avec le systémique NC 918 contre l'*H. vastatrix* ont donné des résultats satisfaisants.

VISHVESHVARA et NAG RAJ (1002), en 1962, font des études cytologiques sur la caryogamie des basidiospores.

NARASIMHASWAMY, NAMBIAR et SREENIVASAN (679), en 1963, donnent quelques résultats de leurs recherches pour l'amélioration de la vigueur et de la résistance à *H. vastatrix*.

NARASIMHASWAMY (680), en 1965, indique qu'*H. vastatrix* est présent dans toutes les plantations des régions caféières, mais seulement de façon épidémique et contrôlé apparemment par les conditions locales et les hyper-parasites.

ARJENDRAN et GEORGE (120), en 1965, indiquent que l'urédium d'*H. vastatrix* sur le café est super-stomal, rarement sub-épidermique, se développant dans les espaces intercellulaires du parenchyme lacuneux.

VENKATARAMAIAH (995), en 1965, réalisa des essais avec différents produits sur la germination des urédospores.

CHINAPPA (270), en 1965, a fait des observations sur la germination des téléospores et indique que leur rôle est inconnu. Il considère que seul le mycélium hivernant dans les tissus donne naissance à des sores à urédospores qui propagent la maladie dans les conditions normales.

ANON (113), en 1966, indique que dans des expériences avec dix-huit fongicides contre *H. vastatrix*, la bouillie bordelaise à 0,5 % donnait un pourcentage maximum de feuilles saines.

D'SOUZA (362), en 1965, fait des essais préliminaires avec des pièges pour déterminer la distance de transport des urédospores par le vent.

En Malaisie

H. vastatrix a été observé pour la première fois en 1890 (749). THOMPSON (930), en 1932, indique

qu'il a trouvé dans les pustules de la rouille un *Mycothecium*, probablement *M. advena* Sacc.

En Chine

TAI (893), en 1947, signale qu'il a recueilli *H. vastatrix* sur *C. arabica* dans le Yunan.

En Indonésie

H. vastatrix fut observé pour la première fois à Sumatra (817) en 1876, à Java (1107) en 1879, à Bornéo et aux Iles Célèbes (749) en 1890.

VAN HALL (987), en 1921, indique qu'il a constaté une réceptivité croissante de *C. robusta* en Indonésie. En 1923 (988), il indique que *C. robusta* est très gravement attaqué par la rouille à Sumatra et, en 1924 (989), l'auteur mentionne qu'*H. vastatrix* cause de très graves dégâts dans le sud-ouest des Iles Célèbes où les plantations ont dû être abandonnées à cause de cette maladie.

LEEFMANS (542), en 1927, signale que la présence d'*H. vastatrix* sur les plantules, et en abondance exceptionnelle dans les plantations de *C. robusta*, est due probablement à la sécheresse prolongée en 1925 et à la faible pluviosité en 1926.

ULTEE (970), en 1927, signale à Java la présence d'*H. vastatrix* pendant la mousson de l'Est très sèche, et le fait que la plupart des arbres sont atteints avec le commencement des pluies.

LEEFMANS (544), en 1930, indique que la rouille est pratiquement inexistante à haute altitude à Java.

BALLY (140), en 1931, indique que depuis 1885, à Java, les dégâts causés par la rouille étaient tels que *C. arabica* fut remplacé par *C. robusta* résistant.

Dans son rapport, X (1120), en 1950, mentionne la présence d'*H. vastatrix* en Indonésie.

HUBERT (517), en 1957, mentionne qu'à 1.000 m d'altitude à Java et à Sumatra, *C. arabica* peut se développer relativement indemne de rouille. A la suite de l'épidémie de rouille en 1870, *C. liberica* fut introduit, mais a été progressivement attaqué par le parasite. *C. canephora* a résisté à toute attaque.

JOHNSTON (520), en 1960, indique qu'*H. vastatrix* est la maladie la plus répandue sur le caféier à Bornéo.

Aux Philippines

H. vastatrix a été observé pour la première fois en 1890 (332). MERINO, TEODORO et OTANES (646), en 1925, pensent qu'*H. vastatrix*, introduit depuis plusieurs années aux Philippines, cause de sérieux dégâts. Ils proposent une organisation du service de quarantaine.

MUNRO (674), en 1925, indique de graves dégâts d'*H. vastatrix* pendant la mousson, mais aussi en saison sèche.

TEODORO et GOMEZ (905), en 1926, signalent la présence d'*H. vastatrix* sur les feuilles de caféiers aux Philippines.

DAVID (330), en 1928, indique l'introduction, de 1910 à 1916, de différentes variétés supposées résistantes de *C. arabica*, *liberica* et *robusta* de Java et d'ailleurs, et signale que ces variétés se sont révélées sensibles à la rouille aux altitudes de 450-800 m. Les arbres ombragés étaient plus vigoureux et moins sensibles que les arbres exposés.

OCFEMIA (695), en 1954, indique que les *C. arabica* de la région de Guinobatan (Abay) sont fortement attaqués par la rouille.

ORILLO et VALDEZ (702), en 1961, indiquent que dans la station de Los Baños Laguna, des graines de *Coffea* spp. et des variétés de la collection mondiale (U. S. D. A.-Beltsville) et d'autres régions étaient plantées et expérimentées pour leur résistance à l'*H. vastatrix*, au laboratoire et en champs. Les auteurs donnent les résultats obtenus après les inoculations artificielles.

Les mêmes auteurs (703), en 1963, indiquent que 240 sélections de caféiers, la plupart de *C. arabica*, introduites aux Philippines depuis 1954, et quelques variétés locales expérimentées à la station de Baños Laguna, montrèrent que toutes les variétés de l'Amérique centrale et locales de *C. arabica* étaient très sensibles à l'*H. vastatrix*, tandis que huit variétés africaines et quatre variétés indiennes étaient très résistantes.

Océanie

Aux Iles Fidji

L'*H. vastatrix* fut observé pour la première fois en 1878. Puis CAMPBELL (247), en 1925, signale à nouveau sa présence dans les plantations de *C. arabica*.

En Nouvelle Guinée

HARRISON (466), en 1966, indique qu'*H. vastatrix* est à nouveau signalé dans le Sud-Est asiatique et dans la région du Pacifique, près de Port-Moresby, Papouasie et Nouvelle-Guinée, en 1965, où le caféier est cultivé en petites parcelles, et qu'il avait apparemment disparu après la destruction de tous les plants de caféier de la région.

SHAW (828), en 1968, d'après les rapports sur la manifestation de la maladie en 1892 et 1903 et les plantations de caféiers de 1903 à 1965, fait l'historique de la maladie ; le rapport de 1965 décrit l'étendue et l'incidence de la rouille,

les détails de sa disparition et l'identification de l'espèce de la rouille après la disparition des exploitations agricoles.

En Nouvelle Calédonie

L'*H. vastatrix* a été observé pour la première fois en 1911 par BLANDEAU (165). RISBEC (783), en 1936, le considère comme le parasite le plus grave du caféier qui s'étend rapidement depuis son apparition en 1911.

BUGNICOURT, COHIC et DADANT (213), dans le catalogue publié sur les parasites animaux et végétaux, signalent, entre autres, la présence d'*H. vastatrix* parasité par *Verticillium hemileiae*.

DADANT (326), en 1954, indique qu'*H. vastatrix* est présent sur *C. arabica* et *C. robusta* ; il préconise l'augmentation de l'ombrage dans les plantations pour diminuer l'importance des attaques. La même année, l'auteur (326) mentionne que, dans d'autres pays, il fut la cause de dégâts considérables.

Au Brésil

VIZIOLI (1003), en 1922, fait la bibliographie d'*H. vastatrix*, inconnu au Brésil, et propose des mesures par l'interdiction de l'importation des plants et graines de *Coffea*, *Gardenia* et *Vangueria*, sauf pour des buts scientifiques.

AVERNA SACCA (127), en 1925, considère que la rouille est inexistante dans les plantations du Brésil.

En 1970, *H. vastatrix* a fait son apparition dans les plantations de *C. arabica* dans l'Etat de Bahia où plusieurs plantations atteintes ont été incinérées. La maladie, malgré les précautions prises, risque de s'étendre dans les autres Etats de ce territoire et de réduire sensiblement la production du café.

Au Portugal

BRANQUINHO D'OLIVEIRA (697), en 1955, relate les travaux effectués sur la rouille du caféier ; il

décrit d'une façon détaillée la culture des divers types de rouille sur les caféiers, les techniques d'inoculation, la différenciation des races et biotypes d'*Hemileia*, ainsi que l'appréciation de types de réactions qui s'opèrent sur un caféier inoculé.

FARIA-ROSADO DIAS (388), en 1957, indique que les expériences entreprises au Portugal pour rechercher si la susceptibilité du caféier à l'*H. vastatrix* est associée à un caractère physiologique ou biochimique de l'hôte, n'ont pas permis de vérifier l'hypothèse de TASCHDJIAN selon laquelle il y aurait corrélation entre l'intensité de la transpiration chez le caféier et sa résistance.

D'OLIVEIRA (698), en 1957, indique que dans les territoires portugais d'outre-mer, on surveille l'apparition d'*H. vastatrix* et *coffeicola*. On les trouve tous les deux à São Tomé et Príncipe ; le premier au Mozambique et à Timor ; mais pas en Angola, ni aux Iles du Cap-Vert, ni en Guinée portugaise.

FARIA-ROSADO DIAS et CONTREIRAS (390), en 1958, indiquent que dans les conditions de l'expérience, la résistance des caféiers à la rouille n'avait pas de relation avec la turgescence des feuilles.

RODRIGUES (788), en 1960, fait une révision générale des travaux effectués à Oeiras, en différenciant les races physiologiques d'*H. vastatrix* des types de résistance trouvés chez l'hôte.

Le même auteur (789) établit un tableau sur la distribution géographique des onze races physiologiques d'*H. vastatrix* ; les seedlings de caféier dans la collection du centre d'Oeiras sont classés en dix groupes, chacun caractérisé par sa réaction au pathogène en rapport avec les dix clones différents allant de l'immunité totale à la sensibilité totale.

FERNIE (401), en 1961, indique que les résultats de l'examen du matériel végétal de la série N des sélections d'Arabica de Lyamungu (Tanzanie) montraient que cette série manifeste la réaction typique des Bourbon à l'*H. vastatrix*.

D'OLIVEIRA (700), en 1965, donne des détails sur l'*H. vastatrix* et les nouvelles races de caféiers, la distribution géographique de vingt et une races physiologiques d'*H. vastatrix*.

ORIGINE DU PARASITE

L'origine de l'*Hemileia vastatrix* des caféiers n'a jamais été exactement déterminée ; son apparition brusque et son extension rapide dans les continents asiatique et africain, en Océanie et à Madagascar, et tout d'abord à Ceylan, sont demeurées et demeurent encore aujourd'hui inexpliquées. De nombreux auteurs ont essayé de connaître son origine en relatant des observations faites et en émettant des hypothèses suivant certaines données, mais rien n'a prouvé jusqu'ici son origine exacte.

On admet généralement aujourd'hui qu'*H. vastatrix* est une maladie originaire du Centre et de l'Est africains. En effet, dans ces régions qui correspondent au centre d'origine de *Coffea arabica*, ainsi que le rapportent SADEBECK (805) en 1895, puis HENNINGS (476) en 1897, le champignon a été récolté à deux reprises sur *C. arabica* var. *Stuhlmannii* à l'état sauvage dans les parages du lac Victoria. Dans ce pays, le *C. arabica*, espèce la plus sensible à la rouille et sur laquelle les manifestations de la maladie deviennent davantage visibles, n'existe pas dans la flore spontanée ; malgré son introduction, il ne s'est pas répandu à l'état subsponané dans les régions de basses altitudes où le climat lui est défavorable et l'élimine naturellement.

D'après ROGER (791), en 1951, le fait qu'il n'ait pas été observé dans son pays d'origine, avant son apparition à Ceylan, serait précisément dû à l'absence ou plutôt à la rareté de l'hôte le plus sensible. L'*H. vastatrix* est aujourd'hui connu dans ces régions sur diverses espèces de *Coffea* cultivées et spontanées : *C. excelsa*, *C. robusta*, *C. myrtifolia*, *C. ibo*, etc... Ces caféiers, plus résistants que le *C. arabica*, manifestent sous l'effet du parasitisme des altérations infiniment moindres et plus localisées, pouvant donc aisément passer inaperçues.

DELACROIX (337), en 1901, essaie de son côté d'expliquer la raison pour laquelle la maladie est apparue brusquement à Ceylan en 1868 et s'est si rapidement répandue. D'après cet auteur, si les caféiers de Ceylan étaient déjà atteints avant cette

époque, il fallait que le champignon fût bien rare pour que personne ne l'eût encore aperçu.

WARD (1048), en 1882, pour expliquer l'invasion de Ceylan par la rouille, émit l'hypothèse que le parasite existait peut-être dans l'île sur un caféier indigène, le *Coffea travancorensis*, et qu'il est passé de là sur *C. arabica*. Cependant, en admettant cette explication, il semble anormal que l'invasion ait tant tardé à se manifester puisque *C. arabica* était cultivé dans le pays depuis fort longtemps, vers 1670, introduit par les Hollandais. WARD considère que l'extension énorme prise par la culture du caféier d'Arabie a offert à un moment donné un support si avantageusement approprié pour le parasite que ce dernier a pu se multiplier à l'aise et se développer très rapidement.

DELACROIX, à ce propos, dit notamment : « en effet, si en réalité les choses se sont ainsi passées, il est singulier que le fait ait tardé si longtemps et qu'on n'y ait pas rencontré le parasite plus tôt, car c'est en somme vers l'année 1670 que les Hollandais introduisirent à Ceylan la culture du caféier, mais il est vrai qu'il n'a pris de l'importance qu'après l'occupation définitive de l'île par les Anglais (1833) ; en 1866 déjà, l'exportation du café arrivait presque à la moitié (222.589 quintaux) du maximum qu'elle a atteint en 1870 ».

Notons enfin qu'une autre opinion a été émise par CRUWELL, dans HOOKER (504), sur la cause de l'apparition de la rouille à Ceylan. L'auteur avait trouvé au cours d'un voyage en République du Libéria des feuilles de *C. liberica* quelque peu décolorées et en avait conclu qu'à Ceylan on a dû importer l'*Hemileia* en même temps que ce nouveau caféier. Le *Liberica* n'a été introduit à Ceylan que peu de temps avant l'invasion de l'*Hemileia* ainsi qu'en témoigne une note d'ALEXANDER (7) relatant l'histoire de l'introduction du *Liberica* à Ceylan, depuis les premiers essais infructueux tentés en 1866 jusqu'à l'établissement des plantations qui furent faites sur une grande échelle dix ans plus tard et réussirent parfaitement. Mais

les feuilles de *Liberica*, récoltées par CRUWELL, furent envoyées à Kew pour identification de la maladie ; examinées par le mycologue BERKELEY, les résultats furent négatifs et le jaunissement des feuilles devait être attribué à d'autres causes qu'à l'*Hemileia*.

Notons que l'apparition brusque de l'*H. vastatrix* à Ceylan et son extension rapide dans d'autres pays et continents ne constituent pas une exception ; de nombreux exemples d'apparition brusque d'une épidémie et de son extension rapide sur une plante de grande culture sont fréquents et on peut en citer quelques uns, en particulier celui du *Puccinia malvacearum* qui, connu en 1869 en Espagne, a, au bout de quelques années, envahi toute l'Europe et atteint même l'Australie ; l'invasion de *Phytophthora infestans*, du *Plasmopara viticola*, le « black rot » de la vigne, constituent autant d'exemples.

DELACROIX (336) a essayé d'examiner le problème sous un autre angle ; il dit notamment qu'on n'a jusqu'ici décrit que trois espèces dans le genre *Hemileia* et qu'elles ne se rencontrent que sur des Rubiacées.

Ces trois espèces sont bien voisines les unes des autres et on peut être tenté, à l'exemple de MASSEE, d'attribuer à la seule influence du support les différences légères qu'on peut observer entre elles.

Les deux autres espèces du genre sont : *Hemileia canthii* et *H. woodi*.

L'*Hemileia canthii* Berk et Br. décrit dans « A fungi of Ceylan » n° 833, par BERKELEY, attaque à Ceylan et aux Indes une plante sauvage qui est commune : le *Canthium campanulatum*. Il diffère à peine d'*Hemileia vastatrix*.

Quant à l'*Hemileia woodi*, il a été trouvé vers 1880 au Natal par WOOD sur *Vangueria infausta* et décrit par KALCHBRENNER et COOKE (*Grevillea* IX, p. 22). En 1894, VOLKENS le retrouvait dans la région du Kilimandjaro sur un autre *Vangueria*, à fruits comestibles, le *Vangueria edulis*. Peu de temps après (1895), PERROT rencontrait la même espèce sur un caféier sauvage, le *Coffea ibo* Frachner, près de Lindi, en Afrique orientale ex-allemande. L'*H. woodi* forme sur la face supérieure des feuilles des taches brunes, arrondies, devenant de petites pustules rouge orangé pulvérolentes, pâlisant bientôt et blanchissant en vieillissant. Elles sont formées d'urédospores nombreuses, irrégulièrement arrondies, plus ou moins concaves d'un côté, de couleur jaune d'or, hérissées de petites pointes, surtout sur la face concave, et pédicellées. On y voit bien certains organes spéciaux, des paraphyses lisses, aplaties, hyalines, mais de tels organes se voient sur les taches jaunes, surtout de l'*H. vastatrix*, où ABBAY (1) les a constatés le premier. Enfin dans les deux espèces, la dimension des urédospores est à peu près la même,

de 30-35 μ . MASSEE (573), en 1899, déclare même qu'à son avis, il serait presque certain qu'à l'occasion *H. woodi* envahirait le caféier, et il ajoute que ce serait vouloir aller au devant d'un désastre que de planter des caféiers dans le voisinage de *Vangueria*. L'auteur considère que ces quelques considérations ne donnent pas à préjuger d'une façon certaine de l'origine réelle d'*H. vastatrix* et de la cause de son extension subite sur les caféiers, puisque les documents sur ce sujet sont insuffisants. Ce même auteur pense qu'il serait intéressant de tenter l'infection des caféiers d'Arabie et *Liberica*, surtout, avec chacun des deux *Hemileia canthii* et *woodi*, et l'infection de *Canthium* et *Vangueria* avec l'*H. vastatrix*. Si, en cas de réussite et au bout de quelques passages sur les plantes hôtes, on assistait à l'évolution de l'un quelconque des parasites vers un autre des trois types décrits de l'*Hemileia*, on pourrait affirmer l'identité de deux ou même des trois espèces. Dès lors, la solution de ce problème éclairerait d'un grand jour la question de l'origine de la maladie sur les caféiers.

On peut cependant faire remarquer que, malgré la concordance des centres d'origine du caféier et de son parasite, il n'est pas impossible, comme le suppose DELACROIX, que l'*H. vastatrix* ait été initialement hébergé par des Rubiacées autres que les *Coffea*, puis qu'il se soit adapté aux caféiers cultivés. En effet, il faut tenir compte du fait que THOMAS (1924) a signalé la présence d'un *Hemileia* sur deux Rubiacées spontanées, *Vangueria spinosa* et *Randia uliginosa* dans les forêts (Coorg et Mysore) du sud des Indes. Il y a lieu d'ajouter cependant que cette espèce d'*Hemileia* n'a pu être transmise au caféier cultivé par les inoculations artificielles.

Ainsi, les inoculations croisées tentées entre l'*Hemileia* des *Coffea* et celles effectuées avec l'*Hemileia* des *Vangueria* donnaient des résultats positifs.

GYDE (450), en 1932, en Afrique du Sud, indique qu'*H. vastatrix* est parasite de nombreuses Rubiacées et que les inoculations artificielles croisées entre *Mangueria pygmaea* et *M. infausta* étaient positives, les autres négatives. Les mêmes résultats ont été obtenus par POLE-EVANS (726) en 1906-1907.

MC DONALD (639), en 1937, au Kenya, indique que les résultats des inoculations artificielles des caféiers sauvages (*C. eugenioides*) ont montré qu'ils ne présentent pratiquement aucun symptôme, même quand l'infection s'est installée.

Toutes les données et hypothèses que nous avons exposées dans ce chapitre ne permirent pas de démontrer l'origine exacte de l'*Hemileia vastatrix* et de son apparition pour la première fois à Ceylan en 1868, ni de déterminer l'hôte qui hébergeait cette espèce.

A notre avis, le lieu d'origine de l'*Hemileia vastatrix* doit être l'Afrique orientale et centrale, où il était hébergé par les *Coffea* spontanés ou subsponnés, et en particulier le *C. arabica*, et où il sévissait à l'état sporadique sans manifester aucune virulence, ce qui lui avait valu d'échapper aux observations des botanistes et mycologues.

Quant à l'apparition de la maladie pour la première fois à Ceylan en 1868, elle doit son origine à l'introduction de plantules de *C. arabica* de

l'Afrique orientale et centrale, portant le parasite aux premiers stades de son évolution, où aucun signe extérieur ne permet de le déceler, d'autant plus que la durée d'incubation varie de trois à cinq semaines suivant les conditions du milieu.

L'hypothèse de la transmission aux caféiers cultivés de la rouille hébergée par les Rubiacées sauvages paraît encore moins plausible du fait que les contaminations artificielles tentées jusqu'ici donnèrent des résultats négatifs.

CARACTÈRES MACROSCOPIQUES DE LA MALADIE

Hemileia vastatrix, depuis longtemps observé dans les pays chauds, détermine la maladie appelée communément « la rouille vraie » des différentes espèces de caféiers, cultivées et spontanées. On a également signalé le même cryptogame sur diverses Rubiacées et, en particulier, sur *Gardenia radicans* à Java, *Gardenia florida* au Japon, etc...

Parasite presque exclusivement foliaire, il s'attaque aux feuilles des caféiers avec une acuité plus ou moins grande suivant la sensibilité des espèces et variétés. Ses dégâts sont connus par les Anglais sous le nom de « Coffee leaf disease » ou « Coffee leaf rust » ou encore « red spot ».

Il se développe rarement sur les fruits où il a été observé pour la première fois par ZIMMERMANN (1106), en 1904, sur cerises de *Coffea liberica* ; les attaques fréquentes provoquaient à leur surface des taches d'un brun jaune couvertes d'une poussière rougeâtre. D'après ce même auteur, le mycélium pénètre les tissus et montre plusieurs suçoirs.

DELACROIX et MAUBLANC (340), en 1911, citent également les attaques sur cerises de *C. liberica* observées par ZIMMERMANN à Java en 1904.

MARCHAL, MANIL et VANDERWALLE (568), en 1937, indiquent que les attaques d'*H. vastatrix* ne se limitent pas exclusivement aux organes foliaires, mais peuvent s'étendre également aux baies et aux extrémités des rameaux.

BOURIQUET (196), en 1946, note de son côté que la rouille peut se développer sur les parties extrêmes de très jeunes rameaux ; l'attaque est moins intense sur les caféiers âgés de moins de trois ou quatre ans et se fait surtout au moment de la fructification.

DELACROIX (337), en 1901, mentionne à ce propos qu'on ne voit que très rarement les fructifications d'*H. vastatrix* sur les parties extrêmes des très jeunes rameaux. WARD (1047) pense d'ailleurs que cette action sur les rameaux est en général produite par des champignons étrangers à l'*Hemileia*.

ROGER (791), en 1951, indique que l'attaque des rameaux constitue un faciès plus rare et qu'elle n'a lieu que sur les extrémités encore vertes et tendres ; sur les fruits, la rouille paraît exceptionnelle.

Des attaques d'*H. vastatrix* sur cerises de *C. ara-*

bica ont été observées également pour la première fois au Kenya (361) en 1921.

CHEVAUGEON (268), en 1956, indique qu'en Côte d'Ivoire, il n'a jamais observé d'attaques de rouille sur les fruits et extrémités des rameaux.

En Afrique équatoriale et, en particulier, en République Centrafricaine, la rouille a uniquement été observée sur les feuilles, sur toutes les espèces cultivées dans ce territoire.

Nous donnons ci-dessous la description des symptômes de la maladie sur les feuilles de *Coffea robusta* et *C. excelsa* qui sont légèrement différents.

Symptômes sur feuilles de *Coffea robusta**

Durant les premiers stades de l'infection des feuilles par le parasite, dont la durée d'incubation varie de deux à cinq semaines suivant les conditions climatiques, l'âge des feuilles et surtout la sensibilité de l'espèce, des lignées et des clones, aucun signe extérieur ne permet de déceler la présence du champignon dans les tissus foliaires.

C'est en se basant sur ce fait que SADEBECK (805), en 1895, croyait trouver une cause plausible de la dispersion de la maladie, lorsqu'on a importé dans les régions encore indemnes de jeunes pieds de caféiers très récemment infectés et ne montrant encore extérieurement aucune trace de la maladie.

Les premiers symptômes d'infection des feuilles par le parasite se manifestent extérieurement par l'apparition sur le limbe de toutes petites taches arrondies, jaunâtres, isolées, au nombre variable suivant l'intensité des attaques, de dimensions ne dépassant pas 1 à 1,5 mm de diamètre, visibles au début sur la face inférieure par transparence, donnant l'aspect de taches d'huile. Cette décoloration provient d'un commencement d'altération des chloroplastes des cellules du parenchyme lacuneux, non encore tuées par le mycélium du champignon, tandis que sur la face supérieure du limbe on n'observe encore aucune altération ni

* Voir fig. 1-A , 1-B (planches I et II) et 1-C p. 24

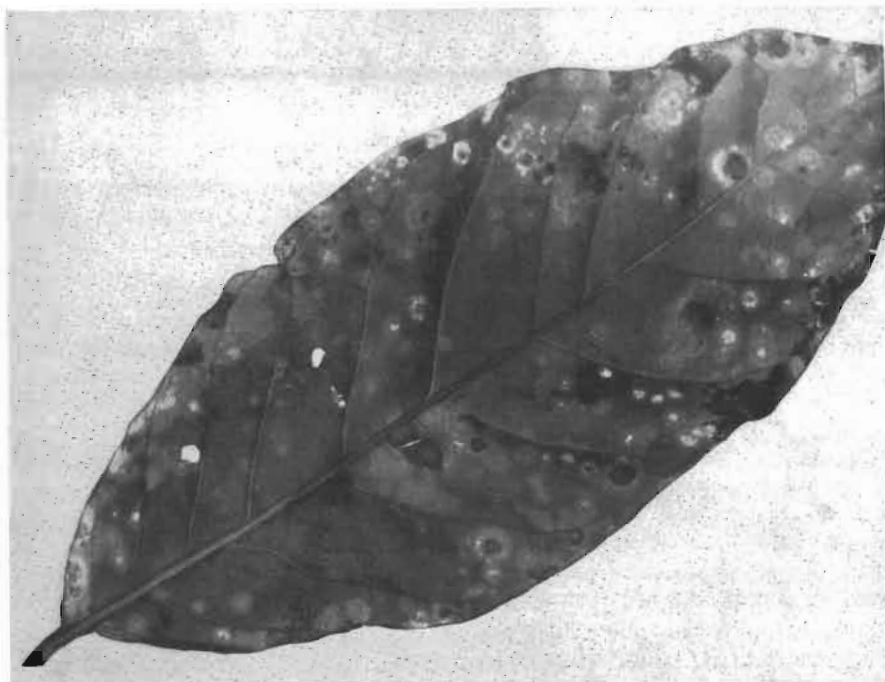


Fig. 1. — C : Feuille de *Coffea robusta* montrant à la face inférieure la présence de nombreuses taches urédosporées d'*Hemileia vastatrix*

(Cl. Boulard)

décoloration visible, ce qui montre qu'à ce stade le tissu palissadique n'est pas encore affecté par le mycélium du parasite.

Les taches à la face inférieure grandissent progressivement et, lorsqu'elles restent isolées, sont généralement arrondies pouvant atteindre 0,5 à 3 mm de diamètre. La coloration jaune s'accroît à la face inférieure en même temps que la tache s'y agrandit progressivement et se couvre d'une poussière pulvérulente d'un jaune assez clair au début, qui progressivement passe à l'orange ou au rouge vif et s'attache aux doigts quand on touche la partie envahie de la feuille. A ce moment, le parasite a produit au dehors ses premières spores qui impriment leur couleur à la tache. A la face supérieure du limbe, on observe, à ce stade, des taches jaunâtres entourées d'un halo vert jaunâtre, de mêmes dimensions et formes que les taches de la face inférieure.

La forme des taches est généralement plus ou moins arrondie, parfois une nervure principale ou secondaire ; moins facilement pénétrable par les hyphes du champignon, limite la tache sur un côté où elle prend un contour irrégulier ou polygonal. Dans le cas de fortes attaques, il peut arriver que deux ou plusieurs taches rapprochées peuvent, en s'agrandissant, devenir confluentes et la nouvelle tache qui se forme, à contour plus ou moins irrégulier, devient très grande, atteignant 2 à 3 cm

de diamètre ou plus. Dans le cas de très fortes attaques, les nombreuses taches urédosporées peuvent en s'agrandissant occuper presque toute la face inférieure du limbe, qui est couvert de poussière orangée ou rouge vif, constituée d'innombrables urédospores.

La partie centrale de ces taches, d'abord de coloration jaune, brunit progressivement, se nécrose et cette nécrose devient visible à la face supérieure du limbe, ce qui est la conséquence de l'altération profonde des tissus lacuneux et palissadiques envahis par les hyphes du champignon. Elles apparaissent presque toujours entourées d'une auréole de tissu plus ou moins jaune verdâtre, qui persiste assez longtemps puis prend peu à peu à partir du centre une coloration brunâtre plus ou moins marquée, qui progressivement s'agrandit au fur et à mesure que la nécrose des taches de la face inférieure s'élargit ; la partie du centre se décolore d'abord en prenant une coloration grisâtre et dans les taches déjà âgées, c'est la périphérie seule qui forme une couronne jaune orangé ou rouge qui constitue les fructifications du champignon et qui ne se développe que sur les tissus vivants. Cette couronne sporifère se déplace progressivement en élargissant le cercle au fur et à mesure de l'extension du diamètre de la tache nécrotique. Les urédospores, à l'état frais, de coloration jaune orange ou rouge vif, deviennent



Figure 1-A : Feuille de *Coffea robusta* grandeur nature portant à sa face inférieure des taches urédosporées aux différents stades de leur évolution



Figure 2-A : Feuille de *Coffea excelsa* portant à sa face inférieure de nombreuses taches urédosporées de coloration jaune clair



Figure 2-B : Face supérieure de la même feuille portant des taches jaune d'or correspondant aux taches urédosporées de la face inférieure (cl. BOULARD)



Figure 24-A : Taches urédosporées d'*Hemileia vastatrix* très parasitées par *Verticillium hemileiae* Bour. Fragment de feuille fortement grossi montrant les taches d'urédospores couvertes d'une poussière blanchâtre du *Verticillium hemileiae* et une couronne périphérique d'urédospores de couleur jaune d'or, non encore envahies

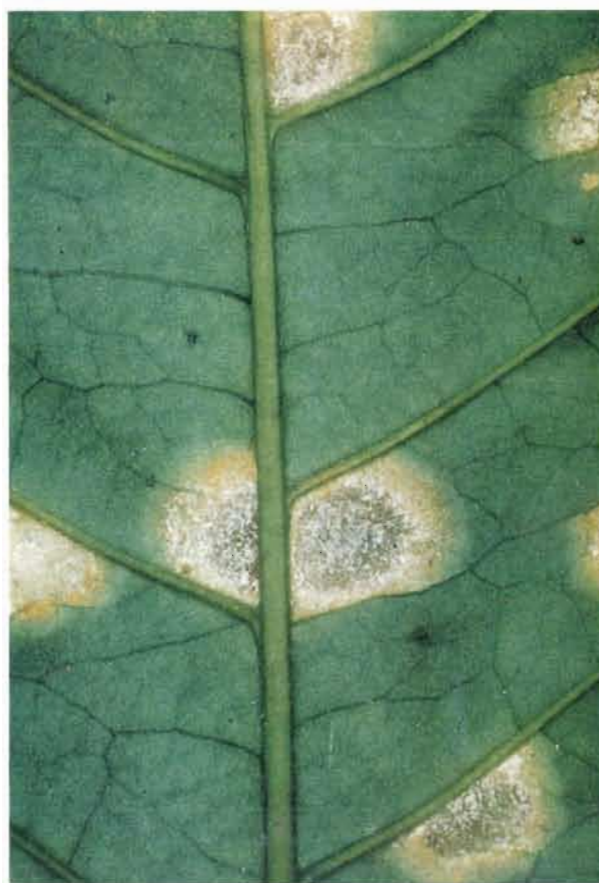


Figure 25-A : Taches urédosporées d'*Hemileia vastatrix* parasitées par *Cladosporium hemileiae*. Stey Fragment de feuille de *C. robusta* fortement grossi sur lequel on peut observer les taches urédosporées couvertes par le mycélium gris brunâtre du *Cladosporium hemileiae*



Figure 1-B : Portion de feuille de *Coffea robusta* fortement grossie montrant des taches urédosporées aux différents stades de leur évolution

rapidement jaune clair, soit sous l'action de la lumière, soit par dessiccation.

L'aspect des taches et des fructifications varie beaucoup avec les espèces de caféiers, selon leur résistance ou leur sensibilité et leur réaction à l'infection ; les types résistants ou tolérants, capables d'une réaction rapide, montrent des macules peu étendues, parfois zonées ; leur centre se dessèche rapidement et leur fructification peu abondante soit disparaît à la suite de la nécrose très rapide des tissus très sensibles, soit se déplace vers la périphérie sur la bordure non encore nécrosée suivant une zone annulaire très étroite. Les espèces et les variétés ou les clones très sensibles portent au contraire de très larges taches très peu ou non nécrosées, la fructification du parasite est alors très abondante et apparaît sur presque toute l'étendue, pouvant couvrir toute la face inférieure de la feuille.

La poussière jaune orange ou rouge vif des urédospores présente parfois des larves, qui, d'après certains auteurs, se voient nettement à la loupe ; elles sont longues de 1 à 1,5 mm, colorées en rouge comme les urédospores et aussi peu mobiles. Plusieurs auteurs le signalent : THWAITES (936) et BIDIE (161) aux Indes, DELALANDE (342) et BORDAGE à La Réunion. Pour ce dernier auteur, c'est une larve de *Cecidomyia* qui se nourrit des urédospores d'*Hemileia*. ANANTH et CHOKKANNA (10), en 1961, signalent sur les taches urédosporées d'*H. vastatrix* la présence de deux insectes, *Euphysothrips subramanii* et *Scirtothrips bispinosus*, qui se nourrissent d'urédospores et, d'après ces mêmes auteurs, participent à la dissémination de la maladie à de grandes distances. De telles larves n'ont jamais été observées sur les urédospores d'*Hemileia* en Afrique équatoriale.

Dans le cas de fortes attaques, les feuilles jaunissent, puis brunissent et tombent. Il ne reste, bien des fois, plus qu'un petit bouquet de feuilles à l'extrémité de chaque branchette. Les feuilles tombées peuvent être remplacées par de nouvelles qui subissent le même sort, les branchettes dénudées se dessèchent et les fruits qu'elles portent se nourrissent mal et souvent noircissent et tombent prématurément ; les pertes de récolte peuvent être très importantes et, dans le cas de fortes attaques répétées, les arbres deviennent stériles et parfois au bout de quelques années meurent d'épuisement.

Les symptômes que nous venons de décrire sur *Coffea robusta* sont morphologiquement identiques sur les feuilles de *C. canephora* var. de la Nana et *Coffea arabica*, où l'on trouve des spores de coloration jaune orange et sur d'autres des spores de coloration rouge vif. Par contre, sur *C. deuvevrei* var. *excelsa*, les symptômes sont un peu différents ; nous en donnons la description ci-après.

Symptômes sur feuilles de *Coffea excelsa**

Cette espèce est originaire d'Afrique Centrafricaine où on la trouve à l'état spontané dans les galeries forestières xérophiles des régions situées entre les 4^e et 7^e degrés de latitude Nord de ce pays soumis à un climat guinéo-soudanais. Cette espèce, introduite en Extrême-Orient, est cultivée depuis longtemps sous le nom de « caféier de Chari » et a été signalée par plusieurs auteurs comme étant une espèce très sensible aux attaques d'*H. vastatrix*.

En République Centrafricaine, où ce caféier constitue des populations très hétérogènes, sa sensibilité à l'égard d'*H. vastatrix* est variable suivant les formes et les individus ; on trouve des formes très sensibles à la rouille avec des défeuillaisons massives et d'autres moins ou peu sensibles, mais jusqu'ici nous n'avons pas observé de formes immunes.

D'une façon générale, l'Excelsa est moins fréquemment attaqué que le Robusta et la maladie ne s'observe que dans les plantations établies dans les bas-fonds où l'humidité est plus élevée et les rosées matinales les plus fréquentes durant la saison sèche. Dans les régions forestières, où il est peu cultivé, la maladie est plus fréquente et persiste toute l'année.

Comme les feuilles de *Coffea robusta*, les feuilles de *Coffea excelsa*, durant les premiers stades de leur infection, correspondant à la période d'incubation du parasite, ne montrent aucun signe extérieur permettant de déceler la présence du parasite dans les tissus des feuilles. Quelques jours après, environ dix-sept à vingt-quatre jours, suivant la sensibilité des sujets, les premiers symptômes apparaissent sous forme de petites taches jaunâtres à peine visibles à l'œil nu, aussi bien sur la face inférieure que sur la face supérieure du limbe, mais sur cette dernière face les taches sont moins visibles et de coloration jaune verdâtre. Ces taches, en nombre variable et irrégulièrement réparties, sont arrondies et ne dépassent pas 0,5 à 1 mm de diamètre. De coloration jaune clair, elles évoluent rapidement, tout en demeurant arrondies, et au bout de quelques jours atteignent 2 à 4 mm de diamètre ; les taches de la face supérieure, de coloration jaunâtre et de mêmes formes et dimensions que les taches de la face inférieure, deviennent plus visibles ; sur la face inférieure, les taches évoluent rapidement atteignant 1 à 1,5 cm, parfois 2 cm, et leur surface se couvre d'une poussière pulvérulente jaune clair, qui correspond

* Voir fig. 2-A, 2-B (planche I) et 2-C p. 26

à la première formation des urédospores. Ces taches urédosporées sont toujours entourées d'un large halo de coloration plus claire (fig. 2-A). A la face supérieure, les taches de mêmes diamètres que celles de la face inférieure sont de couleur jaune vif, entourées d'un halo jaune verdâtre très diffus (fig. 2-B). L'évolution des taches est rapide, surtout durant la saison pluvieuse, et au bout de quinze jours, leur taille peut atteindre 2 à 5 cm de diamètre, tandis que sur la face supérieure, les taches prennent une coloration jaune d'or bien caractéristique. Les taches isolées sont généralement arrondies, quelle que soit leur dimension ; parfois, une nervure principale ou secondaire, moins facilement pénétrable par les hyphes du champignon, limite la tache sur un côté, la rendant semi-circulaire ou à contour irrégulier.

Quand les taches sont nombreuses et rapprochées, elles deviennent confluentes et peuvent atteindre de grandes dimensions couvrant une grande partie de la surface du limbe qui est couvert de poussière pulvérulente jaune orange ou jaune clair, tandis que sur la face supérieure les taches de mêmes dimensions et formes conservent leur coloration jaune d'or. Sur les taches âgées, il y a rarement formation de taches nécrotiques, sauf dans les cas de très fortes attaques et sur les feuilles de variétés très sensibles. En outre, sur *Excelsa*, les urédospores sont le plus souvent de coloration jaune orange ou jaune pâle sur les taches âgées et on trouve rarement des urédospores de coloration rouge vif, comme il s'en produit sur les feuilles de *C. robusta*.

Ainsi les feuilles fortement attaquées se détachent et tombent, les rameaux se dénudent ou

conservent quelques feuilles à leur extrémité, qui à leur tour sont attaquées et tombent ; les rameaux ainsi dénudés se dessèchent et les fruits qu'ils portent quand ils sont jeunes noircissent et tombent.

Sur les arbres moins sensibles, les taches urédosporées sont peu nombreuses et de dimensions plus réduites ne dépassant pas 1 cm de diamètre ; sur la face supérieure du limbe, il y a apparition de taches jaune d'or, mais, dans tous les cas, il n'y a que très rarement formation de taches nécrotiques.

Il existe ainsi une différence marquée dans les symptômes externes de la maladie sur les feuilles de *C. robusta* et sur celles de *C. excelsa*.

Sur les feuilles de *C. robusta*, les premières taches à peine formées sont visibles uniquement sur la face inférieure et la formation de taches jaunâtres sur la face supérieure n'est visible qu'à un stade avancé et au moment de la formation des premières urédospores. En outre, sur les taches âgées, il y a presque toujours une tache nécrotique qui se forme au centre, intéressant toute l'épaisseur du tissu foliaire, qui, en agrandissant la tache urédosporée, forme une couronne périphérique sur le tissu encore vivant. Les taches nécrotiques sur les feuilles des sujets peuvent atteindre de grandes dimensions provoquant la chute des feuilles. Enfin, sur les feuilles de *C. robusta*, les taches urédosporées sont le plus souvent de couleur rouge vif et moins souvent de couleur jaune orange.

Sur les feuilles de *C. excelsa*, les premières taches à peine formées sont visibles sur les deux faces des feuilles.

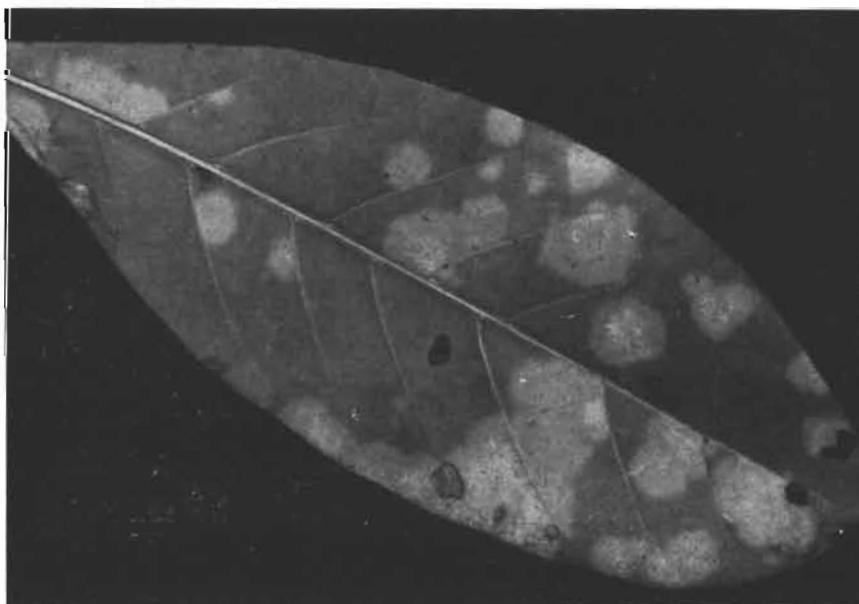


Fig. 2. — C : Feuille de *Coffea excelsa* montrant les grandes taches urédosporées d'*Hemileia vastatrix*

(Cl. Boulard)

Les taches urédosporées sont plus grandes, de forme arrondie et de coloration jaune clair ou jaune d'or, rarement de couleur rouge vif. La face supérieure du limbe présente toujours des taches jaunâtres qui devenues âgées prennent une coloration jaune d'or, sans qu'il y ait formation de taches nécrotiques, ou très rarement.

La chute des feuilles se produit dans le cas de fortes attaques des sujets très sensibles, lorsque la totalité ou les trois quarts de la surface du limbe est couverte de taches jaune d'or. Sur les sujets peu sensibles, les taches sont peu nombreuses et de petites dimensions, entourées d'un halo à la face inférieure, de coloration jaune pâle, et sur la face supérieure d'un halo jaune clair. Les taches de petites dimensions restent toujours arrondies et leur présence ne provoque pas la chute des feuilles.

Les symptômes externes de la maladie sur les feuilles de caféiers ont été décrits par plusieurs auteurs parmi lesquels nous citerons : DELACROIX et MAUBLANC (340), en 1911 ; BOURIQUET (196) ; VIENNOT-BOURGIN (1000), en 1949 ; ROGER (791), en 1951 ; MEIFFREN (643), en 1955 ; CHEVAUGEON (268), en 1956 ; RAZAFINDRAMAMBA (766), en 1958, etc... La description donnée par tous ces auteurs sur les feuilles de *Coffea arabica* et *C. robusta* est à peu près identique et nous ne donnerons ici que celle faite par DELACROIX et MAUBLANC :

D'après ces auteurs, le premier symptôme d'infection de la feuille est fourni par l'apparition d'une petite tache jaunâtre de dimension fort réduite, de 1 à 2 mm au plus au début. Cette décoloration très localisée ne se montre à cette période qu'à la face inférieure ; elle paraît plus évidente, translucide en quelque sorte, et comme une petite tache d'huile, si on prend soin de regarder la feuille par transparence, en l'interposant entre l'œil et la lumière. Cette première apparence est due, d'après ces auteurs, à la modification que le mycélium du parasite imprime au contenu cellulaire encore vivant à cette période, à la chlorophylle en particulier. Quant à la face supérieure de la feuille, elle n'est pas encore sensiblement modifiée dans sa couleur. La coloration s'accroît sur la face inférieure en même temps que la tache y grandit progressivement ; puis, lorsque cette tache a atteint environ 3 mm, elle se couvre d'un

enduit pulvérulent, d'un jaune assez clair d'abord, qui passe à un orange vif et s'attache aux doigts quand on touche la partie envahie de la feuille. A ce moment, le parasite a produit au dehors ses premières spores qui impriment leur couleur à la tache. La dimension de cette dernière augmente encore et, couverte de sa poussière orangée, on peut la voir arriver à un diamètre d'un centimètre et demi.

La face supérieure reste dépourvue de la matière rouge, car les spores ne s'y produisent pas ; elle prend peu à peu, à partir du centre, une couleur livide ou brunâtre plus ou moins marquée. La face inférieure de la tache, elle aussi, se modifie ; le milieu se décolore d'abord en prenant un ton grisâtre indécis et, dans les taches déjà un peu âgées, c'est la périphérie seule qui forme une couronne jaune orangé. La forme des taches est, en général, arrondie ; parfois une nervure moins facilement pénétrable aux filaments du champignon limite la tache sur le côté et elle acquiert un contour plus ou moins polygonal. Il peut arriver aussi que deux ou plusieurs taches voisines deviennent confluentes, alors la tache générale qui en résulte prend de plus grandes dimensions et son contour est plus ou moins irrégulier. L'auteur signale aussi quelquefois sur les urédospores la présence de petites larves qu'on voit très nettement à la loupe, longues d'un millimètre à un millimètre et demi, colorées en rouge comme la surface qui les porte et assez peu mobiles. Cette larve a été observée par plusieurs auteurs aux Indes et à La Réunion. L'auteur pense qu'elle peut être différente du *Cecidomya uredinicola* qui n'est pas rare sur beaucoup d'urédinées, surtout des formes urédosporées, en Europe. L'auteur poursuit en disant que de toutes façons, bien que cette larve se nourrisse des spores du champignon parasite, le développement de ce dernier ne semble guère affecté.

Dans l'intervalle des taches, le plus souvent la couleur verte se maintient sur les feuilles ; mais si ces taches sont nombreuses et confluentes, la feuille brunit et ne tarde pas à se dessécher. Assez souvent aussi, sur les feuilles mourantes, la portion du limbe qui entoure la tache d'*Hemileia* conserve assez longtemps une coloration vert pâle bien visible, mais cette marge elle-même jaunît à la fin et la feuille meurt définitivement.

CARACTÈRES MICROSCOPIQUES DU CHAMPIGNON SUR LA PLANTE-HÔTE

Nous donnons ci-dessous la description des caractères microscopiques d'*Hemileia vastatrix*, tels que nous les avons observés sur les feuilles des *Coffea robusta*, *arabica* et *excelsa* atteintes par le parasite.

Mycélium (fig. 3, 4 et 5)

Les coupes transversales pratiquées sur feuilles atteintes au niveau des taches jaunâtres au début de leur évolution mettent en évidence la présence du mycélium dans le tissu lacuneux. Ce mycélium est constitué par le développement du filament germinatif de l'urédospore qui a franchi l'ouverture stomatique. Dans la chambre sous-stomatique, proliférant rapidement, il se ramifie abondamment et envoie des hyphes circulant entre les cellules du tissu lacuneux, situées au voisinage des stomates, en dissociant la membrane mitoyenne. A l'état jeune, il est grêle, formant des filaments hyalins, incolores, ramifiés, très peu cloisonnés transversalement, contenant du protoplasme granuleux et souvent de nombreux globules orangés dont le diamètre ne dépasse pas 2-3 μ . Mais dès que les taches jaunâtres urédosporées sont plus développées sur les feuilles et atteignent 1 à 3 mm de diamètre, les coupes transversales mettent en évidence l'étendue en profondeur et en largeur du mycélium dans le tissu lacuneux envahi dans toute son épaisseur, où il est principalement localisé. Toujours intercellulaire, il envoie à l'intérieur des cellules parfois un à deux suçoirs sphériques, ovales à réniformes et quelquefois à contour irrégulier, en perçant leur membrane au moyen d'un pédicelle

filiforme qui relie le mycélium aux suçoirs dont les dimensions varient de 5 à 7 \times 4 à 5 μ . Leur contenu protoplasmique est dense, très réfringent et fortement chromophilé. Le mycélium en vieillissant devient très ramifié, cloisonné, de forme et de contour irrégulier, pouvant atteindre 5 à 7 μ de diamètre suivant la place qu'il occupe.

Sur les taches urédosporées atteignant 1 à 3 cm de diamètre, où le champignon produit des urédospores en abondance au niveau des stomates, les coupes anatomiques montrent que le mycélium a envahi non seulement toute l'épaisseur du parenchyme lacuneux, mais également une partie du tissu palissadique, s'insinuant entre les cellules allongées à travers la membrane mitoyenne. Il forme un réseau dense d'hyphes très ramifiées et cloisonnées envoyant de nombreux suçoirs dans les cellules où ils provoquent des altérations profondes. Il envahit les méats et les chambres sous-stomatiques où il se condense en formant des amas pelotonnés d'hyphes très serrées.

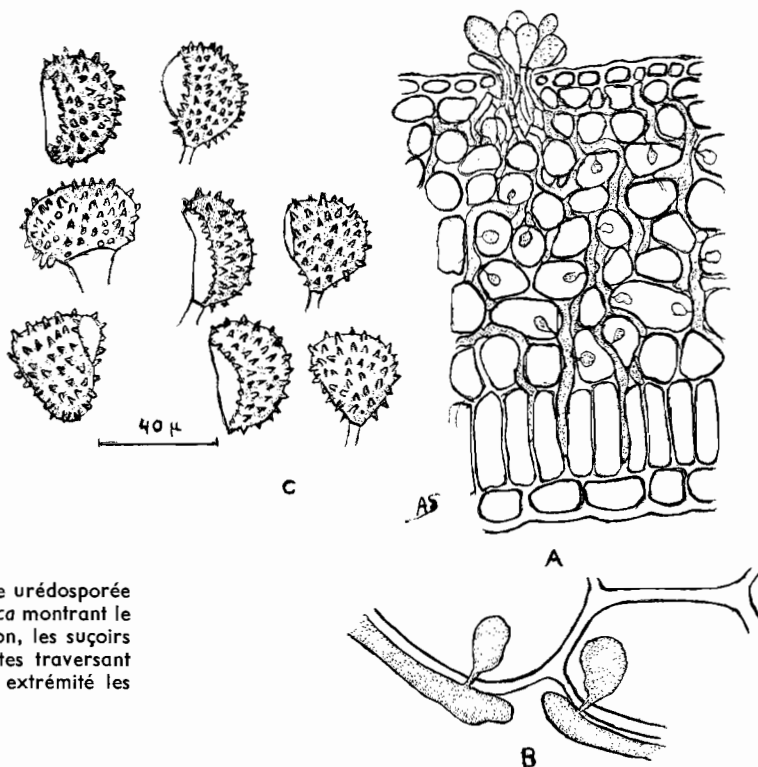


Fig. 3.

A : Coupe transversale au niveau d'une tache urédosporée d'*H. vastatrix* sur feuille de *Coffea arabica* montrant le mycélium intercellulaire du champignon, les suçoirs intracellulaires ainsi que les stérigmates traversant l'orifice stomatique et portant à leur extrémité les urédospores

B : Suçoirs intracellulaires fortement grossis

C : Urédospores

L'expansion du mycélium dans les tissus foliaires est variable suivant les espèces et surtout suivant le degré de leur sensibilité. Sur les espèces et variétés peu sensibles, le mycélium est en général localisé dans le tissu lacuneux et son extension dans les tissus est assez limitée; par contre, sur les sujets très sensibles des différentes espèces et fortement atteints, le mycélium envahit toute l'épaisseur du tissu lacuneux, puis il remonte sur le tissu en palissade ou s'insinue entre les cellules allongées, envoyant dans leur protoplasme de nombreux suçoirs.

Sur feuilles de *Coffea excelsa* atteintes par la rouille, quel que soit leur degré de sensibilité, les coupes anatomiques montrent que le mycélium envahit toujours les tissus lacuneux et palissadique jusqu'au niveau des cellules épidermiques en s'insinuant entre les cellules par clivage dans le tissu. Le réseau mycélien très dense s'étend sur de grandes surfaces et en envahissant les méats du tissu lacuneux il y forme de véritables masses pelotonnées très denses, qu'on observe sur les autres espèces de *Coffea* fortement attaquées. Le mycélium dans les tissus de *C. excelsa*, très vigoureux, à contour irrégulier suivant sa position, est très cloisonné et ramifié, réfringent, toujours intercellulaire; le nombre de suçoirs que l'on trouve dans les cellules est plus grand, et son diamètre de plus de 6 à 7 μ .

L'invasion, par le mycélium, des tissus lacuneux et palissadique, explique la coloration jaune d'or des taches étendues qu'on observe sur la face supérieure des feuilles de *Coffea excelsa* atteintes par la rouille.

Les filaments mycéliens se rassemblent en masses très denses dans les chambres sous-stomatiques et envoient par les stomates de nombreux stérigmates en bouquets à l'extérieur, et à l'extrémité desquels se forment les urédospores. Le nombre de stérigmates envoyés par le mycélium à travers l'orifice stomatique varie de 10 à 40 suivant les espèces de caféiers, plus nombreux sur *Coffea excelsa* que sur *C. robusta*, mesurant 25 à 60 μ de long sur 2 à 3 μ de large. Ils sont légèrement enflés à leurs extrémités sur lesquelles se forment les urédospores qui, au début à membrane lisse, se séparent à leur base par une cloison transversale.

La première manifestation du parasitisme se produit lors de la pénétration du champignon dans les cellules et de la formation des suçoirs, qui provoquent des altérations progressives du protoplasme des cellules vivantes dont les chloroplastes peu à peu jaunissent; cette altération se traduit par l'apparition sur la face inférieure du limbe de petites taches jaunâtres à peine perceptibles à l'œil nu.

L'extension du mycélium, à travers le tissu

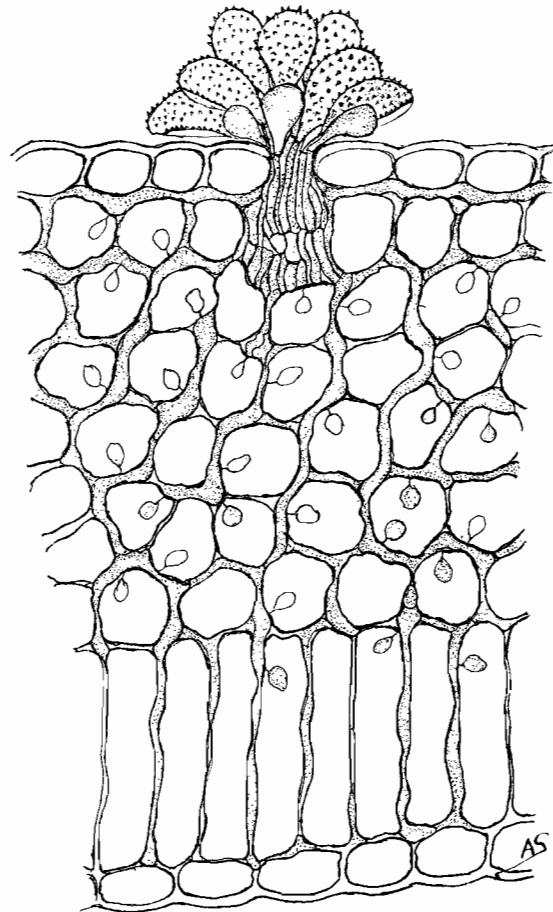


Fig. 4. — Coupe transversale au niveau d'une tache urédosporée sur *C. excelsa* montrant le mycélium intercellulaire ayant envahi toute l'épaisseur des tissus lacuneux et palissadique, les suçoirs intracellulaires, ainsi que le bouquet d'urédospores formées aux extrémités des stérigmates sortant de l'orifice stomatique

lacuneux et parfois le tissu palissadique, et l'envahissement des cellules par les suçoirs provoquent des altérations profondes de leur protoplasme, d'où s'ensuit la mort progressive des cellules qui prennent une coloration brunâtre. Au début, le protoplasme se contracte, se coagule en une masse d'abord faiblement colorée, qui prend ensuite une teinte brunâtre, et, dans les cas avancés, on trouve parfois des cellules dont le contenu a disparu et est remplacé d'abord par un liquide aqueux, puis par de l'air. Cette altération progressive et profonde des cellules des tissus lacuneux et palissadique se traduit par l'apparition, au début, de grandes taches jaunâtres urédosporées de 1 à 3 cm, puis par une nécrose de la partie centrale des tissus affectés. Mais cette nécrose des tissus ne se produit pas toujours. Sur les variétés peu sensibles où les urédosporés sont peu développés, les taches peu étendues restent jaunâtres et très localisées.

Par contre, sur les variétés résistantes, des nécroses des tissus, très localisées et peu étendues, se produisent dès le début de l'infection et le mycélium ne pouvant pas vivre sur les tissus altérés meurt et disparaît.

Les taches nécrotiques sont également très rares sur les feuilles de *C. excelsa*, même sur les individus très sensibles où les taches jaune d'or atteignent des dimensions très grandes ; par contre, elles sont très fréquentes sur celles des *Coffea robusta* et *arabica* fortement attaquées.

Le rôle des suçoirs cesse alors, car l'*H. vastatrix*, comme toutes les urédinées, étant un parasite dans toute l'acception du mot, ne se développe qu'aux dépens de la matière vivante ; le mycélium se déplace vers la périphérie de la tache, s'avancant de proche en proche dans les parties vivantes du parenchyme foliaire, ainsi que les fructifications du champignon qui forment une couronne autour de la tache nécrotique.

Urédospores (fig. 6)

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les filaments mycéliens se rassemblent en masses pelotonnées denses dans les chambres sous-stomatiques ; de là, ils envoient par l'ostiole du stomate de nombreux stérigmates, 10 à 25, parfois 30, longs de 20 à 50 μ sur 2 à 3 μ , qui s'épanouissent au dehors, en gerbes serrées, portant chacun à leur extrémité une urédospore. L'ensemble de ces fructifications, qui sortent uniquement par les stomates, constitue des bouquets de spores hémisphériques et très denses.

Les urédospores, au début de leur formation, apparaissent tout d'abord sous forme de petits renflements hyalins, sphériques à ovoïdes, à membrane lisse, qui s'allongent par la suite en devenant fortement arqués et séparés du stérigmate par une cloison transversale. L'urédospore, alors différenciée et séparée du stérigmate par la cloison, persiste jusqu'à la fin de son évolution. Rapidement, elles augmentent de volume ; à peu près arrondies au début, elles acquièrent une forme ovale, plus ou moins irrégulière, s'atténuant souvent un peu vers la base, au niveau de la cloison. A mesure que leur volume augmente, elles se compriment réciproquement, prenant des formes variables. Parfois, les extrémités des stérigmates, qui touchent les bords de l'ouverture stomatique et sont comprimés par elle, ne semblent pas évoluer par leur extrémité ; ils se modifient légèrement en s'arrondissant un peu par leur sommet sans prendre nettement le caractère des urédospores ; ce sont des urédospores avortées, arrêtées dans leur développement, comme l'a déjà défini MASSEE (573) en 1899, tandis que

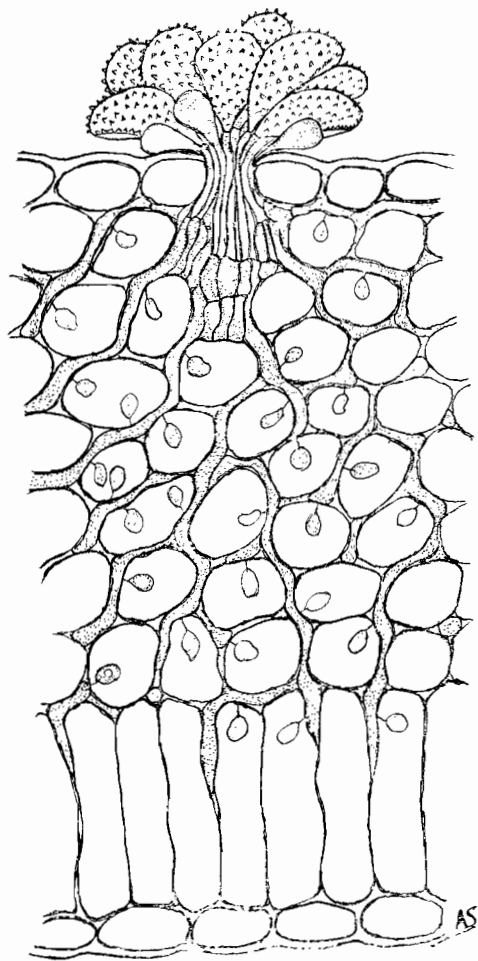


Fig. 5. — Coupe transversale au niveau d'une tache urédosporée sur feuille de *Coffea robusta* montrant le mycélium intercellulaire ayant envahi le tissu lacuneux et une partie du tissu palissadique, ainsi que le bouquet d'urédospores sortant d'un stomate

ABBAY (1) en 1878 les décrivait sous le nom de cystides.

Les urédospores, ayant acquis leurs formes et dimensions définitives, leur membrane s'épaissit tout en restant incolore ; elle est formée de deux couches : une externe, épaisse, l'autre interne, très mince, en contact direct avec le protoplasme.

Le contenu protoplasmique des jeunes urédospores est granuleux et présente de nombreuses vacuoles. Dans les urédospores plus mûres, le protoplasme contient de nombreuses granulations de couleur jaune d'or ou orangé, ainsi que de nombreuses gouttelettes huileuses, fortement colorées en jaune d'or ou orangé, qui sont les lipochromes. C'est à leur abondance qu'est due la teinte caractéristique des urédospores.

L'urédospore mûre, l'extrémité du stérigmate se gélifie, l'urédospore se détache du stérigmate

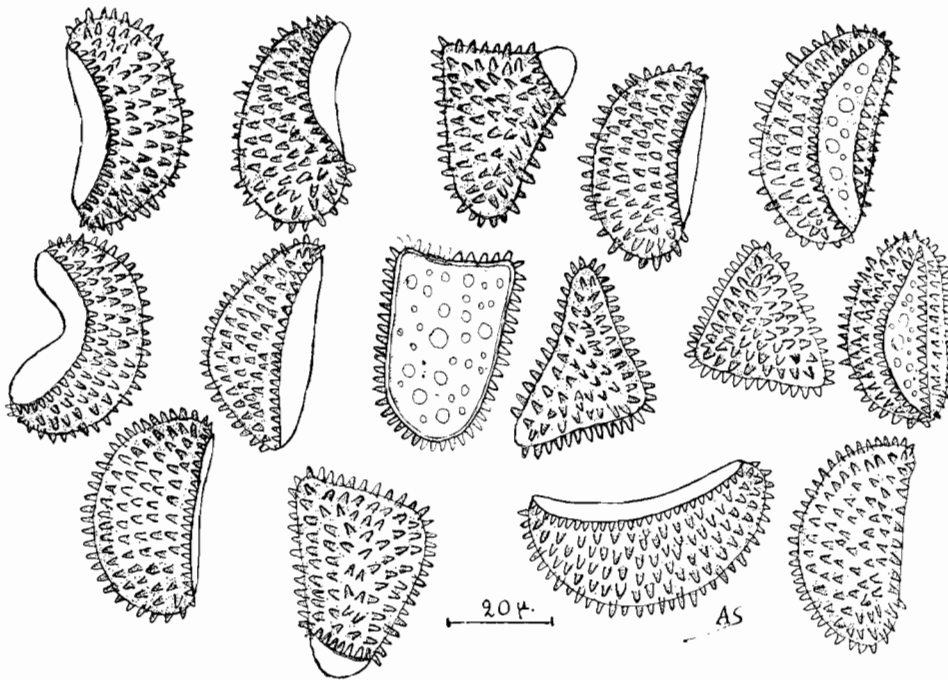


Fig. 6. — Différentes formes d'urédospores d'*Hemileia vastatrix* prélevées sur feuilles de *Coffea robusta*

et elle est capable de germer quand elle se trouve en présence de conditions d'humidité et de température favorables.

Les urédospores, toujours unicellulaires, sont percées de plusieurs pores germinatifs, généralement quatre à cinq, qui sont difficilement perceptibles à cause de nombreuses gouttelettes lipidiques jaune d'or qui les camouflent. Ils sont perceptibles, sur les vieilles urédospores vidées de leur contenu protoplasmique, et au microscope à fort grossissement avec objectif à immersion. Nous avons pu en observer trois à quatre, mais WARD (1048) en a compté jusqu'à cinq de même que ROGER (791), 1951, qui indique qu'elles portent un à cinq pores germinatifs.

Leur forme est très variable, dépendant beaucoup de la place qu'elles occupent dans les urédosores ; généralement très serrées les unes contre les autres, elles se déforment par compression mutuelle ; celles qui se trouvent au sommet du sore, et presque libres, sont tronc-pyramidales ou piriformes ; le plus souvent triangulaires, droites ou légèrement courbes, parfois réniformes ou en tranches d'orange sont celles qui se trouvent sur les parties périphériques des sores. Leurs faces latérales, en contact avec les spores voisines, restent lisses et planes, tandis que leurs parties libres sont convexes et ornées de petites verrucosités aiguës à tronquées droites, de 3-4 μ de long,

en grosse densité, mais irrégulièrement réparties ; la limite séparant les parties lisses et ornementées est marquée par une bande d'aiguillons, plus serrés et souvent contigus. Ainsi, dans l'ensemble d'un sore, les urédospores centrales qui sont en grande partie libres prennent souvent une forme tronc-pyramidale ou ovoïde, tandis que celles qui sont vers l'extérieur sont plutôt convexes ou réniformes. Parfois, on trouve des urédospores, et en particulier sur *C. excelsa*, portant des aiguillons peu nombreux et plus volumineux, rappelant ceux d'*Hemileia coffeicola*.

Les urédospores âgées, qui se détachent et tombent sur les taches, et y persistent sans germer, se décolorent peu à peu en vieillissant ; leur contenu protoplasmique coloré par les gouttelettes huileuses jaunes disparaît et elles deviennent hyalines, tout en conservant leur ornementation à leur surface après la disparition du contenu protoplasmique.

Les urédospores qui naissent aux extrémités des stérigmates sortent des stomates et se forment très rapidement, surtout quand les conditions climatiques sont favorables. Elles se détachent à mesure qu'elles mûrissent, et en même temps de nouvelles se forment à leur place. La production des urédospores pourrait ainsi durer sur une tache de dix à quinze semaines et même plus (1048). Le nombre d'urédospores produites est considérable.

WARD a pu en compter jusqu'à 150.000 sur une seule tache. Elles sont toujours plus nombreuses sur les jeunes feuilles que sur les âgées, à cause du foisonnement plus abondant et plus rapide du mycélium.

Dimensions

Leurs dimensions sont variables. Les mesures biométriques effectuées sur cent urédospores prélevées sur feuilles de *Coffea robusta*, *excelsa*, *arabica* et *C. canephora* var. de la Nana donnèrent les résultats ci-dessous indiqués :

Espèce	Dimensions extrêmes	Dimensions moyennes
<i>Coffea robusta</i>	23 -43,5 × 17,5-32 μ	35,75 × 21,22 μ
— <i>excelsa</i>	20,5-39 × 14,5-29 μ	31,5 × 22,7 μ
— <i>arabica</i>	23 -40,5 × 14,5-29 μ	30,25 × 22,5 μ
— <i>canephora</i> v.		
Nana	21,5-35,5 × 17,5-31 μ	30,55 × 22,0 μ

Les dimensions moyennes et extrêmes des mesures effectuées sur les urédospores prélevées sur les feuilles de quatre espèces de *Coffea* présentent très peu de différences pour permettre de distinguer les races ou les formes morphologiques ou physiologiques d'*Hemileia vastatrix* qui sévissent en République Centrafricaine. Plusieurs auteurs ont donné les dimensions des urédospores de cette rouille.

ROGER (791), 1951, donne des dimensions variables suivant les espèces 25-35 × 12-22 ou encore 30-35 × 28 μ.

Sur feuilles de *C. arabica* provenant de Madagascar, l'auteur donne comme dimensions 28-37 × 13-21 μ. Sur caféiers « Chari » au Tonkin : 33 × 21,4 μ (28,6-38,1 × 15-27,2) μ ; sur *C. arabica* du Centre Aname 31,1 × 20,1 μ (23,1-38,1 × 15-27,2) μ.

BOURIQUET (196), 1946, donne des dimensions comprises entre 27-35 × 12-22 μ ; VIENNOT-BOURGIN (1000) : 26-40 × 20-30 μ.

RAZAFINDRAMAMBA (766), 1958 : 25-30 ; CHEVAUGEON (268), en 1956 : 26,7 × 18,4 μ (20,5-32,3 × 10,2-23,5) μ.

Les dimensions données ci-dessus, varient très peu de celles que nous avons trouvées sur les feuilles des caféiers en République Centrafricaine.

GOPALKRISHNAN (441), en 1951, dans son étude sur la morphologie du genre *Hemileia*, se fonde sur le type de sores pour séparer les espèces. L'auteur décrit trois groupes :

— Le type « subépidermique » à couche hyméniale basale large, de diamètre supérieur à 100 μ et qui provoque la rupture de l'épiderme.

— Le type « superstomatique A » où le plexus s'établit en faisceaux bulbuformes à la base, émergeant par la voie stomatique sans rupture des tissus.

— Le type « superstomatique B » possédant un petit nombre d'hyphes à base renflée en bulbe et dont la partie libre, bien dégagée de l'ostiole, constitue les pédicelles des urédospores.

L'*Hemileia vastatrix* appartient ainsi au type superstomatique A.

ARJENDRAN et GEORGE (120), 1965, indiquent que l'*Uredium* dans l'*Hemileia vastatrix* sur caféier est superstomal, rarement subépidermique se développant dans les espaces intercellulaires du parenchyme spongieux (lacuneux).

Téleutospores ou téliosporés (fig. 7 et 8)

La production des téleutospores est plus rare que celle des urédospores et en général irrégulière ; leur formation se trouve souvent sous la dépendance de conditions climatiques. Généralement, elles se forment au centre des taches urédosporées âgées et, en principe, succèdent aux urédospores et naissent, comme les urédospores, groupées dans des sores qui sont semblables. On peut dire que la production des téleutospores est la dernière manifestation de l'activité du mycélium du champignon parasite et c'est sans doute pour cette raison qu'on le voit naître le plus souvent dans les portions centrales de la tache urédosporée. Dans cette région, en effet, les cellules de la feuille, complètement mortes ou profondément altérées, suivant les espèces, sont devenues incapables de nourrir le mycélium qui les a peu à peu épuisées. Avant de périr d'inanition, les cellules de l'hôte étant tuées ou très altérées, ce mycélium produit ses téleutospores.

Les téleutospores ont été observées très fréquemment en République Centrafricaine sur feuilles de *Coffea robusta* fortement attaquées au centre des taches ayant une coloration gris brunâtre et souvent mélangées avec des urédospores. En général, c'est au moment où les téleutospores sont formées que la tache urédosporée prend vers son milieu une teinte brun grisâtre qui est suivie par une coloration plus foncée presque brunâtre ; on rencontre sur la tache un nombre assez restreint de téleutospores orangées mêlées à de nombreuses urédospores anciennes et pour la plupart décolorées. Nous avons surtout observé la formation de téleutospores sur les taches urédosporées des caféiers Robusta et Arabica fortement attaqués, de novembre à fin janvier ; par contre, durant la saison pluvieuse, la formation de téleutospores semble rare et dans tous les examens

effectués pendant plusieurs années nous n'avons pu observer de telles formations.

Sur feuilles de *Coffea excelsa* fortement attaquées par l'*Hemileia vastatrix*, où les taches nécrotiques sont rares, la formation de téléutospores est abondante, mélangée avec des urédospores âgées et s'observant également durant la saison sèche, de novembre à février.

La présence de téléutospores d'*Hemileia vastatrix* sur *Coffea robusta* a été signalée à Ceylan par PETCH (719), en 1922, pendant toute l'année. De même que par RAGUNATHAN (736), en 1923, dans le même pays, sur feuilles des *Coffea arabica*, *robusta* et *liberica* durant toute l'année de 1921-1922, et qui précise que leur formation dépend des conditions climatiques.

Aux Indes NARASIMHAN (677), en 1936, indique que le stade téléutospore de la rouille était observé fréquemment à Bangalota, sauf pendant les grandes pluies.

Dans le même pays, VISHVESHWARA et NAG RAJ (1001), en 1960, ont réalisé des études cytologiques sur les téléutospores et basidiospores de l'*H. vastatrix*.

CHINAPPA (270), en 1965, indique la formation de téléutospores sur les sores d'*H. vastatrix*, dans les champs de caféiers aux Indes, dont la germination avait lieu « *in situ* ». D'après cet auteur, les irrégularités n'étaient pas très fréquentes, comparées à la germination normale et à la production des basidiospores, ce qui semble, d'après l'auteur, indiquer que cette phase du cycle de vie est très anormale. L'auteur pense que les urédospores et les masses mycéliennes dans les feuilles sont responsables de la vie du champignon, prolongée au-delà de l'été. La fonction des téléutospores reste inconnue. Outre la germination normale, les sporidies donnaient naissance à des sporidies

secondaires, uninucléées ou binucléées, de petite taille, dont on ne connaît pas la fonction.

ROGER (791), en 1951, indique qu'il a observé des téléutospores sur feuilles de *C. arabica* provenant de Madagascar.

BOURIQUET (196), en 1946, indique dans son ouvrage que la forme téléutosporee a été observée par ROGER et MAUBLANC, notamment sur des échantillons de *Coffea arabica* provenant de Madagascar.

Par contre, CHEVAUGEON (268), 1956, mentionne qu'il n'a pas pu observer de téléutospores sur les caféiers en Côte d'Ivoire.

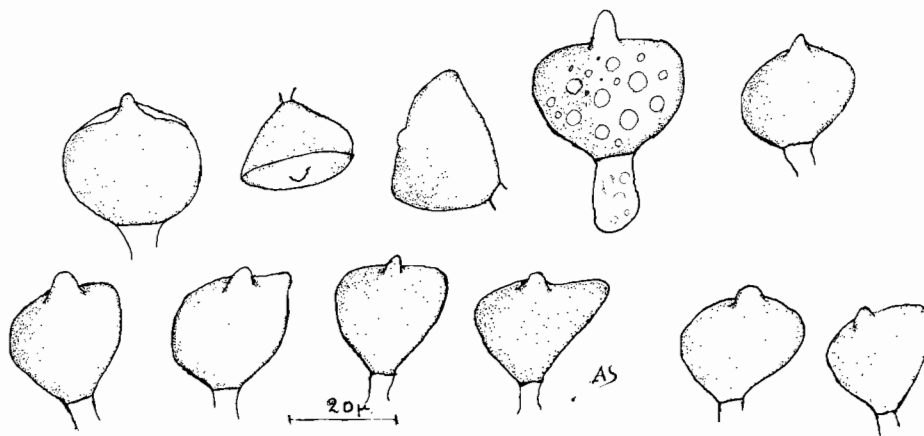
D'ailleurs, c'est WARD (1048) qui a observé pour la première fois la formation des téléutospores mélangées aux urédospores.

Leur formation, comme celle des urédospores, prend naissance à l'extrémité de courts stérigmates, qui sont de même des ramifications ultimes du mycélium sous-stomatique et sortent par les stomates en un faisceau un peu divergeant à partir de l'ostiole d'où il émerge.

Jeunes, et dès leur apparition, elles sont hyalines et arrondies, elles ressemblent à des urédospores en voie de formation ; mais leur évolution ultérieure va les en différencier nettement. A l'état adulte, et lorsqu'elles sont fraîches, leur contenu porte de nombreuses granulations de couleur orange vif ; elles sont irrégulièrement arrondies, anguleuses, ou le plus souvent en forme de toupie, et sont pourvues à la partie supérieure d'un gros apicule et d'une papille. Leur membrane est lisse et épaisse, sauf au sommet.

Leurs dimensions sont variables ; sur cinquante téléutospores mesurées sur feuilles de *Coffea robusta*, les dimensions sont : 17-24 × 16-25 μ , sur feuilles de *C. arabica* : 15-23 × 17-25 μ , et sur feuilles de *Coffea excelsa* : 18-29 × 15-26 μ .

Fig. 7. — Téléutospores d'*Hemileia vastatrix* prélevées directement sur taches âgées de feuilles de *Coffea excelsa*



ROGER (791), 1951, donne comme dimensions sur feuilles de *C. arabica* provenant de Madagascar : 15 à 18 μ de long à la hauteur de l'apicule et 18-24 μ de diamètre au niveau de leur plus grande largeur vers la base, de même que BOURIQUET (196).

VIENNOT-BOURGIN (1000) indique comme dimensions 18-28 \times 14-22 μ , de même que RAZAFINDRAMAMBA (766).

Les téléospores peuvent germer sur place, encore attachées à leur support sur la feuille elle-même, si elles se trouvent dans les conditions convenables de température et d'humidité. De telles germinations ont été très fréquemment observées sur des taches âgées d'*Hemileia* des feuilles des *Coffea excelsa*, *robusta*, *arabica* et *C. canephora* var. de la Nana en République Centrafricaine, en décembre, janvier, époque à laquelle il y a très fréquemment des brouillards et des rosées matinales qui couvrent les feuilles de très nombreuses et fines gouttelettes d'eau.

Les téléospores germées (fig. 8) émettent à leur sommet un tube germinatif cylindrique de nature spéciale, le **promycélium**, qui ne prend qu'un développement limité et ne se ramifie pas ; sa membrane mince et transparente est le prolongement de la membrane interne de la téléospore dont il est issu.

Le contenu de la téléospore émigre dans la cavité du filament contenant de nombreuses granulations lipidiques jaune orange. Puis trois cloisons transversales apparaissent et divisent le promycélium en quatre cellules plus ou moins

égales, la cellule terminale s'amincit progressivement vers le sommet. Sur chacune des trois premières cellules, pousse au voisinage immédiat de la cloison qui la limite, une ramification latérale grêle ; l'extrémité se renfle en une petite masse sphérique ou ovalaire à contenu orangé finement granuleux, avec le plus souvent une grosse vacuole arrondie au centre, ce sont les **sporidies** ou basidiospores.

Les basides ou promycélium (fig. 8) mesurent 55 à 60 μ de long sur 10 à 12 μ de large.

Les sporidies ou basidiospores sont petites et mesurent 5 à 6 \times 4 à 5 μ ; elles naissent aux extrémités des filaments grêles qui se forment au voisinage de chacune des cloisons transversales : la cellule terminale du promycélium donne à son extrémité une sporidie ; exceptionnellement deux se forment côte à côte. Détachées des feuilles, les téléospores peuvent germer facilement au contact des gouttelettes d'eau pure ou d'eau glucosée à 2 %, mais leurs dimensions sont plus grandes que celles des téléospores qui germent sur les feuilles directement ; elles peuvent atteindre jusqu'à 70 μ de long sur 10 à 14 μ de large, parfois même jusqu'à 150 μ .

Les sporidies mûres peuvent germer facilement dans l'eau pure et glucosée à 2 %, d'autant plus facilement qu'elles sont encore fixées sur le promycélium ou baside. Elles donnent naissance à un filament grêle, incolore, pouvant atteindre 15 à 20 μ de long sur 2 à 3 μ de large. WARD (1048) a pu réaliser la germination des sporidies sur des feuilles vivantes de caféiers, mais il n'a jamais pu obser-

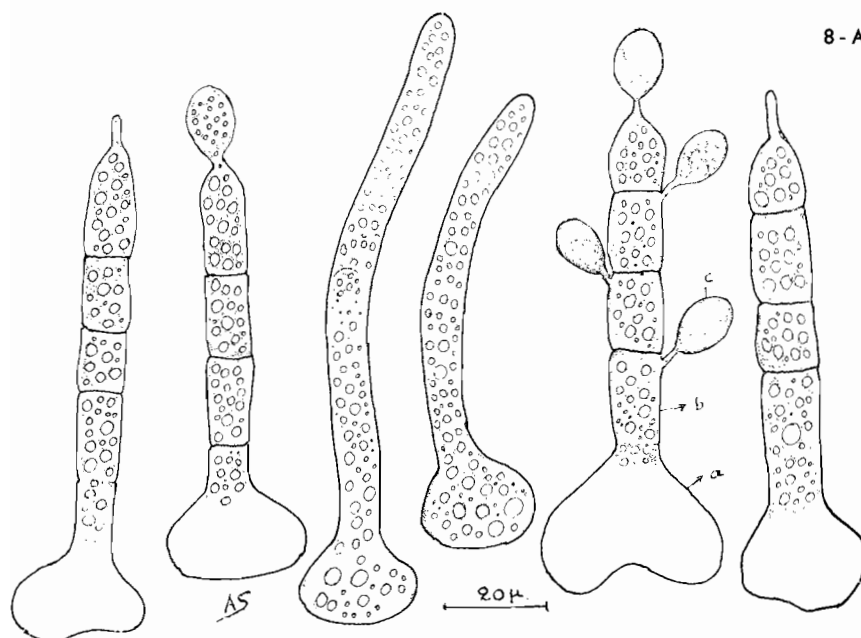
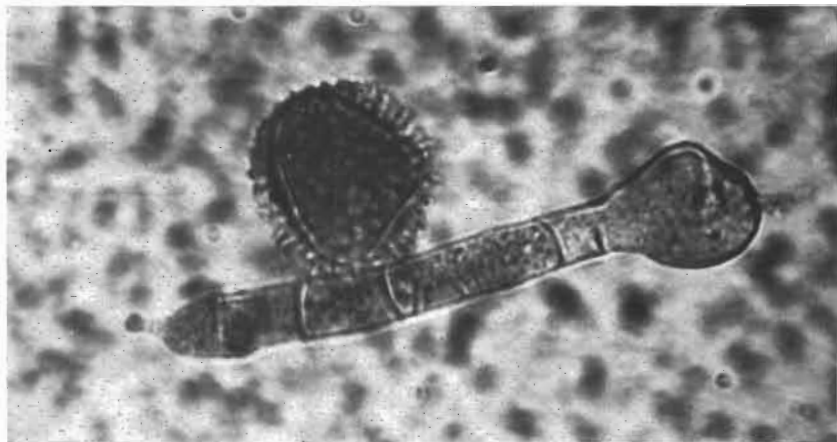


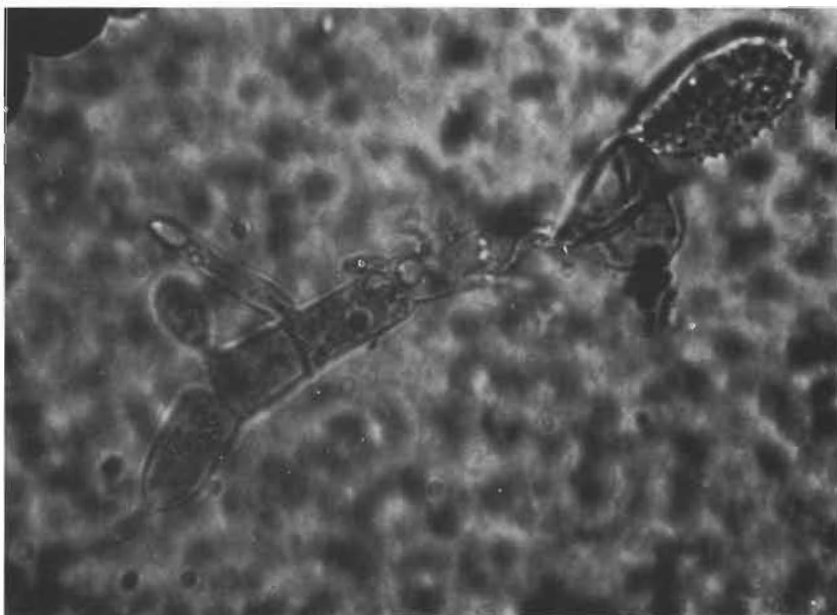
Fig. 8.

- 8-A
- A : Germination des téléospores. a : téléospores vidées de leur contenu protoplasmique. b : promycélium ou baside portant trois cloisons transversales. c : sporidies ou basidiospores
 - B : a et b : Germination des téléospores au contact des fines gouttelettes d'eau à 24 °C après six heures
 - C : Téléospores germées, prélevées directement sur les sores âgés d'*Hemileia vastatrix*, sur feuilles de *Coffea robusta*

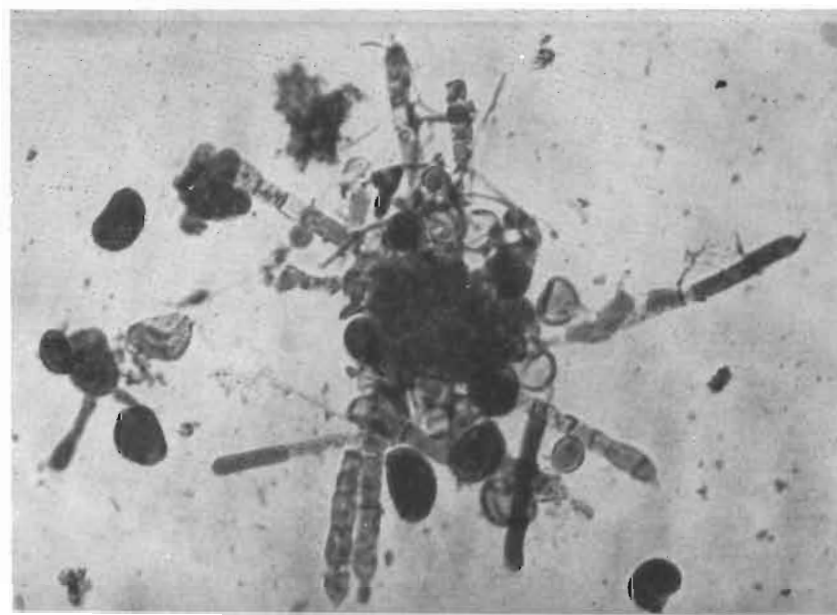
8 - B a)



8 - B b)



8 - C



ver de pénétration du mycélium et l'infection des feuilles des caféiers. Alors que les urédospores peuvent aussitôt après leur formation germer et provoquer de nouvelles infections sur les caféiers, les sporidies du promycélium ou baside, issues de la germination des téléutospores, sont incapables de pénétrer dans les tissus des feuilles de caféiers, comme l'ont confirmé WARD et d'autres auteurs.

Ce fait laisse supposer que l'*Hemileia vastatrix* est hétéroïque, mais l'hôte écidien reste encore inconnu. CHEVALIER (267), à ce propos, dit notamment : « Quand la formation des urédospores cesse, il se forme d'autres sortes de spores ; les téléutospores qui émettent des sporidies, mais on ne sait pas si l'infection par ces dernières porte sur le caféier directement, ou nécessite un hôte intermédiaire » ; s'il existe réellement, son rôle doit être comme beaucoup d'autres Urédinées très faible dans la propagation ou le maintien de l'espèce. Pour MALLAMAIRE (565), l'hôte écidien inconnu n'est nullement indispensable à la propagation de la maladie ; CICCARONE (277), 1951, indique que la rouille passe l'été à l'état d'urédospores et la présence des téléutospores est inutile pour qu'elle accomplisse son cycle. Les mêmes observations ont été effectuées en République Centrafricaine, où la forme urédosporée peut subsister durant toute l'année sur les feuilles des caféiers cultivés dans ce territoire, et, bien que la présence des téléutospores et la formation des sporidies sur les basides soit très fréquente,

le cycle de la rouille se réalise uniquement par les urédospores.

Signalons que les écidium, croissant sur les caféiers, et d'autres Rubiacées, n'ont aucun rapport biologique avec l'*Hemileia vastatrix*, la téléutospore ne pouvant pas se développer, ou plutôt les basidiospores ou sporidies ne pouvant pas infecter les caféiers. L'écidium de la rouille doit vraisemblablement se trouver sur une espèce de famille fort différente, comme il se produit dans la grande majorité des rouilles hétéroïques.

De nombreux chercheurs ont effectué des essais d'infection croisée de différents caféiers avec des téléutospores de diverses espèces d'*Hemileia* existant sur Rubiacées. Aucun n'a donné de résultat positif.

BOURIQUET (196) en 1946, tout en indiquant que les sporidies issues de promycélium ne peuvent pas infecter directement le caféier, mentionne qu'on ne connaît pas d'hôtes intermédiaires sur lesquels elles déterminent vraisemblablement l'apparition d'une forme écidienne. Il cite parallèlement que dans toute la brousse malgache, souvent au voisinage des caféiers, il a trouvé sur une Labiée spontanée, le Bourba (*Ocimum*), un écidium qui semble d'ailleurs ressembler à un autre très fréquent sur le Basilic (*Ocimum basilicum* L.). L'auteur avait pensé qu'il pouvait être en relation avec l'*Hemileia*, mais un essai d'infection a donné des résultats négatifs. L'expérience mériterait d'être reprise dans des conditions de température et d'humidité différentes.

ÉTUDE BIOLOGIQUE

La biologie d'*Hemileia vastatrix* a fait l'objet de nombreuses études en différents pays où cette maladie sévit.

WARD (1048), en 1882, avait effectué des essais de germination des urédospores sur feuilles de *C. arabica* à Ceylan et indiquait que lorsque la germination des urédospores se produit, ces dernières s'éclaircissent et lorsque le filament germinatif a acquis une certaine dimension, le protoplasme contenant des globules colorés chemine vers le filament et le contenu protoplasmique de l'urédospore se vide progressivement pour se rendre dans le filament. Ce dernier peut se ramifier, mais en général ne se cloisonne pas. Souvent son extrémité est peu enflée, simulant une spore secondaire. (Nous pensons qu'il s'agit d'un appressorium qu'on trouve souvent aux extrémités des filaments des spores germées au contact des fines gouttelettes d'eau.)

Puis, lorsque le filament a acquis une certaine longueur, s'il se trouve à la face inférieure d'une feuille de caféier, il s'insinue par son extrémité dans l'ostiole d'un stomate.

D'après ce même auteur, c'est à la température de 24 °C environ que cette germination s'accomplit aussi rapidement dans un milieu riche en humidité. L'auteur conclut que ce sont là les conditions optima de développement du parasite.

BURCK (222) en 1889, dans ses expériences, avait précisé le temps strictement nécessaire pour que les urédospores puissent germer en présence d'eau ; il l'avait estimé à une durée de contact de 2 h 20 en moyenne. Les urédospores nouvellement formées germent plus régulièrement que celles qui sont sèches ou conservées en milieu sec. L'auteur a montré de plus que pour les feuilles étalées et ayant par la suite dépassé l'état jeune, c'est le plus souvent vers la pointe que se produisent les nouvelles taches. D'autres observations de BURCK ont fourni une des raisons pour lesquelles les feuilles jeunes et encore enroulées sont bien plus vulnérables vis-à-vis de l'*Hemileia*. Leur position permet en effet à l'eau d'y persister longtemps et de mouiller aussi la face inférieure garnie de stomates par lesquels se fait l'infection. C'est pourquoi, dit l'auteur, on voit tant de jeunes feuilles atteintes, toutes les fois que l'*Hemileia* sévit avec intensité.

D'après ce même auteur, dans l'air sec, les urédospores peuvent rester vivantes plusieurs semaines sans entrer en germination.

Des températures extrêmes, trop basses ou trop élevées, sont défavorables aux urédospores. Elles arrêtent leur germination et elles les tuent en peu de temps.

MAYNE (590) en 1932, aux Indes, indique que la germination des urédospores d'*Hemileia vastatrix* ne s'effectue pas en l'absence d'eau liquide, mais qu'une complète immersion exerce une action néfaste sur le développement des tubes germinatifs. En outre, il a démontré que la lumière a une action inhibitrice sur la germination des urédospores. L'auteur indique parallèlement que la gravité des attaques annuelles aux Indes était déterminée par la forte humidité et les rosées des mois sans pluie. Deux collections de spores d'*Hemileia vastatrix* maintenues en tubes scellés à température et humidité ambiantes ne germaient pas après six mois.

DELACROIX et MAUBLANC (340), 1911, indiquent que lorsque l'urédospore d'*H. vastatrix* se trouve dans des conditions convenables de température et d'humidité, elle germe rapidement. La germination s'établit en général par deux points opposés où l'exospore s'amincit et d'où sort un filament limité par l'endospore très ténue. On peut voir parfois plusieurs pores germinatifs et WARD signale en avoir compté jusqu'à cinq.

MARCHAL, MANIL et WANDERWALLE (568), 1937, indiquent qu'à l'humidité, à bonne température (24 °C) et dans de l'eau aérée, les urédospores germent rapidement en émettant un filament qui pénètre par le stomate et s'établit dans le parenchyme foliaire.

D'après ROGER (791), 1951, la germination des urédospores est facile, soit dans l'air humide, soit dans l'eau, bien que la submersion totale se montre défavorable à la croissance de leur tube germinatif ; beaucoup d'auteurs, MAYNE notamment, pensent que leur développement ne peut avoir lieu sans la présence d'eau à l'état liquide, condition très favorable à d'autres rouilles, notamment chez les céréales. A la température de 24 °C, optimum pour cette phase, la germination dans l'air s'effectue en 24 h ; au contact de l'eau, elle devient beaucoup plus rapide et ne demande que 3 h environ. Les filaments germinatifs sortent par les pores situés généralement vers les extrémités de la spore.

X (1129), 1955, mentionne dans son rapport de 1954 au Kenya, qu'il a constaté que les gouttelettes d'eau sont indispensables pour la germina-

tion des urédospores et l'infection des feuilles des caféiers par la rouille.

En 1958, (1138) X, dans son rapport au Kenya, indique qu'un film d'eau était indispensable pour que la pénétration puisse se faire; les feuilles doivent, d'après cet auteur, être mouillées au moins pendant 24 h.

Dans les essais effectués par RAYNER (764), en 1961 au Kenya, sur la germination des urédospores, cet auteur indique que celle-ci exige la présence d'eau liquide, et s'effectue en 2 h 6 à 4 h 7 à une température de 23 °C, le minimum étant 1 h. Les appressoria se forment en 6 h 5 à 8 h 5, minimum 5 h 3.

La germination est arrêtée par la lumière et dans les champs par la rapide évaporation diurne des gouttelettes d'eau à partir de la face inférieure de la feuille.

La lumière inhibe complètement la croissance des tubes germinatifs de moins de 30 μ de long et réduit la moyenne de croissance de leur longueur, quoique les appressoria puissent continuer à se former.

En conséquence, une germination commencée auparavant cessera ou échouera.

D'après NUTMAN et ROBERTS (693), 1963, les études faites à Nairobi (Kenya) ont montré que les urédospores d'*Hemileia vastatrix* germaient seulement dans l'obscurité ou à de faibles intensités lumineuses en présence d'eau liquide. Les températures extrêmes étaient 15°5, 22° et 28°5 C. Sur agar, mais à la surface des feuilles, la germination diminuait à partir de 24 °C, donnant une relation bimodale.

La germination était stimulée s'il y avait exposition à de basses températures avant l'exposition à la température optimum.

La germination se produisait plus fréquemment sur les jeunes feuilles que sur les vieilles et au bord plutôt que sur la nervure médiane. La viabilité des spores était diminuée de moitié après un stockage au sec pendant deux jours.

La faculté germinative des spores était fortement réduite si on alternait de courtes périodes de séchage et d'humidification. On a montré qu'une moyenne de 14 spores par cm^2 était nécessaire pour la formation d'une lésion; les résultats présents supposent qu'environ 6 de ceux-ci sont susceptibles de pénétrer et semblent former la concentration minimum nécessaire.

Les basses températures des nuits des plantations de caféiers du Kenya rendent la germination incertaine. L'infection se produit probablement pendant les nuits, avant les hautes températures du jour.

HOCKING et WHITE (488), 1965, en Tanzanie (Tanganyika), dans leurs recherches préliminaires, montraient que la germination des spores de la

rouille était plus faible « *in vitro* » qu'à la surface des feuilles, mais était stimulée par 0,2 % d'aspargine et après lavage avec 2 ppm de teepol pour éliminer les lipides.

HOCKING (493), 1968, indique que des études complémentaires, effectuées à Arusha en Tanzanie, montrèrent qu'une lumière intense de plus de 21,528 lux réduisait fortement la germination, bien que certaines se déclarassent à plus de 100,76 lux. Au moins 4 h d'obscurité étaient exigées pour une germination maximum. Une exposition préalable de plus de 2 h à une forte lumière a progressivement un effet inhibiteur sur la germination; l'effet subsiste approximativement de la même façon après 2 h ou 8 h d'exposition.

RAJENDREN (741), 1967, en Inde, mentionne que dans une germination atypique, les urédospores produisent de trois à cinq tubes germinatifs, mais un seul se développe pour former un pseudomycélium.

La germination typique des téléospores est caractérisée par un tube germinatif déterminé, ou véritable promycélium qui se transforme en deux à quatre cellules, deux seulement de ces cellules donnent une sporidie.

CHINAPPA et SREENIVASAN (271), 1967, à Mysore (Inde), travaillant sur la cytologie d'*Hemileia vastatrix*, indiquent que le nouveau type de comportement nucléaire unique, auparavant décrit dans la rouille du caféier, n'a pas pu être observé, mais des observations plus récentes d'urédospores dicaryotiques représentant la phase neutre furent confirmées.

Essais de germination des urédospores

Des essais de germination d'urédospores ont été effectués « *in vitro* » au Laboratoire de Phytopathologie du Centre de Boukoko (R. C. A.) afin d'étudier l'aspect morphologique des urédospores germées ainsi que l'influence de différents facteurs, et en particulier de la température, de l'humidité, de la lumière ainsi que celle de l'âge des urédospores sur la germination.

Les urédospores ont été prélevées directement sur les feuilles des caféiers des espèces cultivées en République Centrafricaine et plus spécialement sur celles des *Coffea robusta* et *excelsa* à différentes époques de l'année, correspondant à la saison sèche et pluvieuse où les conditions d'humidité et de températures diurnes et nocturnes sont différentes, ainsi que sur des sores d'âges différents afin d'étudier l'influence de ces facteurs sur le pourcentage de germination, la vitalité des urédospores et la vigueur des tubes germinatifs.

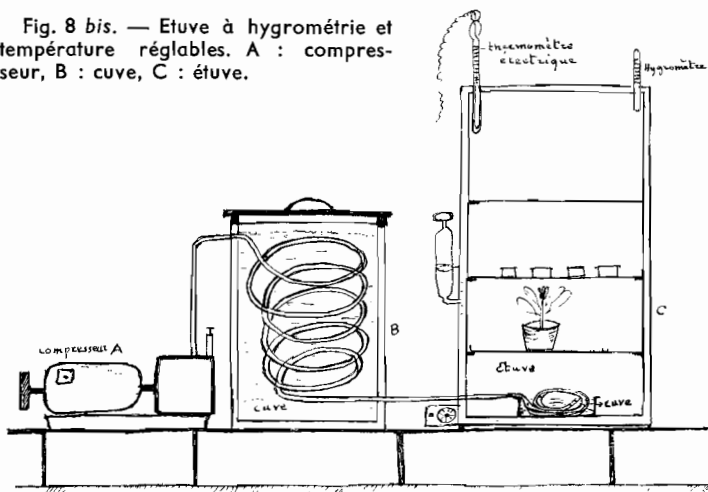
ASPECT MORPHOLOGIQUE DE LA GERMINATION

L'étude de la germination a été réalisée en goutte pendante d'eau de pluie stérile dans des cellules de Van Tieghem contenant une suspension d'urédospores, ainsi que sur des lames de verre, en pulvérisant sur leur surface à l'aide d'un micropulvérisateur Waast de nombreuses et fines gouttelettes d'eau de pluie stérile contenant des urédospores en suspension.

Pour éviter l'évaporation des fines gouttelettes durant la période des expériences, les lames ont été placées dans des boîtes de Ranvier en verre contenant au fond de l'eau stérile, de même que les cellules de Van Tieghem, et introduites ensuite dans une étuve à hygrométrie et températures réglables, où, grâce à un compresseur électrique, l'air envoyé par un tuyau dans l'étuve barbotait dans une cuve contenant de l'eau distillée, ce qui permettait d'obtenir une humidité relative saturée, contrôlée par un hygromètre enregistreur placé dans l'étuve (voir schéma, fig. 8 bis).

La température choisie pour ces essais était de 24 °C, obtenue d'une part grâce au fonctionnement d'un climatiseur dans une petite salle hermétique et, d'autre part, par le refroidissement de l'air avant qu'il n'aboutisse dans la cuve de l'étuve, grâce à un dispositif spécial. En effet, le tuyau amenant l'air dans la cuve de l'étuve passe dans une grande cuve à double paroi et hermétique, d'une capacité de quinze litres d'eau, placée entre le compresseur (A) et l'étuve (C). Le tuyau entrant dans cette cuve par la partie supérieure forme plusieurs spirales et sort par la base de cette cuve pour aboutir dans la cuve de l'étuve. Pour permettre le refroidissement de l'air, on remplit la cuve d'eau

Fig. 8 bis. — Etuve à hygrométrie et température réglables. A : compresseur, B : cuve, C : étuve.



en mettant des morceaux de glace pour abaisser la température de l'eau à 17 °C. L'air passant par la partie de tuyau en spirale, plongée dans l'eau, se refroidit et arrive dans l'étuve à une température de 20 °C. L'introduction des préparations dans l'étuve n'a été faite qu'après la stabilisation de la température fixée et de l'humidité.

Les préparations ont été contrôlées au microscope au bout de 3, 6, 12, 18 et 24 h. Au bout de ces périodes, les lames et les cellules de Van Tieghem sorties de l'étuve ont été colorées au bleu coton lactique et chauffées jusqu'à ébullition pour tuer les urédospores. Les lames ainsi préparées ont été numérotées en indiquant la durée de la période.

Pour chaque durée, cinq essais de germination ont été effectués et pour chaque essai, six préparations ont été examinées au microscope en comptant 500 urédospores par préparation, ce qui porte à 3.000 les urédospores comptées par essai, soit 15.000 pour l'ensemble des cinq répétitions, en établissant le pourcentage moyen de la germination.

A la température de 24 °C, la germination se déclenche au bout de trois heures ; au bout de six heures elle atteint 60 à 70 % et au bout de douze heures 80-85 %.

Nous n'avons jamais obtenu une germination de la totalité des urédospores et souvent, dans certaines préparations où les urédospores étaient prélevées sur des sores parasités par *Verticillium hemileiae*, le pourcentage de germination ne dépassait pas 10 à 15 %. Il est rare que les spores non germées au bout de douze heures émettent un filament germinatif après cette période.

Avant le déclenchement de la germination, les urédospores se dilatent légèrement ; plusieurs gouttelettes lipidiques fusionnent pour en former de plus grosses tandis que le protoplasme devient granuleux.

Chaque urédospore émet le plus souvent un tube germinatif ; moins souvent deux et rarement trois.

Au début de la germination, l'urédospore émet un tube germinatif ; la formation d'un deuxième et troisième ne se produit qu'au bout d'un certain temps, très exceptionnellement simultanément, et c'est ainsi que pendant les premiers stades de germination on n'observe qu'un seul bulbe germinatif développé et les autres, s'ils se forment, sont courts et évoluent rarement normalement.

La germination débute par l'apparition d'une petite protubérance cylindrique, incolore, entourée d'une membrane mince qui fait saillie à travers l'oxospore déchirée, évoluant rapidement en un tube germinatif cylindrique. Ce tube prend naissance à partir de la membrane interne

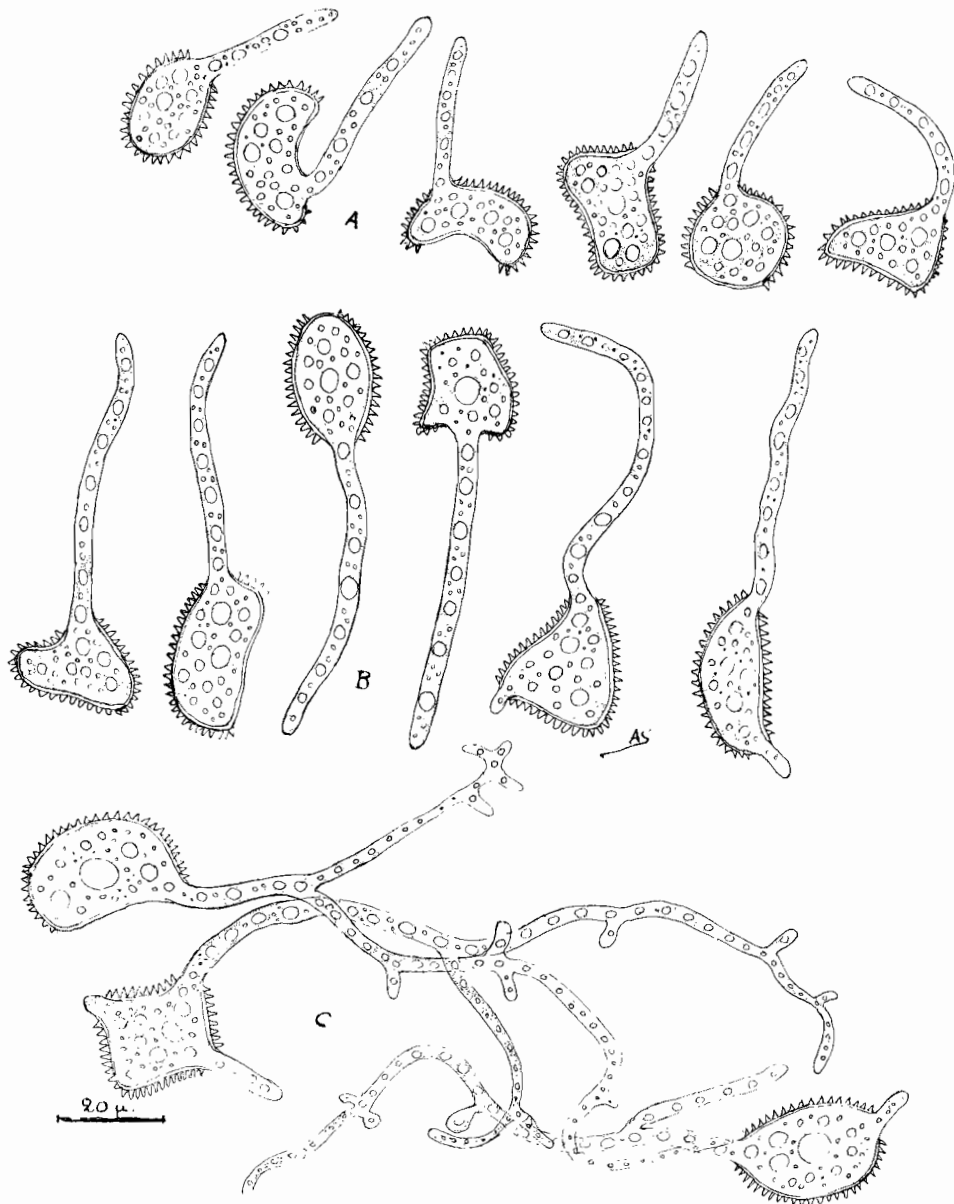


Fig. 9 A, B, C

de l'urédospore tandis que l'oxospore se déchire à cet endroit en s'amincissant sous la pression du protoplasme (fig. 9).

Les tubes germinatifs prennent naissance suivant la forme des urédospores sur les parties anguleuses, quand celles-ci sont de forme triangulaire ou tronco-pyramidale, et aux extrémités quand elles sont réniformes (fig. 9), parfois à n'importe quel point de la spore, surtout quand elles émettent deux ou trois tubes germinatifs, mais en général c'est le premier filament germinatif qui s'allonge rapidement pour atteindre au bout de 3 à 4 h, 14-140 μ de long sur 6 à 8 μ de large. Il est au début

généralement cylindrique, incolore, non cloisonné et son contenu protoplasmique renferme de nombreux globules lipidiques jaunâtres de dimensions variables (fig. 11).

Au bout de douze heures, ils atteignent 85 à 250 μ de long et ne sont pas cloisonnés ; ils se ramifient le long de leur parcours, donnant naissance à des branches secondaires et tertiaires, et leur contour devient plus ou moins irrégulier (fig. 9 C).

Au bout de dix-huit et vingt-quatre heures, ils atteignent 120 à 450 μ de long et sur leur parcours portent de place en place des ramifications secondaires, tertiaires et parfois de quatrième ordre,

Fig. 9. — Germination des urédospores au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre à 24 °C. A : au bout de trois heures. B : au bout de six heures. C : au bout de douze heures. D : au bout de dix-huit heures et E : au bout de vingt-quatre heures. f : appressoria.

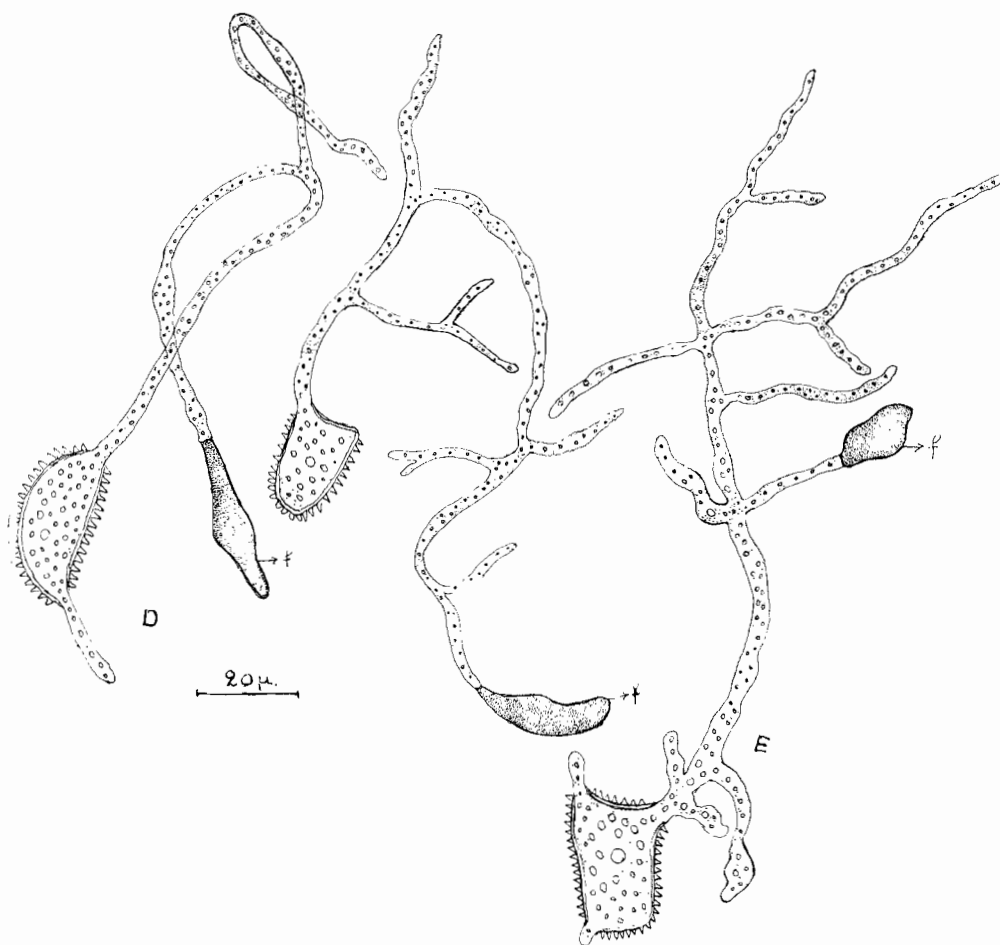


Fig. 9 D, E

formant ainsi un réseau plus ou moins dense et irrégulier (fig. 9 D et E).

Lors de la germination, le contenu protoplasmique et les globules lipidiques (lipochromes) se déplacent dans le tube germinatif et au fur et à mesure de leur élongation les urédospores se vident de leur contenu, prenant une coloration jaune pâle puis translucide et incolore en se déformant.

Souvent, on observe sur les extrémités des tubes germinatifs ou des ramifications la formation d'appressoria claviformes ou ovoïdes, de coloration brunâtre à parois épaisses, mesurant 15×8 à 14μ , tandis que le diamètre des tubes germinatifs ne dépasse pas 8 à 10μ (fig. 9 D).

Dans les essais de germination en goutte pendante et sur fines gouttelettes d'eau, nous avons constaté des différences marquées dans le pourcentage de germination et la longueur des tubes germinatifs.

Dans tous les cas, sur fines gouttelettes d'eau étalées sur lames de verre, le pourcentage de germination était plus élevé et les tubes germinatifs

plus longs et plus trapus : 70 à 85 % de germination. Par contre, en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem, le pourcentage de germination était plus faible et ne dépassait pas 40 à 50 % et les tubes germinatifs beaucoup plus courts et moins trapus ; seules les urédospores placées sur les parties périphériques de la goutte pendante germaient, mais non celles se trouvant vers le centre. Cette constatation constante permet de penser que les grosses gouttes d'eau ont une action inhibitrice sur la germination des spores et arrêtent la croissance des tubes germinatifs. On peut penser que les urédospores se trouvant au centre de la goutte sont dépourvues de l'oxygène nécessaire pour déclencher la germination. Le même phénomène a été observé dans les gouttes où il y a une forte concentration d'urédospores.

Les urédospores prélevées sur des sores très jeunes germent plus rapidement et à un pourcentage plus élevé que celles prélevées sur des sores âgés.

Les essais effectués à différentes époques de

l'année révéleront que dans ceux effectués en janvier-février et mars, où la température diurne maximum est élevée (36 à 38 °C à l'ombre), la germination des urédospores était très faible et le pourcentage ne dépassait pas 4 à 12 %.

Par contre, dans ceux effectués de mai à octobre durant la saison pluvieuse où la température maximum à l'ombre variait de 27 à 29 °C, le pourcentage de germination était beaucoup plus élevé et variait de 45 à 60 % pour les essais en goutte pendante et jusqu'à 85 % sur des fines gouttelettes d'eau sur lame de verre. Il est de toute évidence que les températures élevées qui sévissent durant la saison sèche où l'humidité relative est faible, non seulement arrêtent la germination des spores, mais également, et surtout, provoquent leur mort. C'est pour cette raison que pendant la saison sèche, qui dure généralement deux à trois mois, on n'observe aucune extension de la rouille ; le champignon se conserve probablement sous la forme du mycélium dans les tissus des feuilles infectées pendant les périodes défavorables au développement de la maladie.

Il est à signaler également que tous les essais de germination effectués au laboratoire en présence de la lumière et à la température ambiante de 25 à 27 °C donnèrent constamment des résultats négatifs, et aucune germination n'a été observée durant une période de 10 h. Ces essais montrent que la lumière a une action inhibitrice marquée sur la germination des urédospores et que la germination ne se réalise qu'à l'obscurité et pendant la nuit, quand les conditions de température sont favorables, et surtout quand la face inférieure des feuilles est couverte de fines gouttelettes d'eau, à la suite d'une condensation d'humidité, ou d'une pellicule d'eau qui persiste pendant plusieurs heures, permettant aux urédospores de germer et de former des appressoria qui pénètrent dans les stomates.

ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LA GERMINATION DES URÉDOSPORES

Les températures optima et limite supérieure de la germination des urédospores ont été déterminées d'après les pourcentages de germination obtenus, la longueur et la vigueur des tubes germinatifs des spores germées, soumises à des températures différentes dans les mêmes conditions d'humidité et de temps.

La température minimum n'a pu être déterminée en raison de l'impossibilité d'obtenir une température inférieure à 20 °C malgré l'utilisation de la glace dans l'eau de la cuve n° 2 (fig. 8 bis) de l'étuve à hygrométrie réglable.

Techniques employées

Nous avons choisi la gamme de températures suivantes de 20 à 40 °C : 20°, 22°, 23°, 24°, 25°, 27°, 28°, 30°, 35° et 40 °C.

Pour chaque température :

— Cinq cellules de Van Tieghem ont été préparées aseptiquement, en goutte pendante contenant une suspension dans l'eau de pluie stérile d'urédospores prélevées directement sur des sores jeunes de feuilles de caféiers non parasités par les deux hyperparasites *Verticillium* et *Cladosporium hemileiae*.

— Pulvérisation d'une suspension d'urédospores dans de l'eau de pluie stérile sous forme de fines et denses gouttelettes d'eau à l'aide d'un micro-pulvérisateur Waast sur la surface de cinq lames en verre.

Les cellules de Van Tieghem ainsi que les lames portant à leur surface les fines gouttelettes d'eau avec les urédospores ont été placées dans des boîtes en verre (cellules humides de Ranvier) contenant au fond de l'eau de pluie stérile, introduites ensuite dans l'étuve à hygrométrie et température réglables.

Pour la température de 20 °C, nous avons rempli la cuve n° 2 d'eau à 15 °C provenant du réfrigérateur et ajouté périodiquement des glaçons de manière que l'air envoyé par le compresseur, avant d'aboutir dans la cuve, puisse se refroidir en passant au travers du tuyau en serpentin plongé dans l'eau froide de la cuve n° 2. Parallèlement, des morceaux de glace étaient mis dans la cuve placée dans l'étuve où l'air barbotait.

La température de 22 °C a été obtenue en maintenant l'eau dans la cuve B, à une température de 15 à 16 °C, par addition périodique dans l'eau de morceaux de glace. Celle de 23 °C, en maintenant l'eau entre 17 et 18 °C et celle de 24 °C, en maintenant l'eau à 20 °C.

Un hygromètre et un thermomètre enregistreurs ont été placés dans l'étuve pour la vérification de la température et de l'humidité.

Dès que la température a été réglée au degré que nous avons fixé, les chambres humides de Ranvier contenant les cellules de Van Tieghem et les lames couvertes de fines gouttelettes d'eau ont été introduites dans l'étuve où l'humidité saturée permettait d'éviter l'évaporation des fines gouttelettes sur les lames.

Pour les températures de 25, 28, 30, 35 et 40 °C, les préparations ont été introduites dans les étuves bactériologiques électriques préalablement réglées à la température voulue.

Le pourcentage de germination des urédospores pour chaque lot a été calculé aux différentes températures au bout de 3, 6, 12, 18 et 24 h. Une goutte

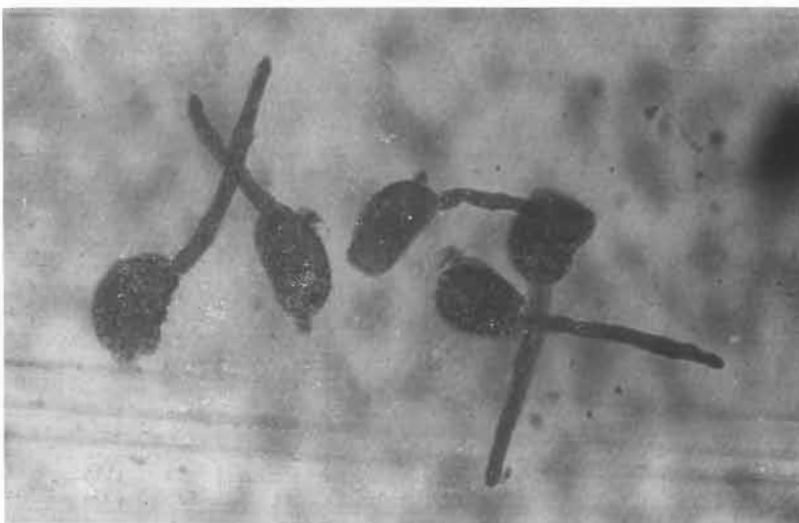
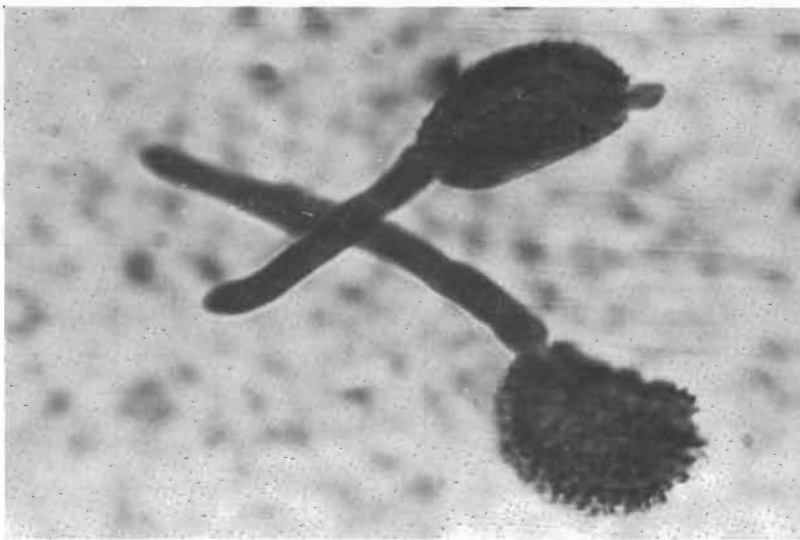
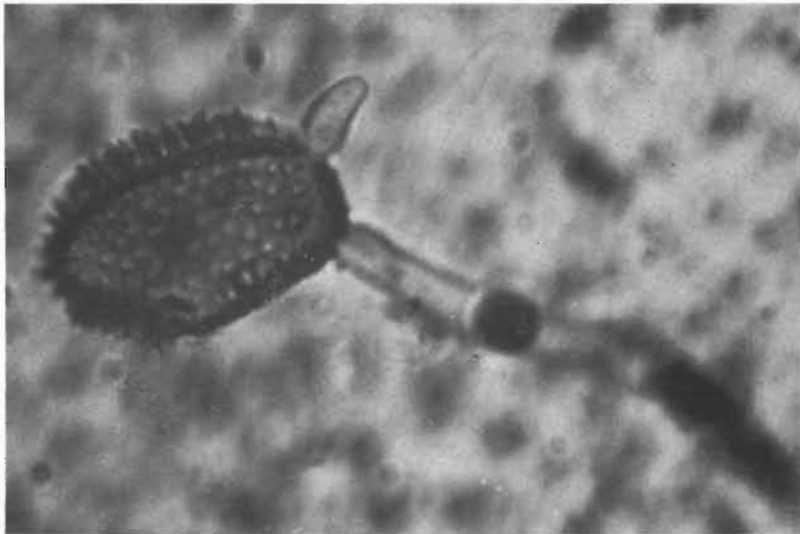


Fig. 10. — Microphotographies montrant la germination des urédospores au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre au bout de trois heures à 24 °C aux différents grossissements
(Cl. Boulard)

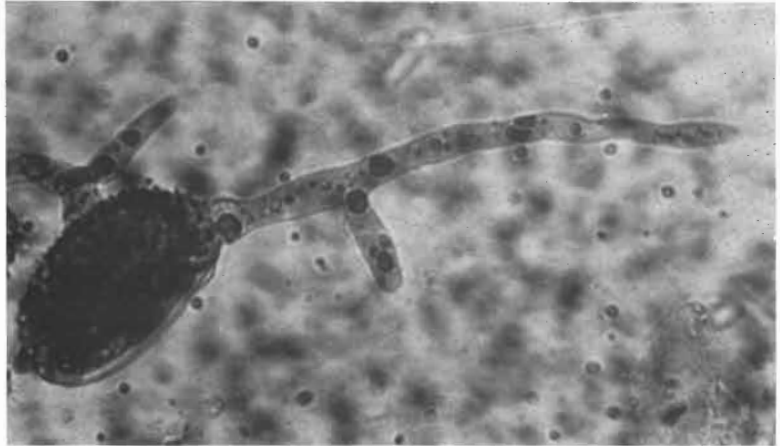
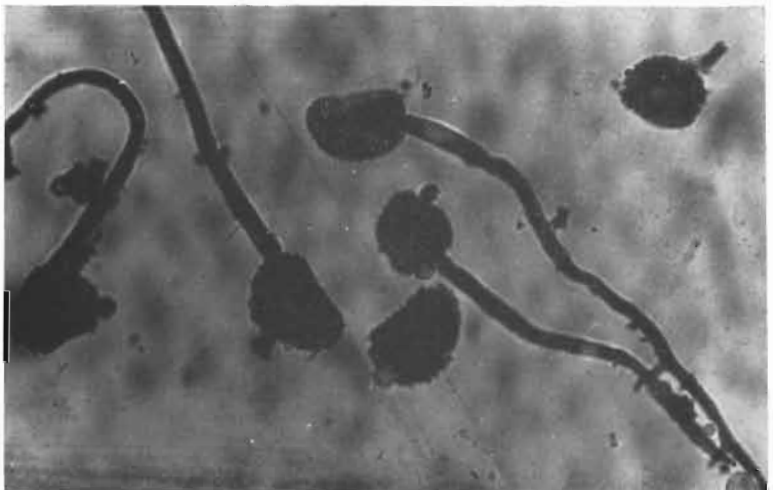
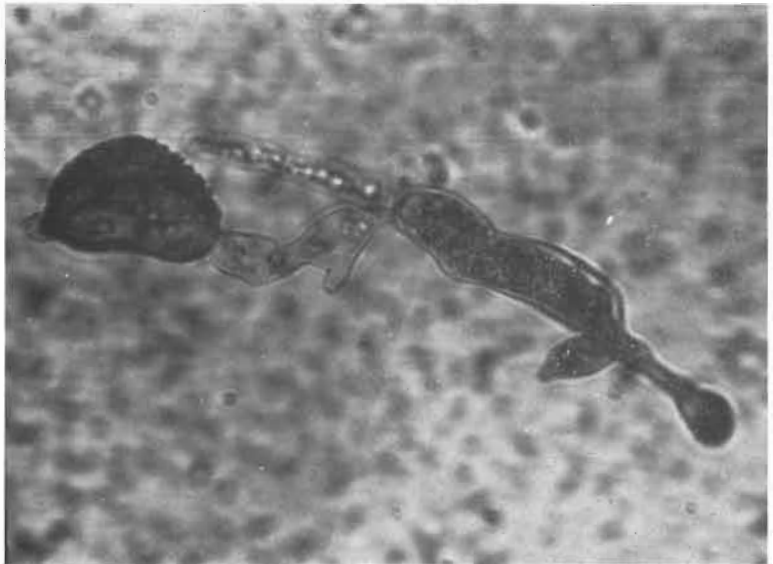


Fig. 11. — Microphotographies montrant la germination des urédospores au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre au bout de six heures à 24 °C aux différents grossissements

(Cl. Boulard)



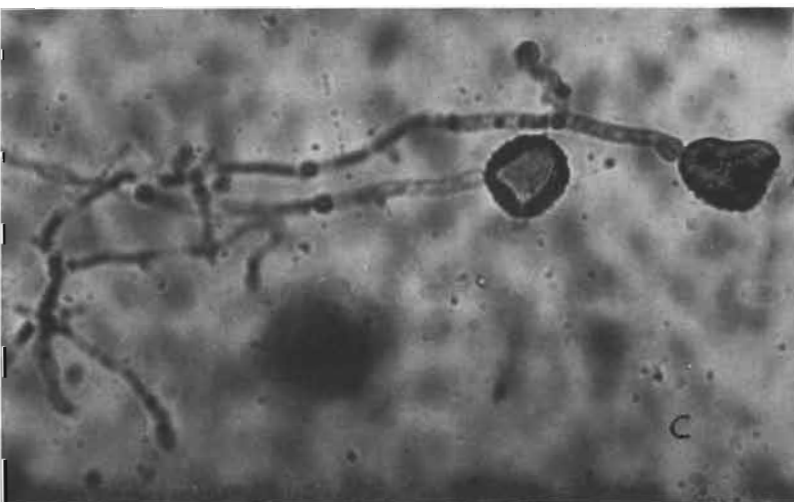
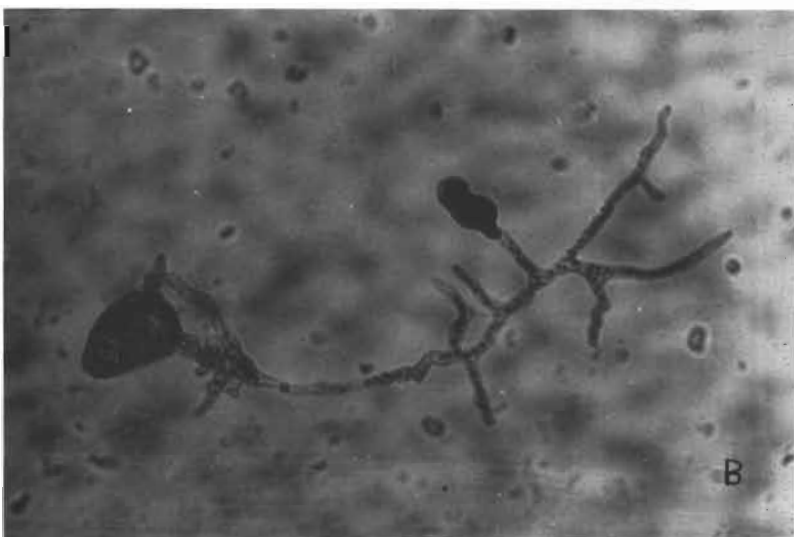
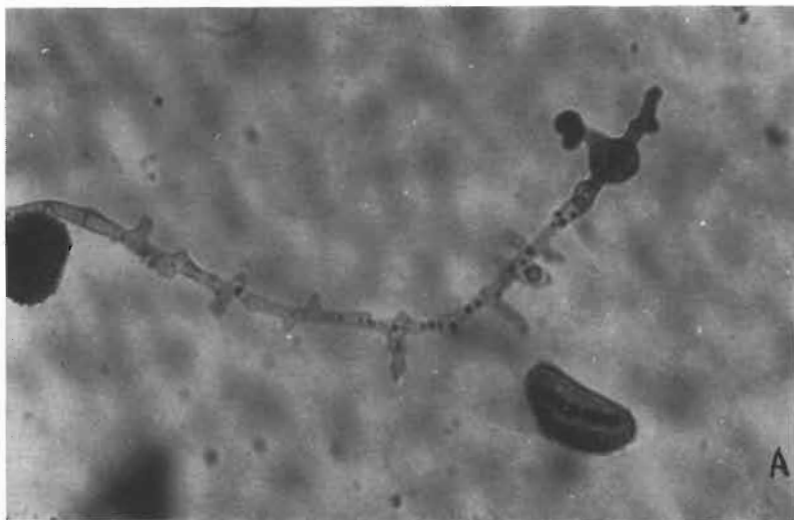
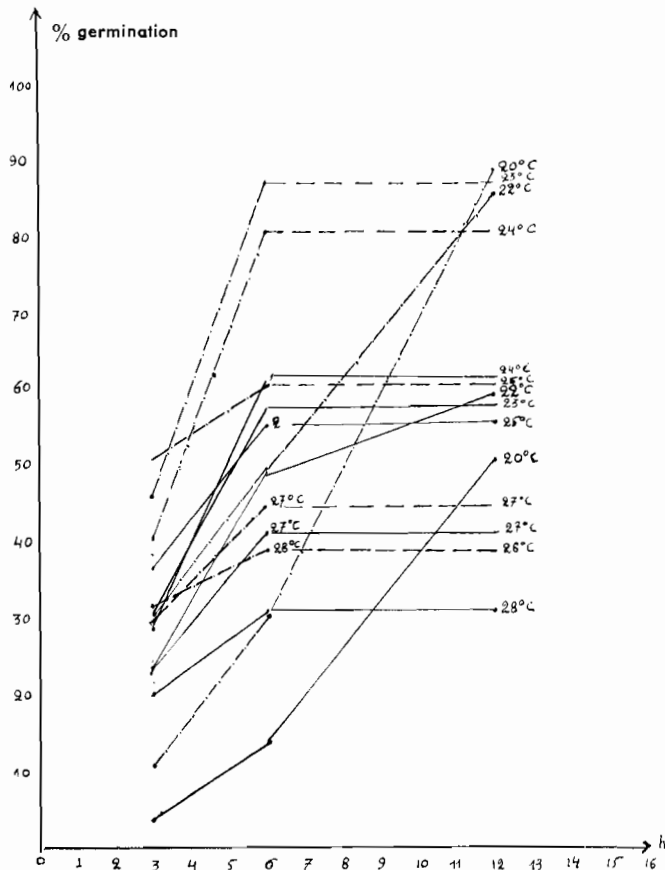


Fig. 12. — Microphotographies montrant la germination des urédospores au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre à 24 °C. A : au bout de douze heures. B : au bout de dix-huit heures H. C : au bout de vingt-quatre heures



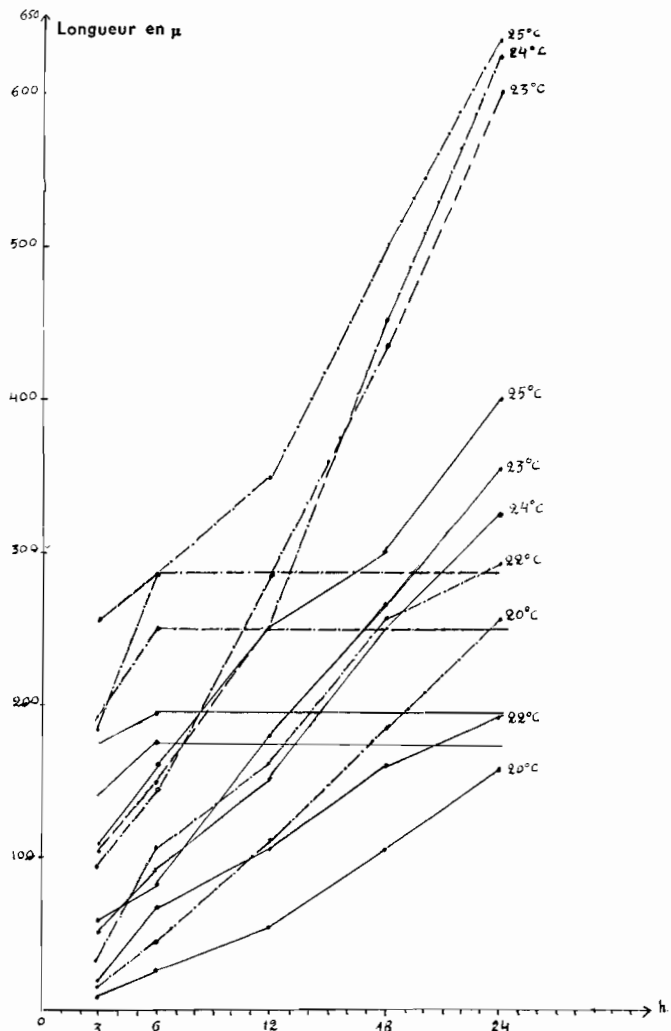
Graphique I. — Action de la température sur la germination des urédospores

— en goutte pendante dans des cellules de Van Tieghem
 - - - au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames

et il y a peu de différence dans le pourcentage de germination, la longueur et la vigueur des tubes germinatifs. On peut donc considérer que les températures de **22 à 24 °C sont les températures optima** de la germination dans les conditions de ces essais. On y observe parfois la formation d'appressoria, mais en nombre réduit et uniquement au contact de fines gouttelettes d'eau.

— En fonction de la longueur des tubes germinatifs et au bout de la même période (graph. II) la température la plus favorable serait 25 °C, mais la germination paraît anormale ; les tubes germinatifs sont plus grêles et peu ramifiés et on n'observe pas de formation d'appressoria. En outre, à partir de 12 h, la croissance des tubes germinatifs s'arrête.

— A 20 °C le pourcentage de germination au bout de 3 h ne dépasse pas 4 % en goutte pendante et 11 % au contact de fines gouttelettes d'eau. Au bout de 6 h, 14 % dans le premier cas et 31 %



Graphique II. — Action de la température sur la longueur des tubes germinatifs

dans le second, mais au bout de 12 h, la germination atteint respectivement 51 et 88 %.

— A 25 °, le pourcentage de germination est plus élevé au bout de 3 et 6 h, mais au bout de 12 h, la germination s'arrête et la croissance des tubes germinatifs est très lente.

— A 28°, le pourcentage de germination est élevé au bout de 3 et 6 h et peut atteindre 23 % en goutte pendante et 38 % au contact de fines gouttelettes d'eau, mais la germination s'arrête au bout de 8 et 12 h, les tubes germinatifs sont très courts et leur croissance s'arrête.

— A 30 °C, au bout de 3, 6 et 12 h, la germination est nulle et à cette température l'eau semble avoir une action inhibitrice sur la germination. Les urédospores ne sont pas tuées au bout de cette période, car placées par la suite à une température de 23°, elles germent au bout de 3 et 6 h dans un

pourcentage de 35 % en goutte pendante et de 54 % au contact de fines gouttelettes d'eau.

— A 35 °C, au bout de 3 à 12 h, la germination est nulle sur l'ensemble des essais. Les urédospores sont tuées dans un pourcentage de 60 % et 45 % au bout de 18 h, et au bout de 24 h aucune germination n'a été observée en plaçant les préparations dans l'étuve à 23 °C.

— A 40 °C, les urédospores sont tuées au bout de 12 h en goutte pendante et au bout de 16 h au contact de fines gouttelettes d'eau.

Ces données permettent de conclure que dans les conditions de ces expériences, les températures les plus favorables pour la germination des urédospores sont de 22 à 24 °C, températures qui doivent être considérées comme les températures optimales.

ACTION DE L'HUMIDITÉ SUR LA GERMINATION DES URÉDOSPORES

En vue de déterminer les conditions d'humidité les plus favorables à la germination des urédospores, la température étant optimum, les essais suivants ont été réalisés « *in vitro* » au laboratoire.

Essais de germination des urédospores au contact de l'eau pure

— Pulvérisation d'une suspension d'urédospores dans de l'eau de pluie stérile à l'aide d'un micro-pulvérisateur Waast à la surface d'une mince couche de gélose étalée sur cinq lames de verre placées dans des chambres humides de Ranvier contenant au fond de l'eau de pluie stérile.

— Pulvérisation d'une suspension d'urédospores dans de l'eau de pluie stérile à l'aide d'un micro-pulvérisateur Waast à la surface de cinq lamelles couvre-objets placées sur des lames creuses de Ranvier, en pulvérisant sur le fond de la partie creuse de fines gouttelettes d'eau et en déposant les lamelles contenant la suspension de spores, renversées de manière que les gouttelettes soient suspendues vers la partie creuse des cellules afin d'éviter l'évaporation des fines gouttelettes d'eau durant l'expérience. L'ensemble de ces préparations a été placé dans des boîtes hermétiques en verre (chambre humide de Ranvier) contenant au fond de l'eau de pluie stérile.

— Les urédospores ont été placées en goutte pendante dans cinq cellules de Van Tieghem.

L'ensemble de ces préparations a été placé dans l'étuve à hygrométrie et température réglables, réglée à 23 °C, et le contrôle a été effectué au bout de 3, 6, 12, 18 et 24 h. Pour chaque procédé, cinq

répétitions ont été effectuées et pour chaque répétition 500 urédospores ont été comptées, et le pourcentage de germination a été établi après contrôle de 2.500 urédospores pour chaque laps de temps.

Essais de germination des urédospores en atmosphère saturée de vapeur d'eau

Pulvérisation d'une suspension d'urédospores dans de l'eau de pluie stérile, à l'aide d'un micro-pulvérisateur Waast, à la surface d'une mince couche de gélose étalée sur cinq lames de verre. Avant de placer les préparations dans une étuve à température et hygrométrie réglables, les gouttelettes d'eau contenant les urédospores à la surface de la gélose ont été évaporées en les plaçant devant un ventilateur. L'étuve a été spécialement conçue pour permettre d'obtenir soit une atmosphère saturée de vapeur d'eau en insufflant, à l'aide d'un compresseur, de l'air sous pression barbotant dans une cuve contenant de l'eau bidistillée, soit des degrés hygrométriques inférieurs à 100, par insufflation d'air barbotant dans la cuve contenant une solution saturée d'un sel minéral donnant une humidité relative déterminée.

Dans le cas de la présente expérience, l'atmosphère de l'étuve a été maintenue à saturation et à une température de 23 °C.

Le contrôle de la germination a été effectué au bout de 3, 6, 12, 18 et 24 h et pour chaque durée 2.500 spores ont été comptées pour établir le pourcentage moyen de germination.

Essais de germination des conidies en atmosphère non saturée

Les conidies ont été déposées par pulvérisation sur une mince couche de gélose étalée sur cinq lames de verre. Après avoir éliminé l'humidité par ventilation comme précédemment, les lames ont été placées dans l'étuve à 23 °C.

Les essais de germination ont été effectués sous les degrés hygrométriques suivants : 95, 92, 86,3 et 63,3, respectivement obtenus par barbotage de l'air insufflé dans des solutions saturées de sulfate de potassium, de sulfate mono-ammonique, de chromate de potassium et de nitrite de soude.

Le contrôle microscopique des préparations (cinq par degré hygrométrique et par durée) a été fait au bout de 3, 6, 12, 18 et 24 h. A chaque contrôle, dès leur sortie de l'étuve, les lames recevaient quelques gouttes de bleu coton au lactophénol pour tuer les urédospores.

Les résultats obtenus dans ces trois séries d'essais figurent sur le graphique III.

Résultats

Ces expériences montrent que :

— A une température optimum, la germination des urédospores est d'autant plus rapide que ces dernières sont au contact des gouttelettes d'eau.

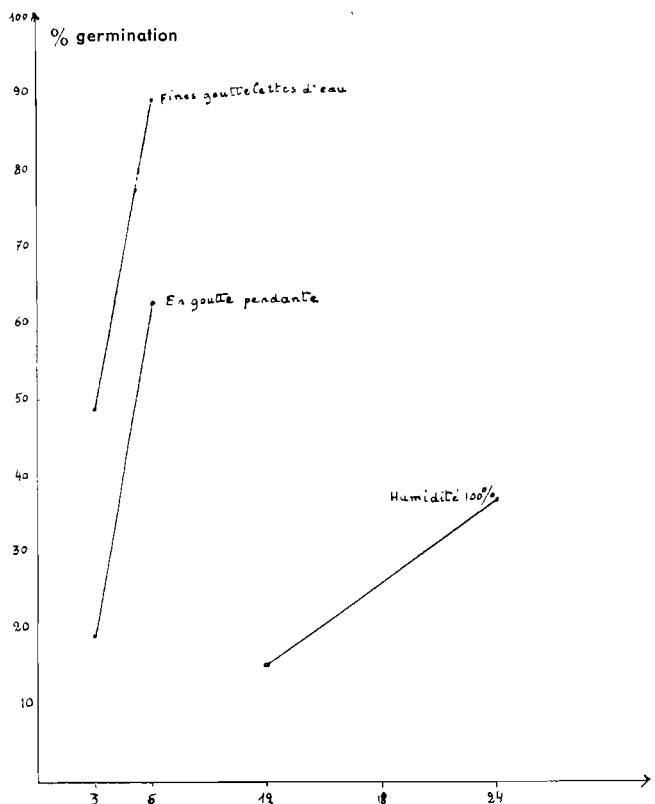
Au contact de très fines gouttelettes, le pourcentage de germination est beaucoup plus élevé au bout de trois heures : 49 %, qu'en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem : 19 %. Au bout de six heures, la germination atteint 88 % dans le premier cas et 62 % dans le second. Il est évident que les urédospores germent non seulement plus rapidement au contact de fines gouttelettes d'eau, mais également à un pourcentage beaucoup plus élevé qu'en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem. En outre, nous avons constaté que dans ce dernier cas les tubes germinatifs des urédospores germées arrêtent leur croissance et les filaments germinatifs des urédospores germées au contact des fines gouttelettes d'eau sont deux fois plus longs que ceux se développant au contact des grosses gouttes d'eau pendantes.

— En atmosphère saturée, la germination se produit également, mais elle est très lente : elle se déclenche au bout de 12 h, à un pourcentage très faible de 10 à 15 %, et au bout de 24 h elle n'atteint en moyenne, sur 2.500 spores mesurées, que 37 % et les tubes germinatifs restent courts et ne dépassent pas 40 μ de long.

— En atmosphère à humidité relative de 95 %, aucune germination n'a été observée au bout de 24 h, de même que dans les préparations soumises aux degrés hygrométriques de 92, 86,3 et 63,3.

Ces résultats permettent de conclure que la forme d'humidité la plus favorable pour la germination des urédospores d'*Hemileia vastatrix* est celle de fines gouttelettes d'eau et que les grosses gouttes sont moins propices et arrêtent la croissance des tubes germinatifs. Par contre, l'humidité saturée sous forme de vapeur se révèle peu favorable et la germination est faible et très lente.

Dans la nature, la germination des urédospores et l'infection des feuilles de caféiers sensibles ne sont possibles que pendant les périodes où ces organes sont couverts de fines gouttelettes d'eau, ou encore en présence d'une humidité saturée et très prolongée, et pendant les périodes où la température ne dépasse pas 27 au maximum 28 °C. Les pluies fines et les rosées qui couvrent la surface des feuilles pendant plusieurs heures sont particulièrement propices à la germination des urédospores et à l'infection, d'autant plus que sous ces climats les températures nocturnes et matinales varient entre 17 et 25 °C, très favorables à la germination des urédospores,



Graphique III. — Action de l'humidité sur la germination des conidies

ACTION DE LA LUMIÈRE SUR LA GERMINATION DES URÉDOSPORES

MAYNE (590) en 1932, dans ses expériences sur la germination des urédospores, avait démontré que la lumière avait une action inhibitrice sur la germination. Il en a été de même dans les essais effectués par RAYNER (764) en 1961 au Kenya, NUTMAN et ROBERTS (693) en 1963, et HOCKING (493) en 1968 en Tanzanie.

Expériences effectuées « in vitro » au laboratoire

Afin d'étudier l'influence de la lumière sur la germination des urédospores, les expériences suivantes ont été réalisées « in vitro » au laboratoire :

— Six cellules de Van Tieghem contenant en suspension des urédospores en goutte pendante dans l'eau de pluie stérile ont été préparées.

— Six lames de verre, sur lesquelles une mince couche de gélose a été étalée, ont reçu une pulvérisation, à l'aide d'un micropulvérisateur Waast,

de très nombreuses et fines gouttelettes d'eau de pluie stérile contenant une suspension d'urédospores prélevées directement sur jeunes sores de caféiers Robusta atteints d'*Hemileia*.

Les cellules de Van Tieghem et lames ainsi préparées ont été placées sur un support métallique et introduites ensuite dans les chambres humides de Malassez déposées sur la paillasse du laboratoire et exposées pendant vingt-quatre heures à la lumière du jour et électrique.

Chacun de ces essais a été répété cinq fois et l'examen au microscope a été effectué au bout de 3, 6, 12, 18 et 24 h. Un thermomètre enregistreur placé sur la paillasse du laboratoire indiquait les variations de la température ambiante pendant la durée des expériences, celle-ci variant de 22 à 27 °C.

Sur l'ensemble des préparations des cinq répétitions de chacun de ces deux essais examinées au microscope, aucune germination n'a été observée, aussi bien de la part des urédospores placées en goutte pendante que de celles au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre.

La sixième préparation de chacune des cinq répétitions, aussi bien en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem que sur lames, après avoir été exposée à la lumière pendant 24 h, a été ensuite placée dans l'étuve à l'obscurité, à 24 °C et examinée au bout de douze heures de séjour dans ces conditions. Cet examen a révélé que le pourcentage de germination en goutte pendante était de 48 % en moyenne, tandis que sur lames au contact de fines gouttelettes d'eau la germination était de 73 %.

— Une deuxième série d'essais a été effectuée en utilisant les mêmes techniques et le même nombre de répétitions.

Les six préparations des cellules de Van Tieghem et celles sur lames de chacune des cinq répétitions ont été placées pendant 6 h à l'obscurité dans une étuve à 24 °C. Au bout de cette période, cinq préparations de chacune des cinq répétitions ont été retirées et placées dans la chambre humide de Malassez où elles ont été exposées pendant 18 h à la lumière du laboratoire. Une préparation de chacune des cinq répétitions pour chaque essai a été maintenue à l'étuve à l'obscurité et retirée après 24 h de séjour.

L'examen microscopique des préparations à l'obscurité dans l'étuve à 24 °C a révélé qu'au bout de six heures de séjour, le pourcentage de germination était pour les urédospores en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem de 53 %, et sur lames au contact de fines gouttelettes d'eau de 72 %, et la longueur des tubes germinatifs dans le premier cas variait de 27 à 110 μ et dans le second de 57 à 140 μ .

Après 24 h, l'examen microscopique des préparations ayant séjourné 6 h à l'obscurité dans l'étuve

à 24 °C, puis ayant été exposées à la lumière pendant 18 h à la température ambiante du laboratoire a révélé que le pourcentage de germination des urédospores n'avait augmenté que dans une très faible proportion, ne dépassant pas 2 à 5 %, et que la croissance des tubes germinatifs était presque arrêtée.

Par contre, dans l'examen des préparations ayant séjourné pendant 24 h dans l'étuve à 24 °C à l'obscurité, le pourcentage de germination était en goutte pendante de 67 % et sur lames au contact de fines gouttelettes d'eau, de 89 %.

Une comparaison de la longueur des tubes germinatifs a permis de mettre en évidence que la lumière avait arrêté leur croissance dès que les préparations avaient été exposées et on trouva peu de différence dans celles ayant séjourné pendant 6 h à l'obscurité et ensuite 18 h en présence de la lumière.

Par contre, la longueur des tubes germinatifs des urédospores germées à l'obscurité après 24 h de séjour dans l'étuve varie, en goutte pendante, de 110 à 450 μ de long et, sur lames au contact de fines gouttelettes d'eau, de 220 à 570 μ . Les tubes germinatifs étaient vigoureux, très ramifiés et certains d'entre eux formaient des appressoria. Il y a une différence marquée non seulement dans le pourcentage de la germination d'urédospores soumises à l'obscurité et de celles soumises alternativement à l'obscurité et à la lumière, mais aussi une différence encore plus marquée dans la longueur et la vigueur de leurs tubes germinatifs.

Ces expériences montrent que :

— Les urédospores placées dans de bonnes conditions d'humidité et de température ne germent pas en présence de la lumière qui a une action inhibitrice marquée sur la germination.

— Les urédospores soumises aux mêmes conditions de température et d'humidité, et placées alternativement à l'action de l'obscurité et de la lumière, germent seulement à l'obscurité et l'action de la lumière, non seulement arrête la germination, mais inhibe la croissance des tubes germinatifs.

Les mêmes résultats ont été obtenus lors d'essais d'inoculations artificielles de plantules de clones de caféiers Robusta ainsi que lors d'essais sur fragments de feuilles de la même espèce flottant sur l'eau stérile dans des boîtes de Pétri. (chap. Inoculations artificielles, p. 61). Ces résultats confirment ceux obtenus par les différents auteurs et en particulier par MAYNE, RAYNER, NUTMAN, ROBERTS et HOCKING.

Ces essais permettent de conclure que dans la nature, les infections des feuilles ne doivent se faire que pendant la nuit, lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Contaminations artificielles : infection, durée d'incubation

WARD (1048), en 1882, pratiquait déjà des inoculations artificielles sur des caféiers à Ceylan ; il indiquait que les filaments germinatifs des urédospores ne semblent pas capables de pénétrer directement la cuticule saine de la feuille ; l'auteur n'a pu opérer l'infection par la face supérieure de la feuille dépourvue de stomates qu'en enlevant au préalable, par une coupe tangentielle, la cuticule de la feuille et en mettant à nu le parenchyme sous-jacent.

Par contre, ce même auteur, en pratiquant des contaminations artificielles en déposant des urédospores sur la face inférieure des feuilles de caféier, a observé que la germination des urédospores peut commencer même avant 24 h ; le jour suivant, le tube germinatif atteint les stomates et le troisième jour le mycélium a déjà pénétré entre les cellules de la feuille.

Lorsque l'infection est réalisée, c'est-à-dire lorsque le filament germinatif de l'urédospore a pénétré le parenchyme de la feuille, il se passe un certain temps avant qu'une manifestation extérieure quelconque vienne indiquer la présence du parasite, bien que l'analyse microscopique permette de le déceler sûrement. WARD considère qu'en général c'est vers le quatorzième jour que la tache se montre avec évidence ; peu distincte au début, elle prend bientôt une teinte jaunâtre et produit les urédospores caractéristiques.

Cependant, le même auteur a vu apparaître ces taches dès le neuvième jour dans les cas particulièrement favorables pour le parasite et sur les feuilles très jeunes.

D'autres expériences effectuées par le même auteur (1049) ont prouvé que la sécheresse allonge notablement la durée d'incubation. Il est aussi résulté de ses observations que la variété de caféier n'est pas sans importance, non plus que l'âge de la feuille, puisque sur les feuilles adultes la tache n'est guère visible avant le dix-septième jour. Ces différences dans l'évolution de l'*Hemileia* s'expliquent d'ailleurs sans difficulté par le fait que chez les feuilles jeunes, la minceur et le défaut d'incrustation des membranes facilitent singulièrement l'extension du mycélium et de ce fait la

période d'incubation de la maladie se trouve raccourcie.

D'un autre côté, il est vraisemblable que les conditions d'épaisseur et d'incrustation des membranes varient sensiblement d'une variété à l'autre.

Cette notion de la durée d'incubation de l'*Hemileia* a permis à BURCK (222), en 1889, de fournir l'explication du fait que la maladie paraît en général plus intense sur la troisième paire de feuilles que sur les deux premières non déroulées, qui semblent souvent encore indemnes. Cela tient à ce que les feuilles de la troisième paire, qui sont alors en général étalées, ont été infectées très jeunes dans le bourgeon pendant que les deux paires supérieures apparaissaient. L'*Hemileia vastatrix* a atteint sur la troisième paire la période aiguë pendant laquelle la production des urédospores est à son maximum. A ce moment, sur les deux premières paires, au contraire, l'infection, quoique souvent réalisée, peut n'avoir pas dépassé la période d'incubation, époque où elle n'est pas encore apparente. La tache apparue, les urédospores sortent par les stomates au bout de très peu de jours, et d'autant plus rapidement que les conditions extérieures sont plus propices à la végétation du parasite.

Les urédospores se détachent à mesure qu'elles mûrissent et en même temps de nouvelles surgissent à leur place. La production des urédospores pourrait ainsi durer sur une tache de dix à seize semaines et même plus (1048) ; le nombre d'urédospores produites est très considérable. WARD en aurait compté jusqu'à 150.000 sur une seule tache. Elles sont toujours plus nombreuses sur les jeunes feuilles.

Lors de l'apparition d'une tache jaune, il s'écoule quinze à vingt-quatre jours entre l'infection et la première apparition des spores. Dans le cas des *Robusta* très sensibles, ces délais étaient respectivement vingt, vingt-neuf et trente-cinq jours.

MAYNE (588) mentionne la présence de deux formes physiologiques d'*Hemileia vastatrix* dans le sud de l'Inde, et la première réussite des infections, en l'absence de lumière, a été obtenue tout de suite après l'inoculation.

GYDE (450), 1932, en Afrique du Sud, indique que *H. vastatrix* est un parasite de nombreuses Rubiacées. La période d'incubation sur caféiers est de trente jours environ ; des inoculations artificielles croisées entre *Mangueria pygmaea* et *infausta* étaient positives ; les autres négatives. Les mêmes résultats ont été obtenus par EVANS (Ann. Report

Transvaal, Dep. Agri., p. 165, 1906-1907), qui a noté la présence de quelques téléutospores se développant dans les urédospores de *M. pygmaea*.

Mc DONALD (639), 1937, indique qu'au Kenya les résultats des inoculations artificielles des caféiers sauvages (*C. eugenioides*) ont montré que ces derniers ne présentent pratiquement aucun symptôme, même quand l'infection s'est installée.

MARCHAL, MANIL et WANDERWALLE (568), 1937, indiquent que deux à trois semaines environ après l'infection des feuilles de la plante, il peut déjà y avoir une nouvelle génération d'urédospores ; cette période d'incubation est réduite de neuf à dix jours pour les jeunes feuilles.

VIENNOT-BOURGIN (1000), 1949, indique que la période d'incubation de l'*H. vastatrix* varie de dix à quatorze jours après lesquels de nouvelles taches se constituent et l'invasion du feuillage se poursuit.

ROGER (791), 1951, mentionne que le temps nécessaire pour la réalisation de l'infection est assez élevé ; en moyenne deux à trois jours.

La durée d'incubation, d'après cet auteur, varie en fonction d'un grand nombre de facteurs : la température, l'espèce à laquelle appartient l'hôte, l'âge des feuilles, etc... ; l'incubation dure en moyenne sept à douze jours pour l'apparition des taches et de quinze à vingt jours pour la sporulation. Ces durées sont réduites chez les jeunes feuilles où l'émission des spores peut avoir lieu au minimum neuf jours après l'infection ; au contraire, elle exige au moins deux semaines, et parfois jusqu'à vingt-cinq jours, sur les feuilles âgées.

A la température moyenne de 19-20 °C, un peu faible pour la croissance d'*Hemileia*, la sporulation demande un délai d'un mois ; chez les variétés résistantes, le développement se trouve également retardé ; ainsi, pour le Robusta, les taches apparaissent en moyenne en trois semaines et les spores un mois à six semaines après la pénétration.

L'infection peut s'effectuer à tout âge, même sur les plantules ; sur les caféiers adultes, elle s'opère habituellement très tôt sur les jeunes feuilles sorties du bourgeon, ou quelquefois même dans le bourgeon lui-même, mais étant donné le temps nécessaire à l'incubation, la maladie se manifeste par ses symptômes externes sur la deuxième ou troisième paire de feuilles en-dessous du bourgeon. L'attaque directe des feuilles âgées est peu fréquente, car la pénétration est moins facile que dans les tissus jeunes.

La production d'urédospores sur une même tache se prolonge pendant un temps très variable, en rapport avec la résistance ou l'adaptation de l'hôte.

La fructification très brève chez les caféiers réfractaires, présentant une nécrose rapide des points d'infection, peut au contraire durer très longtemps dans le cas où la nécrose n'apparaît pas.

La faculté germinative des urédospores se conserve plusieurs semaines dans l'air sec, mais elle apparaît assez vite altérée par de fortes températures, particulièrement en présence d'humidité.

Les téléutospores germent facilement dans l'eau pure ou légèrement sucrée en émettant un long promycélium de 400-500 μ , divisé par trois cloisons transversales en quatre cellules ; chacune de celles-ci donne naissance à une basidiospore, ou sporidie, sphérique ou ovale, contenant souvent une grosse vacuole et portée par un fin stérigmate.

RAYNER (753), 1955, décrit les essais des contaminations artificielles pour déterminer l'incubation d'*Hemileia vastatrix* et voir si elle varie avec l'époque de l'année.

X (1128), en 1955, dans son rapport annuel au Kenya, indique que la période s'écoulant entre l'infection par l'*H. vastatrix* et la sporulation était de quatre à cinq semaines dans les conditions normales et qu'elle pouvait atteindre sept semaines par temps froid.

RAYNER (755), en 1958, note une épidémie de rouille due au temps de janvier et février ; il effectue des inoculations artificielles positives. Les spores, après ses expériences, se trouvent seulement à la face supérieure de la feuille et apparemment atteignent la face inférieure avec l'aide de la pluie. La pénétration se fait toujours par les stomates localisés à la face inférieure. Les feuilles des caféiers étaient par conséquent traitées avec des fongicides à la face supérieure, mises à sécher, puis soumises à des pulvérisations d'eau distillée et les égouttures étaient ramassées. La germination des spores de l'*H. vastatrix* dans le liquide était considérablement réduite.

D'après RAYNER (764), 1961, les études faites à Ruiru (Kenya) montrent que les spores d'*Hemileia vastatrix* existant dans l'air peuvent effectivement être déposés sur la face inférieure des autres feuilles par la pluie.

Dans les champs, si les caféiers sont humides dans la nuit tombante ou si la pluie tombe avant minuit, l'infection est probable. La période moyenne d'incubation est de quatre à sept semaines et augmente avec les températures basses et la sécheresse. La sensibilité et la période d'incubation sont fortement affectées par la variété du caféier et le biotype du champignon, mais non par l'âge de la feuille ou l'importance de la récolte. La pluie a plus de chance de produire des gouttelettes d'eau que la rosée, qui se forme rarement sur la face inférieure. Ainsi juste à la tombée de la nuit ou lorsque la pluie tombe avant, on peut considérer 22 h comme une limite inférieure des occasions permettant à l'infection de se produire. Il est possible qu'une limite supérieure puisse être fixée, au cours des nuits où la pluie tombe, à 2 h du matin.

Dans son rapport, X (1147), en 1963, indique qu'au Kenya la période moyenne d'incubation de la race II d'*H. vastatrix*, entre 16 et 24 °C, sur les disques de feuilles au laboratoire, variait de vingt-six à vingt-huit jours et dépendait des variétés de caféier, mais avec la variété Blue Mountain, elle était de dix-huit à quarante et un jours. Les infections dues à la rouille apparaissent naturellement sur les cerises de café et étaient signalées pour la première fois en octobre 1962 sur la sélection F 83 du Tanganyika et l'hybride Laurina × Maragogyne. La période d'incubation était moins grande sur les cerises que sur les feuilles, quelquefois seulement de onze jours au laboratoire.

Des essais de contaminations artificielles ont été entrepris au Laboratoire de Phytopathologie du Centre de Boukoko, d'une part, sur des disques flottants de feuilles de *C. robusta* et, d'autre part, sur feuilles de plantules en pot âgées de huit mois et portant trois paires de feuilles bien développées.

Le but de ces essais était d'étudier expérimentalement, dans des conditions de température et d'humidité déterminées, tous les phénomènes de germination des urédospores en contact avec la face inférieure des feuilles, la formation d'appressoria, le processus de pénétration des hyphes d'infection à travers l'ostiole des stomates, l'évolution du mycélium à l'intérieur des tissus, la durée d'incubation de la maladie, la formation des urédospores ainsi que le degré de sensibilité de différents clones de *C. robusta* mis à l'épreuve.

Essais d'inoculations artificielles

Pour ces essais, nous avons procédé avec deux méthodes d'inoculation :

La première a été appliquée au laboratoire sur des disques de feuilles flottant sur l'eau de pluie stérile dans des boîtes de Pétri.

La seconde, sur plantules de quarante-quatre clones d'élite de *C. robusta* mis à notre disposition par le laboratoire de génétique pour les tests de résistance à la rouille.

ESSAIS SUR DISQUES DE FEUILLES FLOTTANTS

Pour cet essai, nous avons employé trois techniques différentes que nous décrivons dans le chapitre : « Races physiologiques et biologiques » (p. 76). Parmi ces trois, nous avons retenu la première qui donne les meilleurs résultats. Elle

consistait à faire flotter dans des boîtes de Pétri des fragments de feuilles de 3 cm² de surface environ, dont la face supérieure était en contact avec la surface de l'eau et la face inférieure était retournée vers le haut, et à déposer à leur surface de nombreuses et fines gouttelettes d'eau stérile à l'aide d'un micropulvérisateur contenant en suspension de nombreuses urédospores prélevées directement sur de jeunes sores de feuilles de Robusta contaminées naturellement. Les couvercles ont été laissés sur les boîtes pendant quatre jours de façon à conserver les gouttelettes en maintenant l'humidité saturée de l'atmosphère ambiante afin de favoriser la germination des spores et l'infection des feuilles. Parallèlement, des pulvérisations toutes les douze heures ont été effectuées pendant les quatre premiers jours afin de maintenir constamment humide la surface de la face inférieure des feuilles contaminées. Après cette période, les couvercles de toutes les boîtes ont été enlevés, ce qui permet d'éviter l'immersion des fragments à la suite d'une forte condensation et de les maintenir à la surface de l'eau durant la période d'expérience.

L'utilisation de fragments prélevés sur de très jeunes feuilles a été exclue du fait que leur survie ne dépassait pas dix à douze jours. Par contre, pour l'étude complète du champignon, nous avons utilisé des fragments de feuilles de *C. robusta* bien formées dont la conservation sur la surface de l'eau dure pendant vingt-cinq à trente-deux jours, si toutes les précautions sont prises pour les maintenir à la surface de l'eau et éviter leur immersion, qui conduit à leur noircissement rapide.

Le prélèvement des feuilles a été fait sur des plants de clones d'élite âgés de deux ans et plantés en bacs en choisissant des feuilles formées sur les branchettes du sommet.

Les feuilles avant leur utilisation ont été examinées à la loupe binoculaire puis lavées à l'eau stérile et séchées rapidement par un courant d'air donné par un ventilateur.

Nous avons procédé à des inoculations par prélèvement d'urédospores sur des sores jeunes de caféiers infectées naturellement et non contaminés par les hyperparasites.

Les nombreux essais sur la germination des urédospores effectués au laboratoire avaient montré que :

— Les températures les plus favorables pour la germination des urédospores variaient entre 20 et 25 °C et que les températures de 23 et 24 °C étaient considérées comme étant optimales.

— Le maximum de germination des urédospores s'obtenait quand ces dernières étaient au contact de fines gouttelettes d'eau et que dans les grosses gouttes le pourcentage de germination était moins élevé, en outre, l'immersion complète des

urédospores germées arrête la croissance des tubes germinatifs.

— Les nombreux essais de germination effectués au laboratoire en présence de la lumière donnèrent constamment des résultats négatifs et que par contre, les mêmes essais effectués à l'obscurité donnèrent des résultats positifs, ce qui montre que la lumière, non seulement inhibe la germination des urédospores, mais arrête également la croissance des tubes germinatifs quand les urédospores en germination à l'obscurité sont exposées par la suite à la lumière.

Pour la réalisation de ces essais, nous avons choisi la température de 24 °C obtenue dans une petite pièce hermétique par le fonctionnement d'un climatiseur. Après l'inoculation des fragments de caféier flottant dans les boîtes de Pétri, ces dernières ont été introduites dans la pièce maintenue à l'obscurité pendant quatre jours. Après cette période, les boîtes de Pétri, dont le couvercle avait été enlevé, ont été transportées au laboratoire et exposées à la lumière du jour et à la température ambiante qui variait de 21 à 27 °C.

Dispositif expérimental

Pour cet essai, 52 boîtes de Pétri contenant les fragments de feuilles flottant sur l'eau stérile ont été préparées et réparties en treize lots de quatre boîtes chacun. La face inférieure des fragments renversés faisant surface sur l'eau a été inoculée par pulvérisation de nombreuses et fines gouttelettes d'eau contenant des urédospores en suspension à l'aide d'un micropulvérisateur.

Chaque lot numéroté de un à treize a été placé dans une chambre en pleine obscurité où la température a été préalablement réglée à 24 °C.

Le contrôle a été effectué au bout de trois, six, douze, dix-huit, vingt-quatre heures ; trois, six, douze, dix-huit, vingt-quatre, vingt-six, vingt-huit et trente jours, en pratiquant sur l'emplacement des inoculations des fragments flottant dans les boîtes de Pétri, des coupes tangentielles et transversales qui, examinées au microscope, nous ont permis d'étudier tous les phénomènes de germination des urédospores, la pénétration et l'évolution du parasite dans les tissus de la plante-hôte, ainsi que la durée d'incubation.

Ces essais ont été répétés trois fois et chacun d'eux a duré un mois à trente-cinq jours environ.

Premiers stades d'infection

GERMINATION DES URÉDOSPORES

Le contrôle de la germination des urédospores à la surface des fragments de feuilles a été réalisé en effectuant des coupes tangentielles très minces et transparentes au niveau des emplacements des

contaminations au bout de 3, 6 et 12 h, après avoir évaporé les gouttelettes d'eau à l'aide d'un ventilateur. Pour le contrôle des germinations au bout de 18 et 24 h, nous avons procédé à des coupes tangentielles et transversales tandis que pour les contrôles au bout de trois, six, douze, dix-huit, vingt-quatre, vingt-six, vingt-huit et trente jours, seules des coupes transversales ont été pratiquées.

— **Au bout de trois à quatre heures** : les coupes tangentielles montrent que 15 à 35 % des urédospores germent en donnant naissance à un tube germinatif court et trapu, mesurant 15 à 70 × 6 à 8 μ , non cloisonné. Les urédospores en germination à proximité des stomates sont douées d'un tropisme caractéristique : ils se dirigent vers l'ostiole en décrivant parfois une courbe assez marquée. Les tubes germinatifs d'un petit nombre d'urédospores, ne dépassant pas 5 à 10 %, forment à leurs extrémités des renflements caractéristiques, de formes et dimensions variables, dont la membrane plus épaisse contient un protoplasme plus dense. Ces renflements caractéristiques ne sont que les appressoria en voie de formation, mais aucune infection apparente n'a pu être décelée au bout de cette période.

— **Au bout de six à huit heures** : l'examen des fragments de feuilles du lot n° 2 révèle alors une germination de 50 à 85 % de spores. Les urédospores germées à la surface de la cuticule des fragments de feuilles contaminés présentent deux aspects différents :

Les unes, qui représentent la plus grande partie des urédospores germées, environ 65 à 85 %, germent en donnant un, parfois deux, rarement trois tubes germinatifs qui s'allongent en se ramifiant de place en place sans former d'appressoria à leur extrémité. Ces hyphes, au bout de cette période, peuvent atteindre 45-156 μ de long sur 6 à 8,5 μ de large et sont dépourvues de cloisons transversales : c'est le faciès classique observé dans les essais de germination en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem et sur lames au contact de fines gouttelettes d'eau.

Les autres, qui représentent 15 à 35 % d'urédospores germées, donnent naissance à un tube germinatif court et trapu de 20 à 50 μ de long sur 7 à 9 μ de large, dont l'extrémité au contact de la cuticule se dilate, prenant une forme ovale, globuleuse ou en losange ou parfois irrégulièrement arrondie. Ce renflement apical très caractéristique, au début incolore et à membrane mince, devient rapidement brunâtre entouré d'une membrane épaisse de coloration brunâtre (fig. 14) à contenu protoplasmique dense. Ce renflement caractéristique qui mesure 14 à 25 μ de long sur 12 à 16 μ de large constitue l'appressorium. Examiné en coupe optique à

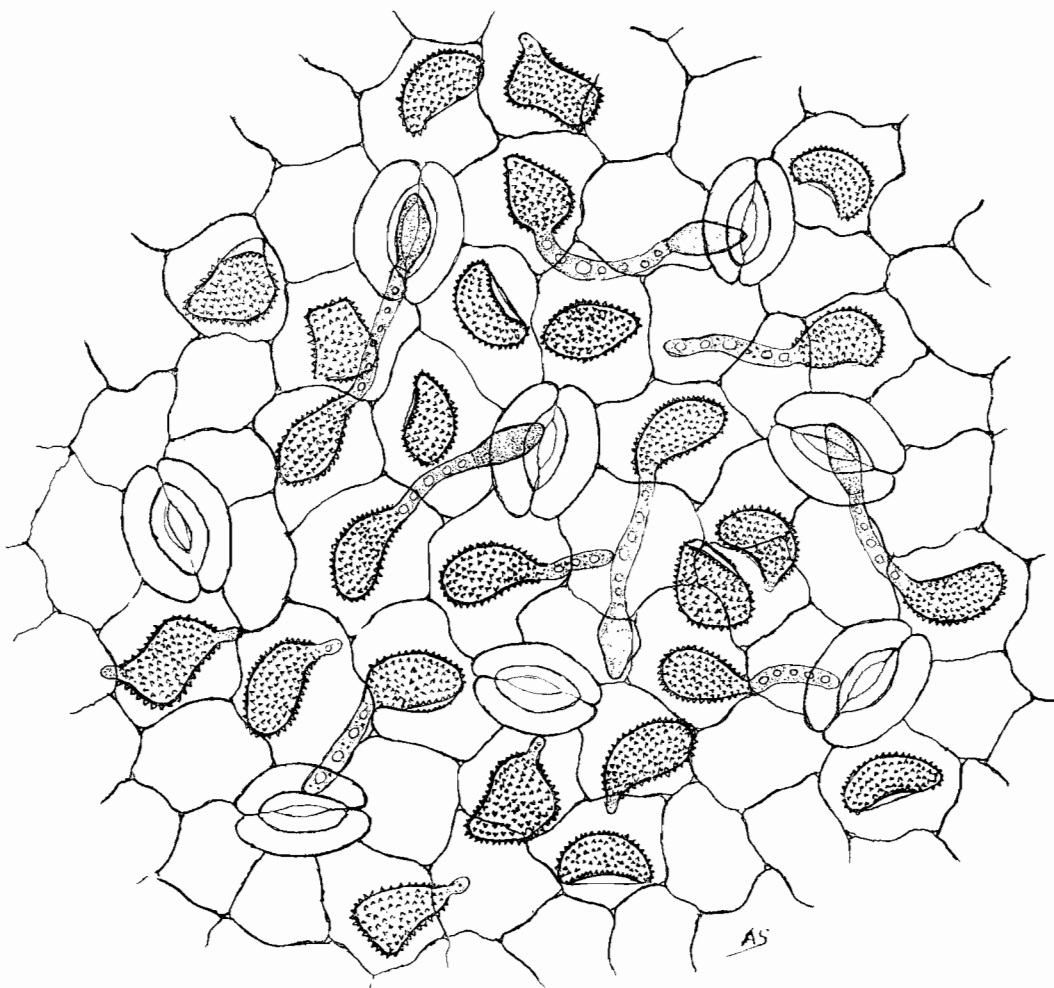


Fig. 13. — Coupe tangentielle sur la face inférieure du limbe d'un fragment de feuille flottant dans une boîte de Pétri, trois heures après l'inoculation artificielle à 24 °C, montrant les différents stades de germination des urédospores

l'objectif à immersion, il présente un point brillant, discoïde, de 2 à 2,5 μ de diamètre, ayant l'apparence d'un pore germinatif ; c'est à partir de ce pore que prend naissance l'hyphé d'infection qui traversera l'orifice stomatique lorsque l'appressorium prendra contact avec le stomate.

Les tubes germinatifs portant à leur extrémité un appressorium sont doués d'un tropisme très caractéristique : on constate souvent qu'ils se dirigent vers un stomate, quelle que soit leur position par rapport à ce dernier, en décrivant parfois une courbe pour l'atteindre, et s'appliquent étroitement à la surface (fig. 13 et 14).

En général, l'appressorium se forme à l'extrémité d'un tube germinatif bien différencié ou parfois aux extrémités de longs tubes germinatifs, plus rarement à l'extrémité d'un tube germinatif à peine différencié et dans ce dernier cas l'uré-

dospore est placée à proximité ou au contact d'un stomate.

Les coupes tangentielles permettent d'observer que des infections se sont produites, mais en nombre relativement faible par rapport au nombre d'urédospores germées à la surface de la cuticule, et au bout de cette période elles ne dépassent pas 10 à 15 %. La pénétration de l'hyphé d'infection à travers l'orifice stomatique devient apparente sur ces mêmes coupes, mais elle est plus visible sur les coupes transversales (fig. 15). En effet, on constate que cette hyphé prend naissance au niveau de la partie brillante de l'appressorium, qui, comme nous l'avons indiqué, a l'aspect d'un pore. Grêle, à paroi mince, incolore, de forme cylindrique, elle pénètre à travers l'ostiole pour gagner la chambre sous-stomatique. Son extrémité s'élargit alors en une vésicule globuleuse ou d'aspect

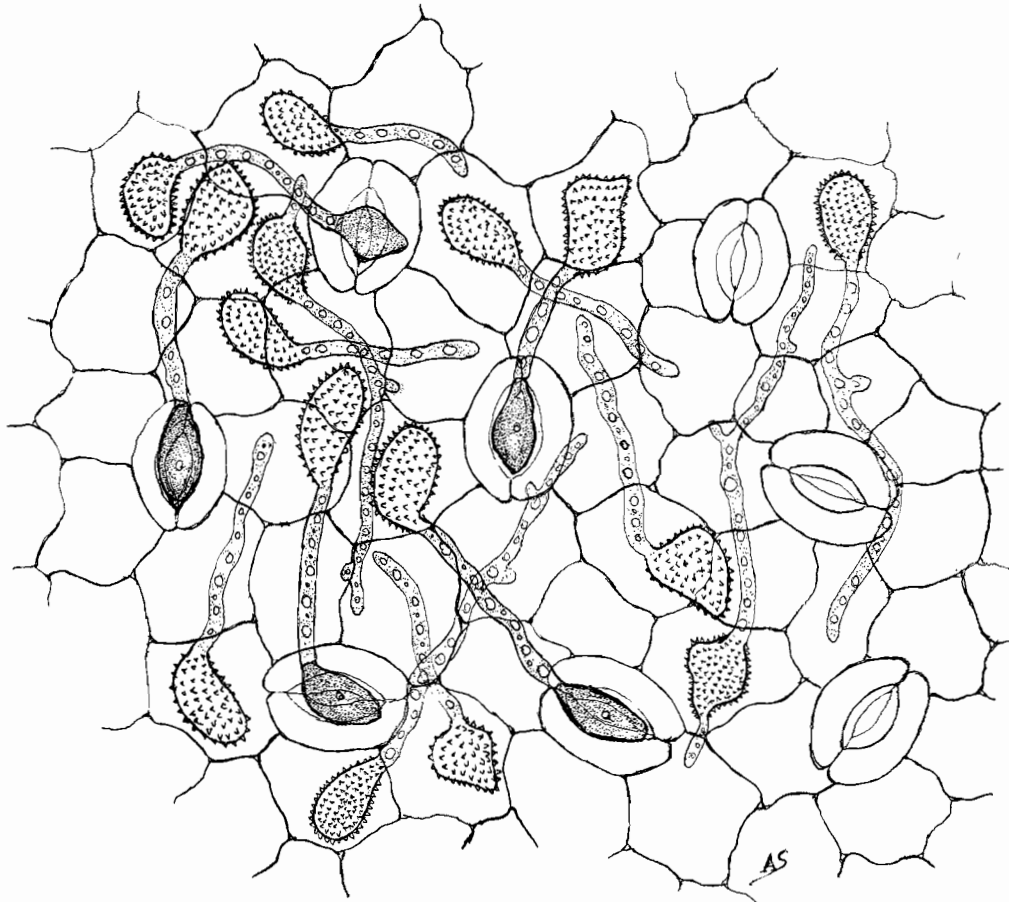


Fig. 14. — Coupe tangentielle sur la face inférieure d'un fragment de feuille de *Coffea robusta* flottant dans une boîte de Pétri, six heures après la contamination artificielle, montrant la formation d'appressoria aux extrémités des filaments germinatifs appliqués sur la surface des stomates

amiboïde pour constituer l'hyphe primaire qui, proliférant rapidement, donne naissance à de nombreuses ramifications qui tendent à occuper toute la cavité sous-stomatique. Parfois, le tube germinatif se ramifie en deux filaments qui forment, chacun à son extrémité, un appressorium typique. Il est rare que le tube germinatif au contact d'un stomate pénètre directement dans son orifice sans y former un appressorium. Nous n'avons jamais observé de pénétration directe à travers la cuticule, l'hyphe de pénétration étant incapable de percer directement cette dernière.

— **Au bout de douze à quatorze heures :** les coupes tangentielles et transversales mettaient mieux en évidence les premiers stades d'infection. Sur l'ensemble des préparations contrôlées, le nombre d'infections ne dépassait pas 20 à 30 % de spores germées. Les coupes tangentielles montrent que peu d'infections nouvelles ont été réalisées. Par contre, la plupart de celles observées précédemment étaient à un stade plus avancé. Dans

l'ensemble des cas, l'hyphe primaire a donné naissance à de nombreuses hyphes secondaires, incolores, qui ont déjà envahi toute la cavité de la chambre sous-stomatique. Parfois, l'infection étant plus avancée, les hyphes, après avoir envahi la chambre sous-stomatique, ont pénétré profondément dans les tissus du parenchyme lacuneux, en cheminant à travers la membrane mitoyenne et les méats du tissu lacuneux, aussi bien en profondeur qu'en largeur. Au contact des parois des cellules, les hyphes émettent un filament grêle qui perce les parois et pénètre dans la cavité où il se renfle en une vésicule cylindrique à ovoïde qui est un suçoir. Dans chaque cellule, on peut trouver un à deux suçoirs, rarement plus.

A ce stade, nous n'avons observé aucune altération apparente des tissus envahis.

— **Au bout de dix-huit à vingt-quatre heures :** aucune altération ni décoloration sur les limbes des fragments contaminés n'a été observée au bout de cette période.

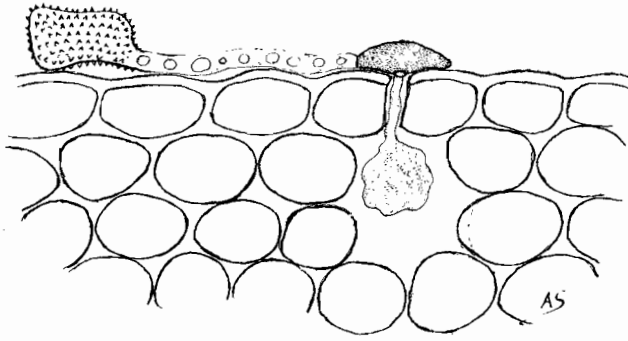


Fig. 15. — Coupe transversale sur fragment de feuille flottant, huit heures après la contamination, montrant l'hyphe de pénétration issue d'un appressorium traversant l'orifice stomatique, en s'élargissant dans la chambre sous-stomatique sous forme d'une vésicule globuleuse à contour irrégulier

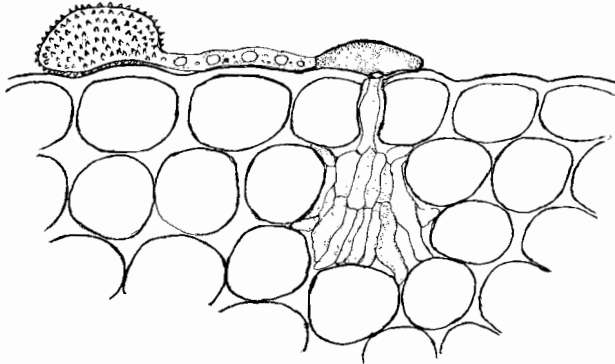


Fig. 16. — Coupe transversale sur fragment de feuille flottant, douze heures après la contamination artificielle, montrant la prolifération de l'hyphe primaire ayant envahi toute la cavité de la chambre sous-stomatique

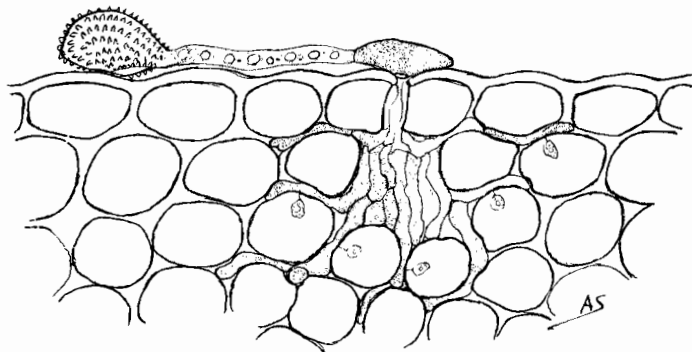


Fig. 17. — Coupe transversale sur fragment de feuille flottant dans une boîte de Pétri, contaminé artificiellement, au bout de dix-huit à vingt-quatre heures, montrant la progression intercellulaire des hyphes mycéliennes au travers du tissu lacuneux et la formation des premiers suçoirs intracellulaires.

Les coupes tangentielles montrent qu'un certain nombre d'urédospores n'a pas germé ; le pourcentage est faible et varie de 10 à 15 % suivant les préparations. Les tubes germinatifs des urédospores germées n'ayant pas formé d'appressoria sont très allongés, atteignant 200 à 600 μ de long avec de nombreuses ramifications secondaires et tertiaires, formant un réseau assez dense sur la surface de la cuticule ; les urédospores germées sont vidées de leur contenu protoplasmique qui a cheminé dans les tubes germinatifs au fur et à mesure de leur élévation. Les urédospores vidées de leur contenu prennent une coloration jaune clair et leurs parois sont déformées.

Les coupes transversales montrent que les hyphes mycéliennes ont pénétré profondément dans le tissu lacuneux, mais n'ont pas envahi toute son épaisseur. Elles cheminent toujours à travers la membrane mitoyenne et au contact des

cellules elles émettent un filament grêle qui pénètre à l'intérieur de la cavité cellulaire où il forme un suçoir. Dans les méats, les hyphes se condensent en formant des amas d'hyphes qui remplissent toute la cavité. Jusqu'à cette période, aucune altération visible macroscopiquement ni microscopiquement n'a été observée. Les cellules envahies par les suçoirs ne présentent pas non plus d'altérations de leur contenu protoplasmique.

— **Au bout de trois jours** : aucune altération des tissus n'est macroscopiquement visible.

Les coupes transversales montrent que les hyphes ont envahi toute l'épaisseur du tissu lacuneux et ont atteint le niveau des cellules en palissade non encore envahies par le mycélium. Leur progression horizontale est également importante et les hyphes très ramifiées et toujours intercellulaires, incolores, à contour irrégulier et non cloisonnées transver-

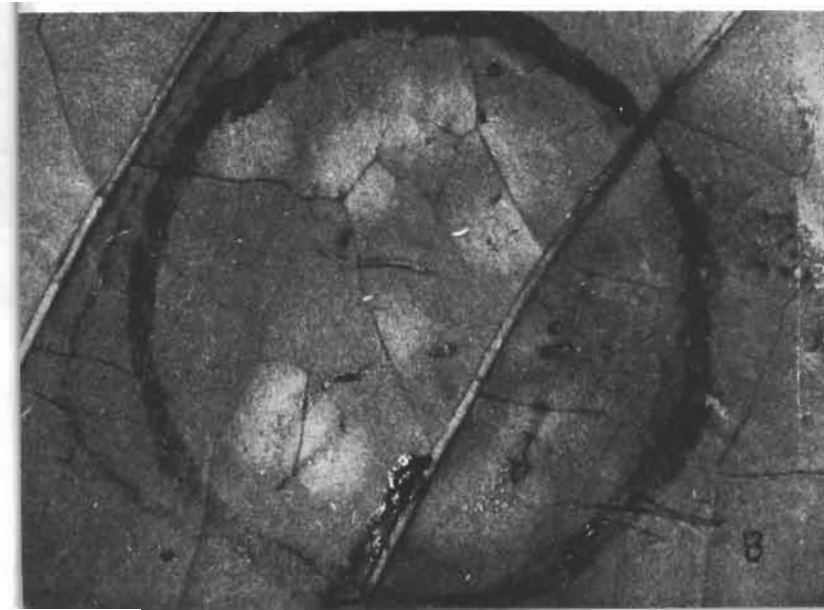
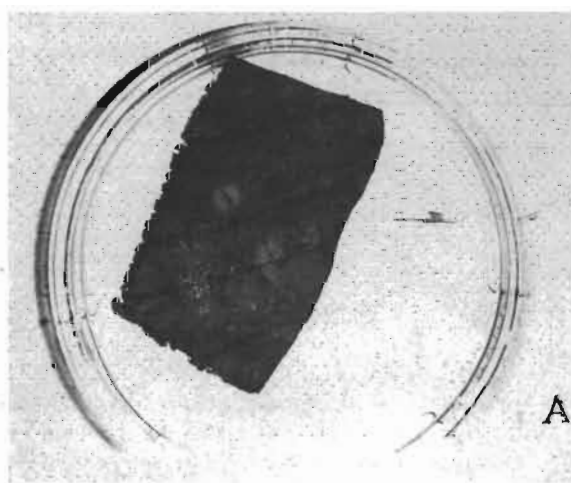
salement forment dans les inéats des amas de mycélium très dense, tandis que dans son parcours le mycélium envoie au travers des membranes des filaments grêles qui pénètrent les parois des cellules, s'insérant à l'intérieur en suçoirs ovoïdes à réniformes, dont le nombre ne dépasse pas un à trois par cellule. Les cellules au voisinage de la chambre sous-stomatique, les premières affectées par les hyphes du champignon et dont le cytoplasme est envahi par les suçoirs, manifestent une légère altération du contenu protoplasmique qui se condense et se coagule, mais aucun brunissement n'est encore visible.

— **Au bout de six à huit jours** : aucun indice extérieur ne permet de déceler la présence du parasite à l'intérieur des tissus et aucune décoloration

Fig. 18. — Aspect macroscopique des premières taches sur la surface du limbe dix-huit à vingt-quatre jours après la contamination :

A : Aspect des taches sur fragment de feuille de *Coffea robusta* (clone XX-5) flottant, grosseur naturelle

B : Aspect des taches sur fragment de feuille fortement grossi



ni tache jaunâtre n'est visible à l'œil nu, ni à la loupe binoculaire.

Les coupes transversales permettent d'observer que le mycélium progresse dans tous les sens et dans certaines coupes on observe des hyphes entre les cellules en palissade, mais de tels cas sont peu nombreux et le mycélium s'étend après avoir envahi toute l'épaisseur du tissu lacuneux, en largeur. Les cellules au voisinage des stomates manifestent des altérations de leur contenu protoplasmique, qui se condense et prend une coloration brunâtre tandis que les chloroplastes s'altèrent ; une grosse vacuole se forme et le noyau s'hypertrrophie. Cette altération est lente et très progressive, aussi bien en profondeur qu'en largeur, et sans doute variable suivant la sensibilité des clones, variétés et espèces de caféiers.

— **Au bout de douze jours** : les coupes transversales révèlent une extension du mycélium du champignon en profondeur et surtout latéralement. Le mycélium dans la plupart des cas est présent dans le tissu palissadique où il circule entre les cellules et atteint le niveau des cellules épidermiques. Dans le tissu lacuneux, le mycélium très dense s'est développé dans toutes les directions et a déjà envahi le tissu sur un grand diamètre à partir du point primaire d'infection et tous les méats sont occupés par de nombreux filaments mycéliens densément enchevêtrés. On observe également une altération profonde des cellules du tissu lacuneux qui s'étend en grande profondeur, mais aucune tache nécrotique ni aucun jaunissement des tissus n'est visible à l'œil nu.

— **Au bout de dix-huit à vingt-quatre jours** : l'examen macroscopique des fragments de feuilles révèle l'apparition sur la surface du limbe de certaines feuilles de petites taches jaunâtres à peine visibles à l'œil nu, de forme plus ou moins arrondie et diffuse. Par contre, sur d'autres, aucune tache n'est apparente, surtout sur les feuilles inoculées dix-huit jours auparavant.

Les coupes transversales montrent des altérations profondes des tissus lacuneux et palissadique et le contenu cellulaire devient brunâtre, coagulé et se concentre vers le centre de la cavité. Le mycélium très abondant est formé d'hyphes incolores, parfois cloisonnées, très ramifiées, tortueuses, toujours intercellulaires, d'un diamètre irrégulier suivant leur position entre les cellules, qui varie de 3,5 à 8,5 μ . Au bout de cette période, les coupes transversales montrent que les hyphes du champignon qui circulent dans tous les sens ont envahi toute l'épaisseur du parenchyme lacuneux et palissadique. Dans les cellules du parenchyme lacuneux, ils envoient de très nombreux suçoirs sphériques, ovalaires ou réniformes, mesurant 7 à 9 \times 5 à 8 μ . De gros éléments mycé-

liens ont envahi le fond de la chambre sous-stomatique, mais il n'y a pas encore formation de stérigmates portant des urédospores.

— **Au bout de vingt-six jours :** on observe à la surface de tous les fragments examinés, l'apparition de petites taches jaunâtres, diffuses, plus ou moins arrondies, atteignant 0,5 à 0,2 mm de diamètre, mais on ne note aucune fructification.

Les coupes transversales révèlent une altération profonde des tissus du parenchyme lacuneux et palissadique sur une grande étendue, et la présence dans les chambres sous-stomatiques d'un mycélium large qui envoie à travers l'ostiole des stérigmates en nombre variable (5 à 25) ; mais aucune formation d'urédospores n'a été observée.

Nous pouvons conclure que dans les conditions de l'expérience, la période d'incubation d'*H. vastatrix* sur feuilles développées de *C. robusta* varie de dix-huit à vingt-quatre jours et parfois jusqu'à vingt-six jours après la contamination.

— **Au bout de vingt-huit à trente jours :** on observe sur la plupart des fragments de feuilles l'apparition de petites taches jaune orange à rouge, d'aspect poudreux, ne dépassant pas 1 à 2 mm de diamètre ; dans certains échantillons, la formation de ces taches jaunâtres ou urédosporées n'était visible qu'au bout de trente à trente-deux jours.

Les coupes transversales montrent que les ostioles des stomates étaient traversés par de nombreux stérigmates portant à leurs extrémités des urédospores à différents stades de leur développement (fig. 20).

On peut considérer que la période de sporulation après l'inoculation varie de huit à douze jours dans les conditions de l'expérience.

Conclusions

En résumant les résultats de ces essais, on peut tirer les conclusions suivantes :

— La germination des urédospores à la surface des fragments de feuilles de caféiers flottant dans des boîtes de Pétri, au contact de fines gouttelettes d'eau, commence au bout de trois à quatre heures (15 à 35 %) et atteint son maximum au bout de six à huit heures (50 à 85 %) à 24 °C.

— Parmi les urédospores germées, un faible pourcentage (15 à 35 %) forme des appressoria pouvant pénétrer les ostioles des stomates et provoquer des infections.



Fig. 19. — Aspect macroscopique des taches urédosporées sur fragment de feuille flottant fortement grossi, vingt-six jours après la contamination, avec formation des premiers urédospores sporifères

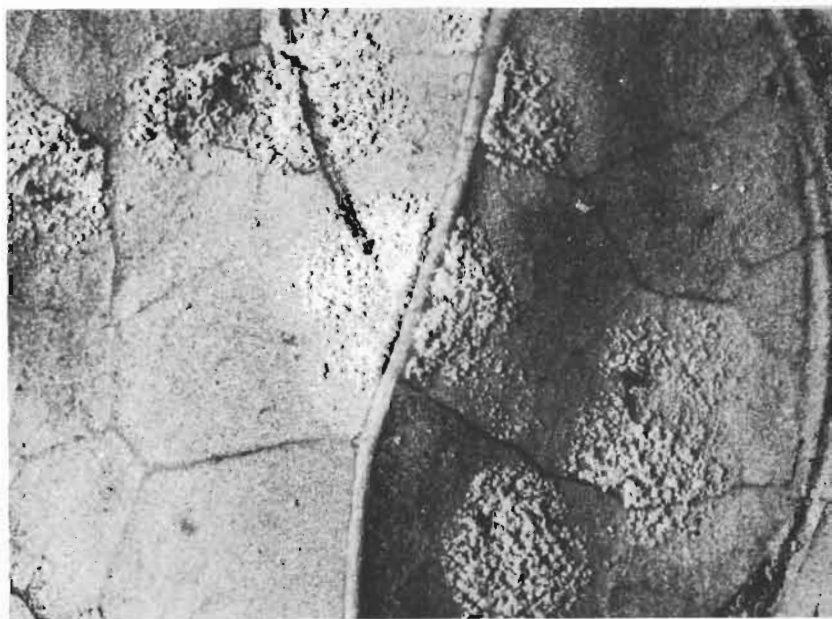


Fig. 20. — Aspect macroscopique des taches urédosporées sur fragment de feuille flottant, vingt-huit à trente jours après la contamination ; on observe la formation abondante d'urédospores au niveau des taches

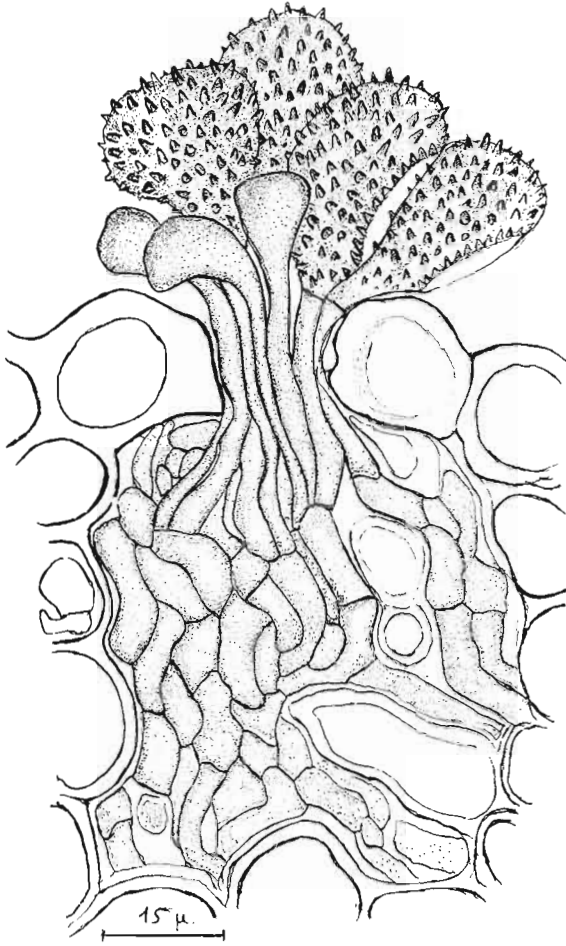


Fig. 21. — Coupe transversale au niveau d'une tache urédosporée, fortement grossie, montrant l'abondant mycélium enchevêtré du champignon occupant toute la cavité de la chambre sous-stomatique et la formation des stérigmates sortant en touffes à travers l'orifice stomatique, avec formation à leurs extrémités d'urédospores

Les autres urédospores germées donnent un mycélium continu, non cloisonné et ramifié qui peut atteindre jusqu'à 600μ de long, circulant sur la surface de la cuticule.

— Dans les conditions de l'expérience, les premières infections s'observent au bout de six à huit heures (10 à 15 %) et le maximum au bout de douze à quatorze heures (20 à 30 % de conidies germées).

— La germination d'urédospores n'est jamais totale et un faible pourcentage (10 à 15 %) ne germe pas ; il s'agit probablement d'urédospores âgées ayant perdu leur pouvoir germinatif ou parasitées par les hyperparasites.

— Dans tous les cas, l'infection se produit uniquement par les stomates et jamais directement par la cuticule, l'hyphe d'infection issue de l'appressorium étant incapable de percer directement la cuticule des feuilles.

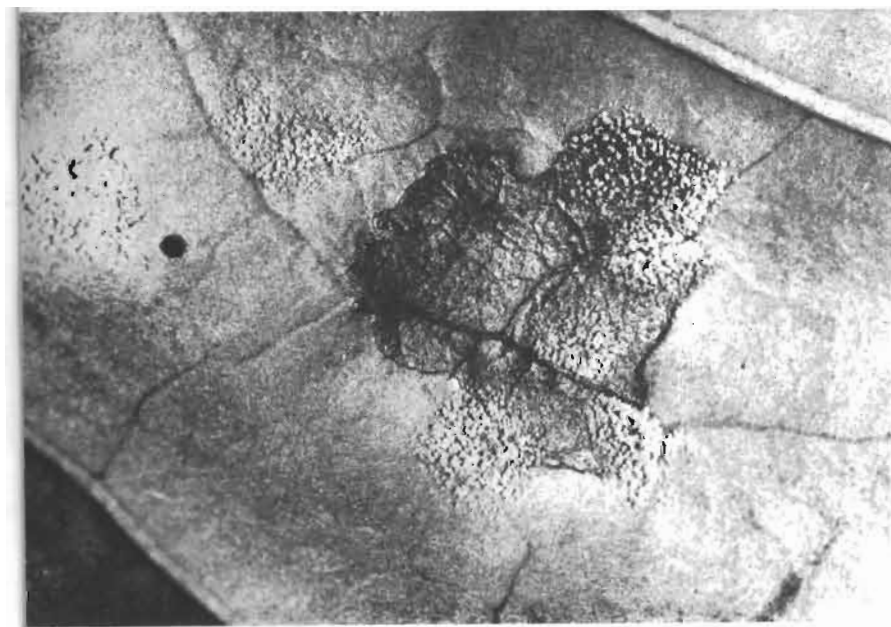
— L'hyphe d'infection primaire, après avoir franchi l'ostiole, gagne la chambre sous-stomatique où elle se ramifie abondamment ; elle devient nettement visible 12 à 14 h après l'inoculation.

— Les hyphes mycéliennes incolores et peu cloisonnées, à contour irrégulier, et mesurant 6 à $8,5 \mu$ de diamètre, sont toujours intercellulaires. Dans leur parcours, elles envoient dans les cellules des filaments grêles qui percent les parois des cellules pour donner naissance à des suçoirs de forme ovale, arrondie ou réniforme mesurant 7 à 9×5 à 8μ .

— L'envahissement des tissus lacuneux par le mycélium du champignon est progressif et ne se produit qu'au bout de six à huit jours ; celui du tissu en palissade au bout de huit à douze jours.

— La période d'incubation du champignon, qui se manifeste par l'apparition de toutes petites taches décolorées à légèrement jaunâtres, varie de dix-huit à vingt-quatre jours et la sporulation se produit huit à douze jours après.

Fig. 22. — Aspect macroscopique des taches urédosporées sur fragment de feuille flottant, trente-six jours après l'inoculation ; on observe la formation d'une tache nécrotique du tissu foliaire provoquée par la mort des tissus envahis par le mycélium du champignon



INOCULATIONS ARTIFICIELLES DES CLONES DE *COFFEA ROBUSTA*

Dans ces essais, les plantules de quarante-six clones d'élite de *C. robusta* ont été mises à l'épreuve par le Laboratoire de Phytopathologie en 1966 et 1967 en vue de déterminer leur degré de sensibilité à l'égard d'*Hemileia vastatrix*.

Dispositif expérimental

Pour chaque clone à éprouver quatre plantules âgées de dix mois, mises en pot et portant trois paires de feuilles bien développées, ont été inoculées deux mois après leur repiquage.

Méthodes d'inoculation

Pour chaque clone, trois plantules ont été contaminées artificiellement suivant trois méthodes décrites ci-après, la quatrième servant de témoin.

1. — Plantule n° 1 : pulvérisation à l'aide d'un micropulvérisateur Waast d'une suspension d'urédospores à forte concentration dans l'eau de pluie stérile sur la face inférieure des feuilles couvrant leur surface de nombreuses et fines gouttelettes.

2. — Plantule n° 2 : dépôt à la face inférieure de chaque feuille, à l'aide d'une micropipette Pasteur stérile, de cinq gouttes d'une suspension concentrée d'urédospores dans l'eau de pluie stérile. Chaque goutte était entourée d'un large cercle tracé à l'encre de Chine.

3. — Plantule n° 3 : étalement sur la face inférieure des feuilles, à l'aide d'un petit pinceau, d'une forte concentration d'urédospores en suspension dans l'eau de pluie stérile.

Sur *Coffea robusta*, en République Centrafricaine, existent deux formes morphologiques d'*Hemileia vastatrix* : la première à urédospores de couleur rouge vif, la seconde à urédospores de couleur jaune orange ; n'ayant pas pu déterminer d'après les essais réalisés au laboratoire (voir chapitre « Races physiologiques et biologiques », p. 76) si les deux colorations de sores correspondent à deux races différentes, nous avons utilisé pour ces essais un mélange d'urédospores provenant de jeunes sores à coloration rouge et jaune orange. L'Institut des Recherches pour la rouille d'Oeiras au Portugal, auquel nous avions envoyé en 1960 des feuilles atteintes de rouille, avait identifié l'existence sur *C. robusta* de deux races : les races I et IV que nous n'avons pas réussi à identifier nous-mêmes.

Les urédospores ont été prélevées sur des sores jeunes non contaminés par les deux hyperparasites d'*Hemileia vastatrix* (*Verticillium hemileiae* Bour. et *Cladosporium hemileiae* Stey.), sur feuilles fraîchement récoltées dans les plantations de Robusta, par grattage à l'aide d'une aiguille lancéolée, puis

placées en suspension concentrée dans un tube à essai contenant 20 cm³ d'eau de pluie stérile.

Le numéro du clone de chaque lot de quatre plantules a été inscrit sur une étiquette et chaque plantule a été numérotée de 1 à 4.

Les essais de germination des urédospores effectués « *in vitro* » au laboratoire permirent de déterminer que :

— Les températures les plus favorables à leur germination étaient de 22 à 24 °C et que le pourcentage de germination le plus élevé a été obtenu quand les urédospores étaient au contact de fines gouttelettes d'eau et que le maximum de germination était atteint au bout de 6 à 8 h.

— Les urédospores placées dans de bonnes conditions de température et d'humidité ne germent qu'à l'obscurité, la lumière ayant une action inhibitrice non seulement sur la germination des urédospores, mais également sur la croissance des tubes germinatifs.

Les essais de contaminations artificielles sur disques de feuilles permirent de constater que les premières infections se produisent au bout de huit heures et le maximum au bout de douze à dix-huit heures, dans les conditions optima de température et d'humidité.

En possession de ces données, les plantules inoculées suivant les trois méthodes précitées ont été placées dans une petite chambre hermétique en pleine obscurité pendant quatre jours et à une température de 22 à 24 °C, obtenue grâce au fonctionnement de deux climatiseurs. Un thermomètre et un hygromètre à tambour placés à l'intérieur de la chambre indiquaient les variations des températures diurne et nocturne, de 22 à 24,5 °C. Pour maintenir les gouttelettes et l'humidité nécessaires sur la face inférieure, les feuilles reçurent des pulvérisations régulièrement toutes les 4 h pendant la journée, à l'aide d'un micropulvérisateur, car le fonctionnement des climatiseurs provoquait une évaporation rapide, surtout des fines gouttelettes, malgré le fonctionnement d'un compresseur dont l'air sous pression, amené par un tuyau percé de nombreux trous, barbotait dans deux grandes cuves remplies d'eau distillée, ce qui permettait de maintenir une hygrométrie relative assez élevée qui variait de 78 à 89 %.

Il est à signaler que les climatiseurs ne fonctionnaient que de 7 à 22 h, c'est-à-dire pendant quinze heures sur vingt-quatre heures et le thermomètre enregistreur marquait une variation de température de 22 à 24,5 °C. Dans la chambre, l'hygrométrie était de 78 à 89 %. Les plantules ainsi maintenues à l'obscurité pendant quatre jours dans les conditions de température et d'humidité précédemment indiquées ont été par la suite exposées à l'air libre, en présence de la lumière et arrosées régulièrement tous les jours.

Contrôle

Le contrôle des plantules contaminées a été effectué régulièrement tous les deux jours pendant les dix premiers jours, puis tous les jours et les observations ont été consignées dans un cahier distinct pour chaque clone. Ces observations nous ont permis de déterminer la période d'incubation sur les feuilles des plantules jeunes et âgées, les résultats obtenus avec chacune des trois méthodes d'inoculation, et surtout le degré de la sensibilité de chacun des clones. Suivant les résultats obtenus, nous avons classé les degrés de sensibilité en quatre catégories :

CLONES RÉSISTANTS (cotation 0)

Absence totale sur feuilles contaminées de sores à urédospores, mais parfois présence sur la face inférieure de taches jaunâtres diffuses à peine visibles à l'œil nu ou de petites taches nécrotiques à peine perceptibles au niveau des points d'infection.

CLONES TOLÉRANTS (cotation +)

Présence sur les feuilles de sores urédosporés peu nombreux, épars, peu développés, avec apparition sur la face supérieure du limbe correspondant aux sores, de taches jaunâtres peu étendues, évoluant très lentement. Pas de chute des feuilles attaquées ni de nécrose des tissus au niveau des sores.

CLONES SENSIBLES (cotation ++)

Présence sur la face inférieure du limbe de nombreux sores urédosporés avec présence sur la face supérieure de taches jaunâtres, auréolées d'une zone vert pâle. Sores au début isolés, s'étendant progressivement en diamètre, pouvant devenir confluent avec formation, sur les sores âgés, de taches nécrotiques vers le centre. Chute partielle mais lente des feuilles fortement attaquées.

Dans la nature, les caféiers sensibles, attaqués, présentent une chute partielle des feuilles fortement attaquées et les plus âgées, mais l'attaque est localisée sur les feuilles des branchettes inférieures qui conservent les jeunes feuilles des extrémités. On observe rarement un die-back.

CLONES TRÈS SENSIBLES (cotation +++)

Attaque généralisée à presque tout le feuillage, surtout à celui des branchettes de la moitié inférieure. Sores urédosporés très nombreux s'étendant rapidement. Taches nécrotiques nombreuses et de grandes dimensions pouvant devenir confluentes. Formation abondante d'urédospores à la face inférieure des feuilles. Chute massive de feuilles suivie d'un die-back des branchettes fructifères.

Les tests de résistance ont été effectués en 1966 et 1967 sur les mêmes clones. Nous donnons ci-dessous comparativement les résultats obtenus classés par ordre de sensibilité.

Résultats de 1966**Résultats de 1967**

CLONES RÉSISTANTS OU TOLÉRANTS : 0 et +

9 clones :

VII- 35
VII- 91
VII- 138
XX- 35
XX- 141
XX- 682
XX- 638
A- 495
VII- 135

9 clones :

VII- 35
VII- 91
VII- 138
XX- 35
XX- 141
XX- 682
XX- 638
A- 495
VII- 135

CLONES SENSIBLES : + +

14 clones :

XX- 552
XX- 16
XX- 5
XX- 548
XX- 314
M17- 876
M17- 750
M17- 702
M17- 664
M17- 6
M17-1.056
I- 2
III- 125
XV- 252

15 clones :

XX- 59
XX- 16
XX- 5
XX- 548
XX- 552
XX- 378
XX- 566
M17- 876
M17- 664
M17- 6
M17-1.056
I- 169
I- 2
VIII- 85
XV- 252

CLONES TRÈS SENSIBLES : + + +

23 clones :

XX- 566
XX- 15
XX- 456
XX- 443
XX- 378
XX- 59
XX- 56
XX- 938
M17- 993
M17- 873
M17- 750
M17- 702
M17- 29
IV- 219
III- 75
III- 440
I- 169
I- 126
IX- 291
IX- 242
IX- 125
XV- 176
A- 445
B- 550
VIII- 35

23 clones :

XX- 552
XX- 314
XX- 56
XX- 443
XX- 176
XX- 938
M17- 993
M17- 873
M17- 750
M17- 702
M29- 381
III- 440
III- 125
III- 75
I- 126
IV- 219
IX- 291
IX- 242
IX- 125
A- 445
B- 550
II- 314
XV- 176

La classification des quarante-six clones mis à l'épreuve en 1966 et 1967 s'établit comparativement comme suit :

— **Clones résistants ou tolérants**

En 1966 : 9, soit 19,56 % — En 1967 : 9, soit 19,56 %

— **Clones sensibles**

En 1966 : 14, soit 30,44 % — En 1967 : 15, soit 32,60 %

— **Clones très sensibles**

En 1966 : 23, soit 50 % — En 1967 : 23, soit 50 %

Ces essais montrent que :

Les résultats donnés par les tests de résistance à la rouille des quarante-six clones en 1967 sont comparables à ceux obtenus en 1966, plus spécialement dans le cas des neuf clones classés comme résistants ou tolérants à la maladie.

Toutefois, quelques différences ont été observées dans les clones classés en 1966 comme sensibles ou très sensibles.

En effet, les clones III-125, M17-702, M17-750 et XX-552 qui, en 1966, étaient classés comme sensibles, étaient classés comme très sensibles en 1967.

Par contre, les clones I-169, XX-59 et XX-378 qui, en 1966, étaient classés dans le groupe des clones très sensibles, étaient sensibles en 1967.

Toutefois, ces différences de comportement observées dans ces deux essais ne représentent que 15,2 % des clones mis à l'épreuve, tandis que pour tous les autres clones les résultats étaient identiques.

Il est probable qu'il s'agit d'une erreur d'appréciation ou encore de la présence d'une nouvelle race non encore identifiée. Dans ce but, de nouveaux échantillons de feuilles de *Coffea robusta* récoltées dans les plantations ont été envoyés à l'Institut des Recherches pour la rouille à Oeiras au Portugal.

Parallèlement, de nouveaux essais sur les mêmes clones ont été entrepris en 1970.

Par ailleurs, en ce qui concerne la durée d'incubation de la maladie, des différences marquées ont été observées, d'une part, sur les feuilles d'âges différents et, d'autre part, sur les clones ayant des sensibilités différentes. Dans l'ensemble, la durée d'incubation est plus courte sur les feuilles très jeunes du sommet, n'ayant acquis que les trois quarts de leur développement normal, que sur les feuilles ayant acquis leur développement normal. Sur les feuilles très jeunes, la durée d'incubation est assez courte et varie de seize à dix-huit jours suivant la sensibilité des clones. Sur les clones sensibles, la durée d'incubation varie de seize à dix-huit jours, tandis que sur les clones peu sensibles les premières taches jaunâtres apparaissent au bout de vingt à vingt-deux jours.

Sur les feuilles ayant acquis leur croissance normale, mais encore jeunes, la durée d'incubation varie de vingt-quatre à vingt-six jours suivant la sensibilité, tandis que sur les feuilles plus âgées, la durée est plus longue et varie également avec le degré de sensibilité de vingt-huit à trente et un jours.

Quant à l'évolution des taches, elle est rapide et on remarque l'apparition des sores à urédospores sur les très jeunes feuilles au bout de vingt à vingt-deux jours, sur les feuilles développées mais encore jeunes, au bout de vingt-cinq à vingt-huit jours, tandis que sur les feuilles âgées, au bout de trente à trente-cinq jours.

Sur les feuilles des clones résistants ou tolérants, on n'observe pas de formation d'urédospores, mais sur certains clones on remarque la présence de quelques taches jaunâtres diffuses à peine visibles à l'œil nu, ou encore de toutes petites taches nécrotiques à peine perceptibles. Ce cas se produit sur les clones dont les tissus particulièrement sensibles à la présence du mycélium meurent rapidement en éliminant le parasite qui ne se développe que sur les tissus vivants et ce cas de l'hypersensibilité des cellules, en éliminant le parasite par la création d'un substrat impropre à sa subsistance, rend les clones résistants.

CYCLE DE REPRODUCTION, PROPAGATION ET DISSÉMINATION DU PARASITE

Cycle de reproduction

Le cycle de reproduction d'*Hemileia vastatrix* a fait l'objet de nombreuses études et observations. Plusieurs auteurs pensent que l'*Hemileia vastatrix* est une rouille hétéroïque et que les téléospores qui se forment en nombre assez réduit jouent un rôle dans le cycle de la reproduction du champignon. Mais l'hôte intermédiaire sur lequel se forment les écidies et les spermogonies n'est pas connu malgré les nombreuses recherches effectuées à ce sujet. Si l'hypothèse de l'existence d'un hôte intermédiaire existe, cette plante sera d'une famille autre que celle des Rubiacées.

CHEVALIER (267) écrivait notamment : « Quand la formation des urédospores cesse, il se forme d'autres sortes de spores : les téléospores qui émettent des sporidies, mais on ne sait pas si l'infection par ces dernières porte sur les caféiers directement ou nécessite un autre intermédiaire, et dans ce cas, il se formerait des écidies. » RAZAFINDRAMAMBA (766), 1958, dans son article sur la biologie de la rouille, dit notamment : « Si cette hypothèse semble vraisemblable, la forme écidienne se développerait alors sur un genre de plantes encore inconnu, mais supposé absent dans certains pays de culture du caféier. Telle serait l'explication de l'absence de l'*Hemileia vastatrix* dans certains pays tels que l'Amérique tropicale. Si la rouille du caféier est apparue quelquefois à Porto-Rico, elle n'a jamais pu se maintenir, l'hôte intermédiaire faisant défaut. »

Cependant, la forme écidienne, si elle existe, ne semble pas jouer un grand rôle dans le cycle évolutif du champignon. Le rôle des téléospores sur la propagation et la contamination des caféiers est très discuté et les expériences effectuées par des essais d'inoculations artificielles ont toujours donné des résultats négatifs. D'autre part, la formation de téléospores est très irrégulière et parfois absente et, d'après les observations faites, leur formation sur les feuilles attaquées par la rouille

est le plus souvent sous la dépendance des conditions climatiques.

La formation de téléospores a été observée pour la première fois par WARD (1048) en 1882 à Ceylan sur feuilles de *C. arabica* en mélange avec les urédospores. Leur formation, d'après cet auteur, est la dernière manifestation du mycélium du champignon parasite. Elles peuvent germer sur place, tout en restant encore attachées à leur support, si elles se trouvent dans des conditions favorables d'humidité et de température. Le promycélium, ou baside, issu de la germination des téléospores cylindriques et cloisonnées transversalement, donne naissance au voisinage de chaque cloison à quatre sporidies ou basidiospores, la dernière se formant à l'extrémité de la quatrième cellule du sommet. WARD (1048) a pu réaliser la germination des basidiospores sur les feuilles vivantes des caféiers, mais il ne les a jamais vu pénétrer les tissus des feuilles et produire une infection quelconque, et jusqu'ici on ne connaît pas leur rôle dans le cycle de cette urédinale.

PETCH (719), en 1922, a également observé la formation de téléospores sur feuilles de *C. robusta* à Ceylan.

RAGUNATHAN (736), 1923, avait entrepris dans le même pays des observations sur la formation de téléospores sur *Coffea robusta*, *arabica* et *liberica* durant toute l'année 1921-1922 et il constata que les téléospores sont constamment présentes sur les feuilles attaquées de ces trois espèces de *Coffea*, sauf en août et octobre 1921 et avril 1922. Pour cet auteur, leur absence serait due probablement au développement du nouveau feuillage en avril et août et à de fortes pluies en octobre. L'auteur n'a pas réussi à établir de règles définissant la raison de l'existence des téléospores et il conclut que leur formation se trouve sous la dépendance de conditions climatiques.

NARASIMHAN (677), 1936, a observé fréquemment à Bangalore (Inde) la formation de téléospores sur feuilles de *C. arabica*, sauf pendant de grandes pluies.

D'après BOURIQUET (196), 1946, les téléospores ont été observées sur feuilles de *C. arabica* provenant de Madagascar, et d'après cet auteur, elles sont susceptibles de germer. Le promycélium ou baside issu de leur germination donne naissance à des spores secondaires (sporidies) qui peuvent germer à leur tour, mais leur mycélium ne semble pas capable d'infecter directement le caféier.

D'après ce même auteur, la forme écidienne ne semble pas jouer un grand rôle dans le cycle de la vie du champignon à Madagascar, car l'*Hemileia vastatrix* produit des urédospores en plus ou moins grand nombre suivant les saisons, pendant toute l'année.

CICCARONE (277), 1951, en Somalie, tout en signalant la rouille dans plusieurs localités, mentionne que cette dernière passe l'été à l'état d'urédospores et que la présence de téléospores n'est pas indispensable pour qu'elle accomplisse son cycle.

D'après ROGER (791), 1951, la formation des téléospores est relativement rare et très irrégulière et en partie placée sous la dépendance des conditions climatiques. Elles se forment sur les taches âgées en succédant aux urédospores. D'après ce même auteur, les téléospores sont incapables de pénétrer les tissus des feuilles de caféiers et, dans certaines conditions, elles sont susceptibles de germer sur place, sur la feuille elle-même, et ce fait laisse supposer que la rouille du caféier est hétéroïque, mais l'hôte écidien reste jusqu'ici inconnu et, s'il existe réellement, son rôle doit être comme pour beaucoup d'Uredinées, très faible, dans la propagation et le maintien de l'espèce.

Pour MALLAMAIRE (565), 1952, au Dahomey, l'hôte écidien inconnu n'est nullement indispensable à la propagation de la maladie qui passe l'été à l'état d'urédospores.

CHEVAUGEON (268), 1956, étudiant la rouille des caféiers en Côte d'Ivoire, indique qu'il n'a jamais réussi à observer la forme téléosporée. La formation de téléospores a été observée sur feuilles de *C. arabica* en Inde par VISHVESHVARA et NAG RAJ, (1001), en 1960, et ces auteurs ont réalisé des études cytologiques.

De même CHINAPPA (270), en 1965, observe dans les champs de caféiers aux Indes la formation de téléospores sur les sores d'*Hemileia vastatrix* dont la germination avait lieu sur les sores des feuilles attaquées. D'après cet auteur, ces irrégularités n'étaient pas trop fréquentes, comparées à la germination normale et à la production des basidiospores, ce qui semble d'après l'auteur indiquer que cette phase du cycle de vie est très anormale. L'auteur pense que les urédospores et les masses mycéliennes dans les feuilles sont responsables de la prolongation de la vie du champignon au-delà de l'été. La fonction des

téléospores reste inconnue. Outre la germination normale, les sporidies donnaient naissance à des sporidies secondaires uninucléées ou binucléées, de petite taille, dont on ne connaît pas la fonction.

De nombreux chercheurs ont effectué des essais d'infection croisée de différents caféiers avec des téléospores de diverses espèces d'*Hemileia* se développant sur des Rubiacées. Aucun n'a donné de résultats positifs : les divers oecidium croissant sur caféiers et autres Rubiacées n'ont aucun rapport biologique avec l'*Hemileia vastatrix*. Les différentes espèces d'*Hemileia* sur différentes Rubiacées, d'après CHEVALIER (267), THIRUMALACHAR (912), AIYER (4) et CICCARONE (277), sont distinctes les unes des autres.

GOVINDARAJAN et SUBRAMANIAN (443), 1966, en Inde, ont réalisé des inoculations artificielles de feuilles séparées au laboratoire et indiquèrent qu'aucune des quinze espèces d'essences d'ombrage poussant ordinairement dans les plantations de caféier n'était attaquée par l'*Hemileia vastatrix*.

En République Centrafricaine, la formation de téléospores a été observée à plusieurs reprises sur feuilles de *C. excelsa*, *C. robusta* et *C. arabica* atteintes d'*Hemileia vastatrix*. Leur formation s'observe en général de novembre à février et de mars à mai, ce qui coïncide avec le commencement de la saison sèche où de fréquentes condensations nocturnes s'observent, ainsi que des brouillards matinaux couvrant les feuilles de très nombreuses et fines gouttelettes d'eau. Durant la période pluvieuse de mai à octobre, où la rouille prend une extension importante, nous n'avons jamais observé la formation de téléospores. Elles ont été notées pour la première fois en novembre 1956, puis des contrôles réguliers entrepris en 1958 et 1959, durant toute l'année, nous ont permis de constater que leur formation a lieu sur les taches âgées des urédosores des feuilles attaquées par la rouille, de novembre à février et souvent en avril-mai, au début de la saison des pluies. De nombreuses germinations de téléospores ont été observées sur les feuilles elles-mêmes (fig. 8 c, p. 35) avec formation de promycélium cylindrique atteignant 40 à 60 μ de long sur 8 à 16 μ de large, prenant naissance sur la partie apicale de la téléospore. Le baside formé porte trois cloisons transversales le divisant en quatre cellules plus ou moins égales avec formation de quatre basidiospores ou sporidies qui naissent au voisinage de chaque cloison, sauf sur la dernière cellule où il naît à son extrémité. Nous avons également obtenu la germination de téléospores en les plaçant en suspension dans les fines gouttelettes d'eau dans les cellules de Van Tieghem soumises à une température de 24 et 25 °C pendant 6 et 12 h. Les basides issus de cette germination sont généralement plus longs que ceux provenant de la germination des téléospores sur les feuilles.

Elles peuvent atteindre jusqu'à 150 μ de long, mais le plus souvent ne dépassent pas 100 μ . Les sporidies au nombre de quatre, rarement cinq, se forment également et, après leur détachement des stérigmates, germent donnant un filament mycélien grêle pouvant atteindre jusqu'à 40 μ de long, dont souvent l'extrémité se termine par un renflement globuleux donnant l'apparence d'une sporidie secondaire.

Lors des essais de germination de téléospores sur des disques de feuilles de *C. arabica* et *excelsa* dans des boîtes de Pétri, nous avons observé au bout de 12 à 24 h, en l'absence de lumière, de nombreuses germinations avec formation d'un promycélium long et cloisonné portant quatre basidiospores, qui après leur détachement des basides germaient en donnant un filament mycélien, mais aucune infection n'a été observée au bout de trois et quatre jours. Ces observations nous ont permis de conclure que les basidiospores sont incapables d'infecter les feuilles de caféiers. Du fait que les téléospores ne se forment qu'à la fin de la saison des pluies, de novembre à février, ainsi qu'au commencement de la saison pluvieuse, leur formation se trouve sous la dépendance des conditions climatiques, comme d'ailleurs l'avait conclu RAGUNATHAN en 1923, lors de ses recherches à Ceylan. Le rôle des téléospores reste à préciser dans le cycle évolutif de l'*Hemileia vastatrix*, qui probablement est une rouille hétéroïque dont la plante hôte, autre que les caféiers et les Rubiacées, est à découvrir. Ce qui est certain, d'après nos observations effectuées de 1956 à ce jour, c'est que l'*Hemileia vastatrix*, en République Centrafricaine, se propage uniquement par les urédospores et le mycélium qui se trouvent dans les feuilles, qui persistent pendant la saison sèche qui dure environ deux à trois mois ; le parasite reprend alors ses activités avec le commencement de la saison des pluies quand les conditions deviennent favorables et les urédosores forment à nouveau de nombreuses urédospores qui propagent la maladie sur les jeunes feuilles avec la reprise de la végétation. En République Centrafricaine, les urédospores sont donc les seuls organes de propagation de la rouille ; ils se forment à partir des sores et des mycéliums restés de l'attaque précédente sur les feuilles des arbres. Ce fait a été constaté, non seulement par MALLAMAIRE (565), AIYER (4), CICCARONE (277), THIRUMALACHAR (912) et autres chercheurs, mais également par MAYNE (547) en 1930 en Inde, qui, étudiant l'*Hemileia* au nord de Mysore, sur *C. arabica*, confirme que le champignon se développe et se propage à partir des pustules restées de l'attaque précédente sur les arbres ; d'après les résultats de ses recherches, la période la plus propice pour la propagation de la maladie se situe entre la floraison et la mousson sud-ouest.

Propagation et dissémination

Quant à la dissémination et à la propagation de la maladie, de nombreux travaux et expériences ont été réalisés durant les dix dernières années au Kenya par les britanniques et également aux Indes.

NUTMAN (690), en 1959, faisant des expériences sur l'influence du vent sur la dispersion des spores de la maladie avec des pièges à spores à Kiambu, indique qu'un maximum de deux spores a été capturé. Quand des courants d'air d'une vitesse connue étaient dirigés sur la surface des pustules mûres sporées, on n'observait alors aucun mouvement des spores par photos. D'autres essais ont été effectués par l'auteur en utilisant des branches portant des feuilles très infectées ainsi que des feuilles tenues par les pétioles, derrière lesquelles des pièges à spores ou des plaques adhésives étaient exposés au courant d'air. Aucune spore ne fut délogée des branches par le courant d'air. Les feuilles isolées étaient agitées et les groupes de spores éjectés dans l'air, mais leur poids les faisait rapidement tomber. L'auteur pense que les vents dans cette région étant normalement doux, il est évident que les spores d'*H. vastatrix* sont rarement transportées par celui-ci. Par contre, quand une petite goutte d'eau tombe sur une pustule, l'adhésion des spores est détruite, et elles flottent à la surface. L'auteur conclut que la distribution des spores ne peut donc se faire que pendant les pluies.

RAYNER (757), 1960, indique que dans une serre, si les feuilles des caféiers infectés sont incisées, un nuage de spores est libéré et se dépose vite. Il considère que la libération des urédospores est en grande partie provoquée dans les champs par la pluie frappant les feuilles. Les spores atteignent la face inférieure des feuilles par les éclaboussures de la pluie. L'auteur indique parallèlement qu'une pulvérisation immédiatement avant les longues pluies et qu'une autre quatre semaines après étaient très utiles. La réduction de l'inoculum en janvier-février peut donner un contrôle satisfaisant, si elle est appliquée sur une grande échelle.

BURDEKIN (224), la même année, également au Kenya, indique que les études faites par NUTMAN sur le test effectué par ce dernier sur la dispersion des urédospores de l'*H. vastatrix* par éclaboussures d'eau provenant des feuilles atteintes par la rouille, étaient examinées et trouvées contenir de nombreuses spores de rouille. L'auteur ajoute qu'en contraste des observations de NUTMAN, les spores étaient facilement transportées par le vent sur les autres feuilles. Les spores étaient attrapées dans un piège à 3 m au-dessus du sol, à 1,83 m des caféiers fortement à légèrement affectés, de grands nombres de spores étaient dispersées en groupes de moins de 150 spores/groupe.

Les spores provenant de feuilles vertes, tombées, avaient une germination relativement élevée. Des études démontrèrent aussi la présence considérablement plus importante de rouille sur la partie inférieure de l'arbre que sur les parties supérieures.

Les nombreuses spores contenues dans l'air au-dessous de celles qui sont entraînées expliquent probablement la sérieuse infection sur la partie inférieure de l'arbre. L'évidence démontrait clairement qu'*H. vastatrix* pouvait être dispersé à la fois **par le vent et par la pluie**.

NUTMAN, ROBERTS et BOCK (691), la même année, indiquent que les attaques de la rouille se font non à cause du vent, mais surtout par l'eau, ou tout au moins par le vent qui suit immédiatement la pluie. Les urédospores ne sont pas transportées très loin, mais elles propagent la maladie dans le même champ et surtout chez les arbres voisins. Cette constatation a un intérêt pratique considérable, car elle détermine un autre mode de traitement ; il suffit d'éviter les attaques primaires pour éliminer complètement la maladie.

D'après RAYNER (764), 1961, les études faites à Ruiru (Kenya) montrent que les spores d'*H. vastatrix* existant dans l'air peuvent effectivement se déposer sur la face supérieure des feuilles et de là sont transportées sur la face inférieure des autres feuilles par la pluie.

BOCK (169), 1962, indique que les études faites à Nairobi ont permis d'apporter davantage de preuves concernant le rôle du vent sur la dispersion des spores : il ne joue pas, ou modérément, de rôle dans la dispersion des spores d'*H. vastatrix*. Par contre, les averses de pluie de plus de 1,27 cm sont nécessaires pour une bonne dispersion, le nombre de spores dispersées étant directement proportionnel à la quantité et à l'intensité de la chute de pluie. Une concentration de 25 spores/cm² était observée sur la surface des feuilles après une averse de 2 cm, alors qu'à la fin de la saison sèche, quand la maladie est peu développée, un courant d'air assure une moyenne de deux spores par m². Les mouvements des spores, causés par la pluie, sont cependant limités et l'extension de la maladie d'une région à une autre est attribuée à l'homme.

NUTMAN et ROBERTS (692), 1962, indiquent qu'une preuve supplémentaire est donnée en faveur de la dispersion d'*H. vastatrix* par l'eau. A l'Institut de recherches sur les maladies des caféiers de Nairobi au Kenya, sur 1.000 transferts de un et de deux spores dans des gouttes d'eau

sur des feuilles, plus de 0,2 % montrèrent une infection ; les groupes de 10 à 20 spores donnaient 1,1 % tandis que 150 spores donnaient 90 %. Une photographie à grande vitesse montrait que l'éclaboussure, qui remonte pendant la pluie, suffit pour assurer la dispersion et la concentration de spores dans l'eau de pluie qui coule sur les extrémités des feuilles ; la concentration dépasse souvent celle qui est nécessaire pour l'infection. La dispersion à grande distance du pathogène est due au transport du matériel végétal de la plante infectée.

D'SOUZA (362), en 1965, en Inde, indique qu'une étude préliminaire avec un piège Hisst montrait que les spores d'*H. vastatrix* étaient transportées par le vent à des distances allant de 180 à 450 m.

Enfin, CROWE (323), 1963, mentionne que deux hyménoptères parasites qui se nourrissent de spores d'*H. vastatrix* sont capables de transporter un inoculum suffisant pour apporter la maladie aux nouvelles plantations éloignées.

Ainsi, d'après les auteurs britanniques qui ont étudié le problème de la dissémination de la maladie, la pluie constitue le principal facteur de la dispersion des urédospores tandis que le vent ne joue qu'un rôle secondaire ou très réduit, propageant la maladie à de faibles distances, intéressant les plants voisins et parfois les plants d'une seule plantation quand le vent suit immédiatement la pluie. Par contre, les expériences faites en Inde, en particulier par D'SOUZA, montrent que le vent joue un rôle important capable de transporter les spores à des distances allant de 180 à 450 m.

D'après les auteurs britanniques, la dissémination de la maladie à de grandes distances se fait essentiellement par l'homme, en transportant d'une région à l'autre des plants contaminés qui ne présentent pas encore de signes extérieurs de la maladie et qui se trouvent à la période d'incubation qui dure suivant les conditions climatiques de douze à vingt-cinq jours.

En République Centrafricaine où les vents sont souvent violents durant les tornades et les fortes pluies, ils transportent les urédospores à de grandes distances, propageant ainsi la maladie. La contamination des feuilles des branches les plus proches du sol se fait également par les éclaboussures qui projettent les spores, ainsi que par la pluie frappant les feuilles et dont l'écoulement entraîne les spores, par l'extrémité, à la face inférieure du limbe, et c'est pour cette raison qu'on observe des taches de rouille sur les bordures du limbe de la face inférieure.

INFLUENCE DE DIFFÉRENTS FACTEURS SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'*HEMILEIA VASTATRIX*

Les travaux et observations effectués par des spécialistes dans les différents pays et en particulier au Kenya, Tanganyika, Indonésie, Indochine montrent que le développement de la rouille des caféiers, son évolution et sa propagation se trouvent sous la dépendance étroite de différents facteurs et en particulier de l'altitude, de l'humidité, de la température, de l'ombrage, de l'éclairement et du vent, qui, suivant les conditions, peuvent jouer un rôle sur l'importance du développement et de l'intensité des attaques de ce parasite.

Toutefois, le rôle de ces facteurs météorologiques et ambiants est, d'une façon générale, plus complexe et plus nuancé que ne le font supposer les différentes données et observations classiques, car, si dans la plupart des cas ces facteurs restent valables, il arrive souvent, suivant les pays, qu'ils soient modifiés par une infinité de conditions locales, et dans certaines situations spéciales, l'apparition de l'*Hemileia* paraît être liée à des conditions de nature inverse à celle des conditions habituelles.

Influence de l'altitude

Dowson (361), 1921, au Kenya, où le relief du pays permet un étagement de la culture du caféier à toutes les altitudes, indique que les conditions météorologiques jouent un rôle prépondérant dans l'importance des dégâts. Selon ses observations, à des altitudes inférieures à 1.200 à 1.300 m, les précipitations de 1.450 mm et les températures moyennes annuelles de 20-23 °C se montrent néfastes aux caféiers, mais conviennent particulièrement bien à l'*Hemileia* qui prédomine dans ces circonstances ; la violence de ses attaques rend à ce niveau les cultures aléatoires et même impossibles. Entre 1.300 et 1.500 m, les plantations doivent être très surveillées et les caféiers obliga-

toirement protégés par des traitements anti-crytogamiques réguliers. A des altitudes supérieures, comprises entre 1.500 et 1.800 m, les facteurs climatiques correspondent à peu près à égalité aux exigences du caféier et de la rouille, mais l'extension de la maladie devient plus aisément contrôlable par quelques traitements chimiques plus légers. Entre 1.800 et 2.100 m, les conditions se montrent alors beaucoup plus favorables pour l'hôte ; les pluies moins abondantes (750 mm), les températures moyennes diurnes beaucoup plus basses (de 4,8 à 20 °C), l'air plus sec pendant la journée avec seulement de fortes rosées nocturnes ne correspondent plus au développement de l'*Hemileia*, mais conviennent au contraire à une meilleure végétation du caféier. Enfin, dans les zones encore plus élevées du même pays, au-dessus de 2.000 à 2.100 m, les pluies redeviennent abondantes (1.500-1.700 mm), la température est plus fraîche ; malgré l'humidité, la rouille présente une virulence très atténuée ou même disparaît totalement, car elle devient incapable de fructifier par défaut de chaleur. Le caféier se trouve également placé dans une situation qui lui est peu propice et sa croissance est plus lente et moins luxuriante ; au Kenya, la limite extrême de végétation du caféier Arabica se situe à une altitude de 2.400 m environ, et la limite pratique de culture ne dépasse pas 2.000-2.100 m. De son côté, Costantin (311), 1930, indique que les expériences faites au Kenya, puis au Tanganyika, ont montré que les caféiers sont beaucoup plus tolérants à la rouille en haute altitude qu'en basse altitude ; le caféier Arabica est selon l'auteur une plante de montagne dont la résistance aux diverses maladies est considérablement réduite à des altitudes inférieures à 1.500 m ; les épiphyties se font rares pendant la saison sèche et éclatent surtout pendant la saison pluvieuse.

D'après Castellani (259), 1938, dans le Harrar, au nord de l'Équateur, sur les cultures situées à une altitude de 1.800 à 2.000 m, la rouille n'existe pratiquement pas ; dans le Harrar, vers 1.000 m

et en dessous, les attaques sont observées lorsque les conditions climatiques deviennent favorables au parasite.

Au Congo Kinshasa (ex-Congo belge) selon STANER, pour les plantations situées à une altitude comprise entre 1.400-1.800 m, la période la plus favorable pour le développement de l'*Hemileia* est la saison non pluvieuse.

Au Rwanda, d'après ROGER (792), 1953, et selon les observations de LEJEUNE, dans les stations d'altitude moyenne, la rouille se constate principalement pendant la grande saison sèche de mai à octobre. Durant cette époque, les précipitations sont rares, mais la température relativement plus basse (en moyenne 12-27°C) amène une forte humidité de l'air, très favorable au développement du parasite.

En Afrique du Sud, tempérée par la latitude, les plantations les plus saines s'observent entre 300 et 900 m d'altitude, tandis que celles situées à des altitudes inférieures à 300 m sont fortement attaquées.

LEEFMANS (544), 1930, indique qu'à Java, *Hemileia vastatrix* est pratiquement inexistant sur *Coffea arabica* à de hautes altitudes entre 300 et 1.700 m.

De même que HUBERT (517), en 1957, mentionne qu'à Java et Sumatra *C. arabica* peut se développer pratiquement indemne de la rouille à une altitude de 915 m.

Aux Philippines, DAVID (330), 1928, indique que l'introduction de 1910 à 1916 de différentes variétés supposées résistantes d'Arabica, Liberica et Robusta de Java et d'ailleurs, se sont révélées sensibles à la rouille à une altitude de 80 à 450 m.

A São Tomé, SILVA (834), 1958, indique que les plus importants dégâts sont causés par l'*Hemileia vastatrix* qui sévit surtout au-dessous de 600 m d'altitude. Par contre, à plus haute altitude, aucune attaque importante n'est relevée de la mi-septembre au commencement de décembre.

A Madagascar, BOURIQUET (196), 1946, indique que dans la région d'Itasy à 1.400 m d'altitude, située à une latitude de 19° Sud, la recrudescence d'*Hemileia* sur l'Arabica correspond à la période pluvieuse ; les attaques qui commencent en décembre n'atteignent leur maximum que vers la fin de la saison des pluies, en février. D'une manière générale, c'est seulement après les fortes pluies que les attaques deviennent à la fois les plus intenses et les plus étendues. A cette époque, la température reste encore élevée et les caféiers souffrent d'un excès d'eau, une certaine asphyxie radicaire nuit à leur vigueur, ce qui favorise, indépendamment des facteurs climatiques, le développement de la rouille. Les très fortes attaques, si aucune intervention ne vient les briser, amènent, principalement sur les sujets ayant abondamment produit, une défeuillaison totale. En saison sèche

de mi-mars, avril à novembre, époque où dans cette région la température s'abaisse et où les gelées surviennent assez fréquemment, on ne constate pas la présence d'*Hemileia*, ou bien d'une façon très sporadique.

En Indochine, selon ROGER (791), 1951, la rouille apparaît principalement dans le nord de l'Annam et au Tonkin sur les cultures de la moyenne région ; elle ne sévit jamais à l'époque des fortes pluies, mais surtout pendant l'hivernage, à la fin et après la période de fines pluies continues, au moment où la température remonte, principalement en mars et avril, ou même jusqu'en mai. Les périodes précoces de fines pluies, de janvier-février, malgré l'humidité très favorable de ces mois, ont en général une température moyenne trop basse pour permettre la végétation de l'*Hemileia* au Tonkin ; la rouille persiste jusqu'en mai ou juin, selon les années ou les conditions locales, et cesse ensuite durant la saison de fortes chaleurs. Les attaques réapparaissent parfois localement et d'une manière sporadique en octobre, novembre ou décembre, à la faveur des automnes doux et pluvieux.

Dans le nord de l'Annam, on l'observe surtout durant l'hivernage par des temps de forte humidité ; elle peut causer parfois la défoliation des plants, mais l'accident est peu gênant à cette époque de l'année. Dans le centre de l'Annam, sur la chaîne annamitique, les plantations situées à 450-500 m d'altitude subissent les attaques de la rouille pendant une partie de la saison pluvieuse, principalement en août, septembre et octobre, période de fortes précipitations.

Dans le sud de l'Indochine (Bolovents, sud de l'Annam), la rouille du caféier existait jusqu'à ces dernières années à l'état sporadique. Depuis 1940, elle manifeste dans ces régions une certaine recrudescence. Dans les plantations du Sud, toutes situées en altitude, pendant l'extension de la maladie règne une température plus basse, mais plus satisfaisante pour l'*Hemileia*, et l'état hygrométrique est élevé ; au cours de la saison des pluies, la rouille devient extrêmement rare, ou même inobservable, notamment sur le plateau de Bolovents au Laos. Pour l'ensemble des régions à caféiers de l'Indochine, toutes situées dans les zones à tension de vapeur d'eau élevée, les conditions climatiques les plus propices aux attaques de la rouille sont une température modérée ou même basse durant la nuit, amenant pendant ce temps une humidité relative de l'air très forte et des condensations matinales de rosée. Par ailleurs, l'humidité diurne peut être entretenue par des pluies légères ou fines, mais les fortes précipitations se montrent défavorables. A l'exception de la région climatiquement particulière du col Ai-lao, ces conditions se trouvent réalisées presque partout durant l'hivernage, qui correspond généralement à une saison plus sèche.

Influence de l'humidité et de la pluie

De nombreux auteurs ont étudié l'influence de l'humidité et de la pluie sur la germination des urédospores et le développement de la maladie.

Déjà WARD (1048), en 1882, considère que l'humidité constitue le facteur climatique primordial pour le développement du parasite, son excès étant toujours favorable. Ce même auteur, étudiant l'influence de la température et de l'humidité sur la germination des urédospores, précise qu'à 24 °C la germination s'accomplit aussi rapidement que celle de l'urédospore se trouvant dans un milieu riche en humidité ; ces conditions optima de germination se trouvent souvent réalisées dans les régions chaudes au moment de la saison pluvieuse.

BURCK (221), en 1889, ayant effectué des essais de germination des urédospores, a pu préciser le temps strictement nécessaire pour que ces dernières puissent germer en présence d'eau.

MAYNE (584), en 1930, indique qu'aux Indes, dans les conditions climatiques du Nord Mysore, la présence de la rouille s'accroît après la floraison et continue lentement pendant la période chaude de la mousson. Au cours de celle-ci, les fortes pluies presque continues semblent arrêter le développement de la maladie. Avec les pluies intermittentes de la mousson nord-est, les attaques croissent rapidement.

En 1932, le même auteur (590), étudiant la germination des urédospores en Inde, précise que celles-ci ne germent pas en l'absence d'eau liquide, mais qu'une complète immersion exerce une action néfaste sur le développement des tubes germinatifs.

La même année, l'auteur (590) précise que la gravité des attaques annuelles aux Indes était déterminée par la forte humidité et les rosées des mois sans pluies.

En 1945 (615), l'auteur précise à nouveau que la germination des urédospores est impossible sans eau liquide. ROGER (791), 1951, prend en considération l'humidité atmosphérique ; cette dernière ne suit pas obligatoirement des variations parallèles à celles de la pluviosité, car un abaissement de la température au cours de certaines saisons provoque une certaine condensation ou une élévation du taux de vapeur d'eau dans l'atmosphère ; la condition la plus favorable paraît être une forte humidité de l'air, un rafraîchissement nocturne de l'atmosphère d'où résulte une formation de la rosée sur les feuilles de l'hôte.

D'après RAYNER (753, 754), en 1955 et 1956, l'intensité de la maladie au Kenya subit au cours de l'année un cycle très net ; le maximum de l'infestation se trouve aux mois de mai, juin, c'est-à-dire,

au début de la saison fraîche et à la fin de la petite saison sèche. Pendant le reste de l'année, l'infection ne se manifeste que par de rares feuilles atteintes, disséminées dans les plantations.

La même année, l'auteur (752) indique que les pluies anormales dans le Rift Oriental sont susceptibles de provoquer une épidémie d'*H. vastatrix* après les grandes pluies. Une infection a pu se développer au cours d'une journée de février durant laquelle les feuilles sont restées humides. On peut s'attendre à un nouveau développement au cours des premières journées de la saison des pluies, ce qui pourrait donner naissance à une attaque épidémique.

ROGER (791), 1951, indique que pour qu'il y ait germination des urédospores, la surface de la feuille doit rester mouillée au moins pendant 24 h ; si la feuille sèche avant 24 h, la germination ne se produit pas ou, si elle se produit, l'infection ne peut pas se faire, car le tube germinatif ne pourra pas s'allonger ni même survivre.

RAYNER (754), 1956, mentionne que la condition nécessaire pour que les urédospores germent à la surface des feuilles est la présence sur la face inférieure du limbe d'un film d'eau de pluie ou au moins de gouttes de rosée.

Le même auteur, en 1956 (754), étudiant l'influence de la pluie sur le développement de la maladie au cours des trois dernières années, a pu tracer les trois courbes montrant la relation entre le développement du parasite, la répartition des pluies pendant l'année et les périodes d'infections. En 1953, la quantité de pluie, nulle de janvier à février, défavorise le développement de la rouille au début de l'année, bien qu'une importante quantité de spores soit déjà présente. Par manque d'humidité et par exposition au soleil et à l'air sec, les spores ont perdu leur pouvoir germinatif à la mi-mars, lorsque les précipitations se produisent, si bien que le développement de la rouille à la fin de la saison pluvieuse est faible. Le nombre de spores en janvier 1954 est faible, mais il a plu au mois de février et les feuilles sont restées humides pendant plus de 24 h, d'où une infection au début de la grande saison des pluies. Ces nouvelles taches forment des spores et il en résulte une recrudescence de la maladie, favorisée par l'humidité plus élevée, au même moment de l'année précédente.

A la fin de l'année 1954, un bon nombre de spores assurent l'infection pendant la petite saison des pluies de l'année 1955, si bien que cette troisième année commence avec une infection très développée, favorisée encore plus par l'humidité assez abondante ; il en résulte une épiphytie au mois d'août. Sur ces feuilles, se sont produites des spores qui provoquent de nouvelles infections en novembre-décembre ; si bien qu'en janvier 1956 la quantité de spores présentes sur les hôtes était si consi-

dérable qu'on pouvait prévoir une attaque grave l'année suivante.

Bock (170), 1962, indique que d'après les études faites à Nairobi, les apparitions de l'*H. vastatrix* dans la région de l'est de la vallée du Rift présentent deux sommets, correspondant aux deux saisons de pluie alors que dans l'ouest de la vallée du Rift, il n'y a qu'une seule apparition grave pendant la saison humide continue. La longueur et la gravité de chaque apparition est déterminée par l'interaction de trois facteurs : 1) la quantité des pluies, 2) le feuillage de l'arbre, 3) la concentration de l'inoculum présent à la fin de la saison sèche ; une relation inverse était observée entre l'altitude et la gravité de la maladie.

En général, en basse altitude et dans les régions intertropicales, l'humidité reste le facteur prépondérant du développement de l'*Hemileia vastatrix* qui se propage pendant la saison des pluies. Dans les régions équatoriales où la culture de l'Arabica ne se fait qu'en montagne, les violentes pluies exercent un effet défavorable sur la maladie ; c'est plutôt le degré hygrométrique de l'air qui conditionne les infections, si bien qu'elles éclatent, d'après ROGER (791), 1951, en saison sèche plutôt qu'en saison pluvieuse. WALLACE (1008), en 1928, trouve ces mêmes résultats au Tanganyika, ainsi que Mc DONALD au Kenya (631) la même année. Dans l'ensemble, tous les facteurs qui favorisent le maintien de l'humidité agissent favorablement sur la germination et la pénétration du parasite ; humidité élevée de l'atmosphère, pluies légères, rosées, plantations touffues, comme l'indique CHEVAUGEON en Côte d'Ivoire (268), en 1956.

Influence de la température

Si l'humidité joue un rôle prépondérant sur le développement de la rouille, la température constitue également un facteur très important ; *Hemileia vastatrix*, espèce essentiellement tropicale, exige des températures assez élevées pour la germination des urédospores et l'infection des caféiers. La température agit non seulement sur la vitesse de germination des urédospores, mais également sur la durée d'incubation du parasite, ainsi que sur la sporulation et sur le développement du champignon en général.

A 24 °C, les urédospores germent au bout de 24 h quand les conditions d'humidité sont favorables. La faculté germinative des spores se conserve plusieurs semaines à l'air sec ; par contre, elle s'altère rapidement à des températures élevées, surtout en présence d'une forte humidité. D'après DELACROIX et MAUBLANC (340), 1911, BOURIQUET (196), 1946, une température très basse ou trop élevée se montre défavorable, arrête la germination et tue les spores.

D'autre part, d'après ROGER (791), 1951, et X (1131), 1956, la germination est facilitée par un abaissement nocturne de la température favorisant la formation de la rosée.

A la température de 19-20 °C, la sporulation se produit d'après ROGER (791), 1951, en un mois.

Le temps de la réalisation de l'infection dépend de la température. A la station de recherches du Kenya, la durée d'incubation est de quatre à six semaines, mais elle est influencée par la température. Elle est très courte dans des conditions chaudes ou à de basses altitudes ; c'est la principale raison pour laquelle dans ces conditions la maladie sévit avec intensité.

GYDE (450), 1932, en Afrique du Sud, indique que la période d'incubation d'*Hemileia vastatrix* est de trente jours environ.

D'après RAYNER (763), 1961, la période moyenne d'incubation est de quatre à sept semaines et augmente avec les températures basses et la sécheresse.

X (1147), en 1963, au Kenya, indique dans son rapport que la période moyenne d'incubation de la race II d'*Hemileia vastatrix*, à 16-24 °C sur les disques de feuilles au laboratoire, variait de vingt-six à vingt-huit jours et dépendait des variétés de caféier.

Une saison humide détermine donc une période d'incubation plus courte et par conséquent une très grande intensité des infections successives. Il en résulte, d'après X (1131), 1956, une production de nombreuses générations de rouille et des épiphyties tous les ans, et non plus certaines années seulement. *C. arabica* est l'espèce la plus sensible à l'*Hemileia vastatrix*, sa culture a été entreprise en dehors de son aire géographique naturelle, dans les zones tropicales et équatoriales ; elle se trouve localisée dans les stations d'altitude dont les facteurs climatiques tendent à se rapprocher de ceux du pays d'origine, au moins en ce qui concerne la température. C'est précisément dans ces conditions qu'ont été remarquées les anomalies dans les rapports existant entre le climat et le développement de la rouille, ainsi que certaines contradictions avec le principe général de l'humidité favorable ; l'altitude joue dans ce cas un rôle complexe, à la fois sur l'hôte dont elle modifie la vigueur, et par conséquent la résistance, et sur le parasite ; elle agit indirectement par l'intermédiaire de deux facteurs corrélatifs. Il s'en suit un abaissement de température et des variations hygrométriques de l'air.

L'influence de la température sur la végétation, d'après ROGER (791), 1951, p. 75, et celle de l'humidité ne sauraient être mieux mises en relief que par l'examen des zones d'origine et de culture du caféier d'Arabie dans le monde ; l'extension considérable de sa culture à des fins économiques,

en dehors de son aire naturelle de dispersion, montre l'influence néfaste des conditions imposées à cette plante dans diverses régions du globe. Originaire des plateaux d'Abyssinie, du plateau Kaffa, situé au voisinage du tropique, le caféier dit d'Arabie se rencontre à l'état spontané dans ces régions, entre le 7^e et le 9^e degré de latitude Nord et de 1.000 à 2.000 m d'altitude ; il y trouve des températures modérément chaudes et des atmosphères assez sèches. De ce fait, cette espèce redoute les fortes chaleurs et s'accommode mieux de la sécheresse que de l'excès d'eau ; il n'est avantageusement cultivable ailleurs, dans les régions tropicales et équatoriales, que sur les plateaux dont l'altitude compense, en ce qui concerne seulement la température, la latitude trop basse et rétablit le degré thermique propice à la végétation. C'est ainsi qu'on rencontre des cultures florissantes dans les zones montagneuses du Centre africain ; au Kenya, dans la région de Nairobi, entre 1.200 et 2.000 m d'altitude, et dans la région des grands lacs au Kivu, au Rwanda.

Ailleurs, quelques régions de l'Afrique occidentale, quoique déjà moins favorables, peuvent encore permettre une culture rémunératrice ; au Cameroun notamment, où la végétation du caféier d'Arabie est bonne entre 1.000 et 1.600 m, on le cultive plus spécialement dans les pays Bamoun à 1.100-1.200 m ; on peut à la rigueur tenter de le cultiver à 800 m d'altitude, mais c'est là, selon PORTÈRES, une zone limite pour toute la Côte d'Afrique occidentale.

On en trouve au Fouta-Djalon en Guinée, dans la partie montagneuse ouest de la Côte d'Ivoire, ou encore dans quelques régions de République Centrafricaine et plus spécialement dans celle de Bouar entre 800 et 1.000 m d'altitude, sous réserve de trouver des terrains riches.

Dans les zones élevées, la culture de l'Arabica se situe entre deux niveaux : l'un inférieur, imposé par une température excessive et l'autre supérieur déterminé par le froid. Ainsi, en Afrique centrale, l'altitude de 2.100 m, où des gelées véritables sont enregistrées, constitue une limite extrême.

En dehors de ces régions, tous les essais de culture, qui furent très nombreux, ont été voués plus ou moins rapidement à des échecs dus à la fois à une température et à une humidité trop élevées et constantes ; ou bien-ils se sont révélés très improductifs. C'est le cas notamment de toutes les régions équatoriales basses de l'Afrique occidentale et équatoriale, des plaines de l'Inde et même des plaines littorales sud-américaines.

La culture de la plante reste théoriquement possible partout, mais sa végétation est difficile à cause de la température excessive, surtout si celle-ci est accompagnée d'une forte humidité, qui la met dans une position physiologique dure et l'expose

plus particulièrement aux attaques parasitaires. L'épiphytie désastreuse qui a sévi à Ceylan à partir de 1868 dans les plantations de *C. arabica* de l'île, fut dans son extrême gravité la conséquence d'un climat défavorable à l'espèce.

Influence du vent, de l'éclairement, de l'ombrage et des façons culturales

Indépendamment des facteurs climatiques généraux, toutes les conditions susceptibles d'augmenter localement l'humidité de l'air exercent une action favorable au développement de la rouille.

Selon MAYNE (601), 1939, la virulence de l'*Hemileia vastatrix* et son pouvoir pathogène d'infection seraient plus élevés à l'ombre qu'à la lumière, par suite d'un effet inhibiteur de l'insolation directe.

L'ombrage du caféier, question très discutée, doit surtout être strictement établi en rapport avec l'espèce cultivée et le climat local, car l'intensité de l'éclairement a des répercussions importantes sur la physiologie de la plante, plus particulièrement sur celle de l'Arabica. Assez souvent, dans certains pays et en particulier dans le Sud Annam et d'après ROGER (791), 1951, durant la saison sèche, les caféiers souffrent d'une violente insolation et ne peuvent de ce fait opposer aux infections toute la résistance dont ils sont normalement capables dans une ambiance favorable. Ce même auteur indique qu'il est probable que l'ombre et la lumière ne provoquent pas directement de variations dans le pouvoir d'infection ; beaucoup d'observations ont montré en effet qu'un ombrage, judicieusement dosé, n'amenant pas par sa densité trop forte un excès d'humidité, reste sans effet sur la virulence même de l'*Hemileia*, mais confère à la plante une meilleure résistance.

Le vent, d'après certains auteurs, est le principal facteur de dissémination de la maladie ; les vents forts détachent les spores de leurs sores et les transportent à une distance assez éloignée.

MAYNE (601), 1939, par ses expériences, montre que le nombre de feuilles infectées, emportées par le vent durant la saison sèche qui précède l'éclatement des bourgeons, détermine le degré de sévérité d'une épiphytie.

Le même auteur (590), 1932, indique qu'aux Indes, la maladie est beaucoup plus fréquente dans les plantations abritées du vent que dans celles exposées.

Cependant, X (1131) indique que lorsque les vents du sud-ouest sont faibles, pendant la saison des pluies, les caféiers exposés à ces vents ne sont pas aussi infectés par la maladie durant la mousson

que ceux abrités des vents. Dans ce cas, le vent joue un rôle opposé et il peut empêcher le développement d'attaques sévères de la rouille.

Une libre circulation de l'air autour des arbres et à l'intérieur des plantations réduit l'infection en permettant aux feuilles mouillées de sécher rapidement, ce qui empêche la germination des urédospores. De là découlent la taille et l'égourmandage des caféiers. La facilité avec laquelle le vent transporte les spores d'arbre en arbre impose un contrôle plus difficile de la maladie que si les spores étaient seulement entraînées par la pluie.

Cependant, des études et recherches effectuées au Kenya concernant la dissémination de la maladie, par NUTMAN (690), 1959, RAYNER (761), 1960, NUTMAN, ROBERTS et BOCK (691) la même année, RAYNER (664), 1961, BOCK (169), 1962, NUTMAN et ROBERTS (692) la même année, montrèrent que la pluie est le principal facteur de dissémination de la rouille, le vent ne jouant qu'un rôle infime sur la dispersion des urédospores surtout à faible vitesse. Par contre, BURDEKIN (224), 1960, au Kenya, indique que la dispersion d'*Hemileia vastatrix* peut se faire à la fois par le vent et par la pluie.

D'SOUZA (362), en 1965 aux Indes, dans une étude préliminaire effectuée avec un piège à spores Hisst montrait que les spores d'*Hemileia vastatrix* étaient transportées par le vent à des distances allant de 180 à 450 m.

WALLACE (1008), 1928, au Tanganyika, indique que le degré d'attaque de la rouille varie d'une année à l'autre ainsi que d'une plantation à l'autre, suivant l'exposition, l'éclaircissement, et que dans l'ensemble elle dépend essentiellement de l'influence combinée des conditions environnantes : altitude, humidité, exposition et vigueur des caféiers. Aux altitudes élevées, où il pleut beaucoup, il faut moins d'arbres, mais il faut nécessairement protéger les plantations contre les vents violents.

A basses altitudes, il faut un ombrage suffisant et une protection contre le vent. Une exposition excessive augmente considérablement l'effet épuisant de la maladie.

DAVID (330), en 1928, aux Philippines, mentionnait que les caféiers ombragés par *Gliricidia maculata*, *Leucaena glauca* et *Erythrina fusca*, étaient plus vigoureux et moins sensibles à la rouille que les arbres exposés au soleil.

La virulence d'*Hemileia vastatrix* et son pouvoir d'infection seraient plus élevés à l'ombre qu'à la lumière, par suite d'un effet inhibiteur de l'insolation directe. D'après MAYNE (613), 1942, les spores perdent leur pouvoir germinatif par exposition à une forte lumière. Les mêmes observations ont été faites par X (1138), en 1958, au Kenya, qui mentionne que la germination des urédospores a été fortement inhibée par la lumière.

MAYNE (590), 1932, mentionne également que la lumière a une action inhibitrice sur la germination des urédospores.

RAYNER (764), 1961, d'après ses expériences, indique que la germination des urédospores est arrêtée par la lumière, et dans les champs, par la rapide évaporation diurne des gouttelettes d'eau. D'après ce même auteur, la lumière inhibe également la croissance des tubes germinatifs.

Ce même phénomène a été observé par NUTMAN et ROBERTS (693) en 1963, au Kenya, qui précisent que la germination des urédospores ne s'effectue qu'à l'obscurité ou à de faibles intensités lumineuses en présence d'eau liquide : cette condition est réalisée la nuit ou sous un ombrage excessif.

Ainsi, les infections artificielles que nous avons réalisées sur feuilles détachées et sur plantules en pot, ne réussissent que lorsque les contaminations sont effectuées en pleine obscurité.

Les plantations mal exposées au soleil, touffues, ou se trouvant dans les vallées ou le long des cours d'eau sont les plus atteintes par la rouille. Un ombrage trop épais, mal réglé, ne laissant passer qu'une faible intensité de lumière, contribue à augmenter la virulence du parasite en favorisant la germination de nouvelles spores.

L'ombrage a deux effets sur les plantes malades : il agit indirectement sur le parasite en réduisant l'intensité lumineuse et les fluctuations de la température, offrant ainsi des conditions favorables pour le champignon ; il agit aussi directement sur la rouille en arrêtant la dissémination des spores par le vent et la pluie ; ce bienfait de l'ombrage est connu ; les plantations abritées par les brise-vent sont, comme nous l'avons vu plus haut, moins infectées que celles non abritées.

DADANT (325), 1954, indique qu'en Nouvelle-Calédonie, pour réduire les attaques d'*H. vastatrix*, l'ombrage doit être augmenté. Les plantations des régions montagneuses sont pour la plupart complètement résistantes.

D'après cet auteur, l'infection de *C. arabica* est strictement dépendante du microclimat ; l'insolation et l'humidité favorisent le développement d'*H. vastatrix* sur *C. arabica*.

Comme pour l'hôte, l'ombrage peut donc être favorable ou non au parasite ; un excès favorise son développement en fournissant les conditions nécessaires à sa germination : humidité, température convenable, éclaircissement faible ; un défaut de cet ombrage défavorise l'hôte, mais tue le parasite.

Toute la difficulté réside dans la façon de régler l'ombrage qui reconstitue dans n'importe quel pays et dans n'importe quelle plantation, un microclimat qui doit être à la fois favorable à l'hôte et défavorable au parasite.

Dans certains pays tels que l'Arabie, l'Éthiopie, le Brésil, de même que dans les hautes altitudes

du Kenya et d'ailleurs, la culture de l'Arabica est pratiquée sans ombrage. Par contre, dans les basses altitudes et dans les régions forestières, la culture se pratique avec ombrage. **L'ombrage du caféier doit être strictement établi en rapport avec l'espèce cultivée et le climat local.** COSTE (313), 1955, dans son ouvrage « Les caféiers et les cafés dans le monde », a essayé d'établir sous forme d'un tableau, l'intensité optimum de l'ombrage pour chaque espèce de caféier en tenant compte de son écologie. Nous le donnons ci-dessous.

En dehors de l'ombrage, d'autres facteurs peuvent intervenir en faveur du développement du parasite ou au contraire à son désavantage. Ce sont les façons culturales.

Pour THWAITES (937), la rouille est une maladie des arbustes cultivés en terres pauvres ; à basses altitudes, mais avec l'aide d'une bonne fumure, le rendement est bon, malgré l'*Hemileia*. Cette influence salutaire du fumier à haute dose a été signalée par WARD à Ceylan et par BOURIQUET (196) à Madagascar en 1946. Les caféiers chlorotiques, touffus, chargés de fruits, sont très attaqués par la rouille.

Chez le Robusta, la présence de la rouille révèle, d'après Mc DONALD (639) et STEYAERT (861), des conditions malsaines auxquelles sont soumis certains arbres.

On peut admettre, d'une façon générale, que le caféier se trouvant dans de bonnes conditions d'hygiène, et surtout dans les conditions écologiques favorables, réagit mieux aux attaques de la rouille, que celui se trouvant dans des conditions d'hygiène et écologiques défavorables.

D'après MAYNE (592), 1933, aux Indes, la vigueur du champignon est déterminée par celle de l'hôte ;

les méthodes culturales et les engrais ne peuvent pas contrôler la maladie, quoiqu'ils puissent aider les arbres à supporter l'infection, si les conditions climatiques adverses ne durent pas trop longtemps.

RAYNER (754), 1956, dans son article « Leaf Rust », écrit notamment : « il est certainement vrai qu'une plante en bon état de santé paraît souvent plus résistante qu'une plante en mauvais état. Cependant, des expériences effectuées à la station de recherches, sur les lots de caféiers soumis à de mauvaises conditions et sur d'autres en bon état, n'indiquaient aucune différence quant au nombre de feuilles attaquées, bien qu'à première vue l'attaque de la rouille ait paru bien plus grande sur les premiers. Il apparaissait aussi que la différence était réellement due à l'état évidemment moins sain de ces caféiers, rendant la rouille plus manifeste à la vue. En outre, des lots ayant reçu une forte dose d'engrais azotés étaient comparés à d'autres n'ayant reçu qu'une faible dose, et aucune différence de degré d'attaque de la rouille n'était constatée. L'auteur concluait que de telles contradictions sur la sensibilité à la rouille nécessitent une observation minutieuse. L'auteur indique aussi que la conclusion pratique n'a pas changé, car il est évident que devant une attaque de même importance, les plantes bénéficiant de conditions favorables souffrent moins que celles en moins bon état, et toutes les mesures destinées à maintenir la santé des arbres réduisent probablement l'effet de la rouille : mulch, taille, ombrage, engrais azotés et potassiques, pulvérisations anti-cryptogamiques, etc... »

Ainsi donc, en résumant l'influence de tous les facteurs éco-climatiques que nous avons passés en revue, nous pouvons conclure que, comme pour

Exigences comparatives d'ombrage de quelques espèces de caféiers cultivés (d'après R. Coste)

Espèce	Ecologie succincte	Intensité de l'ombrage (graduée de 0 à XXX)
<i>C. arabica</i>	Orophile { Plateaux brouillardeux..... Plateaux à amplitude thermique excessive..... Plaines chaudes	0 à X XX XX à XXX
<i>C. liberica</i>	Arbuste côtier subhéliophile végétant à basse altitude inférieure à 100 m dans les régions à nébulosité élevée (5 à 7)	0
<i>C. Abeokutae</i>	Arbuste côtier se trouvant à une altitude inférieure à 400 m dans des régions à nébulosité élevée (4 à 7), à saison sèche courte	0 à XX
<i>C. excelsa</i>	Arbuste subhéliophile, végétant dans les fronts forestiers et les galeries forestières	0 à X
<i>C. canephora</i>	Arbuste sciaphile originaire des zones forestières	X à XX
<i>C. kouillou</i>	Espèce exigeant de la lumière et une saison sèche	X
<i>C. robusta</i>	Espèce exigeant beaucoup de lumière, mais nécessitant, pour fructifier normalement, une saison sèche accusée	XX

toutes les maladies cryptogamiques, le développement et l'extension de la rouille dépendent de l'action du milieu, à la fois sur l'hôte et sur le parasite. Tous les facteurs ont une influence sur la biologie du parasite et celle de l'hôte. Il est impossible de considérer l'un sans l'autre, et impossible de sous-estimer l'un au profit de l'autre ; la virulence de la maladie dépend à la fois de l'état de l'hôte et de celui du parasite. Il est de toute évidence que l'action de ces facteurs varie d'un pays à l'autre, suivant sa latitude ; l'humidité, par exemple, est le facteur prépondérant dans les régions intertropicales ; dans les régions tropicales et équatoriales, elle est plutôt défavorable et la température par contre jouerait un rôle prépondérant d'après ROGER (791), 1951 ; aux Indes, au contraire, la mousson commande essentiellement la répartition et l'intensité de la maladie dans le temps et dans l'espace, comme le montrent les observations faites par WARD (1049) et celles de MAYNE (584) en 1930 et 1932 (587). On se retrouve, comme nous l'avions indiqué, dans la complexité de l'action des facteurs climatiques et on constate, d'après les observations de différents auteurs, que dans un même pays la virulence du champignon varie d'une région à l'autre. D'après ROGER (791), 1951, en Indochine, par exemple dans le Nord, dans la région moyenne du Tonkin, la rouille n'apparaît jamais pendant l'époque des fortes pluies, mais pendant l'hivernage au moment où la température se relève (mars-avril-mai), puis cesse pendant la période de forte chaleur. Dans la chaîne annamitique (450 à 500 m d'altitude), les attaques se produisent pendant une partie de la saison pluvieuse au moment des

fortes pluies en août-septembre et octobre ; dans le sud de l'Annam, la maladie sévit surtout en saison sèche où la température est favorable pour l'*Hemileia* et l'état hygrométrique élevé. Au Laos, dans les Bolovens, la rouille se rencontre rarement durant la saison des pluies.

Aux Indes, MAYNE (584), en 1930, mentionne que dans les conditions climatiques du Nord Mysore, la présence de la rouille s'accroît après la floraison et continue lentement pendant la période chaude de la mousson. Au cours de celle-ci, les lourdes pluies, presque continues, semblent arrêter le développement de la maladie. Par contre, avec les pluies intermittentes de la mousson nord-est, les attaques croissent rapidement. Le même auteur, en 1932 (590), indique que la gravité des attaques annuelles aux Indes était déterminée par la forte humidité et par les rosées des mois sans pluie.

L'ombrage, en ce qui concerne le *C. arabica*, est un facteur prépondérant créant un microclimat favorable pour le développement de la plante et défavorable pour le parasite quand il est bien étudié, restituant ainsi artificiellement aux caféiers un microclimat se rapprochant de leur pays d'origine. Les études faites par DADANT (325) en Nouvelle-Calédonie, concernant l'influence de l'ombrage sur le développement de la rouille, ont démontré l'étroite dépendance de la rouille vis-à-vis du microclimat de chaque plantation ; la rouille sévissant essentiellement dans les plantations insuffisamment ombragées, ce qui appuie la théorie accordant une place primordiale au rôle de l'ombrage dans la lutte contre l'*Hemileia vastatrix* de *C. arabica*.

LES RACES PHYSIOLOGIQUES ET BIOLOGIQUES D'*HEMILEIA VASTATRIX* et leur virulence vis-à-vis des différentes espèces, variétés, lignées, clones et hybrides des *Coffea* cultivés et spontanés

Les données biologiques sur la rouille mettent en évidence de grandes variations concernant la virulence de l'*Hemileia vastatrix* sur les différentes espèces et variétés de caféiers. Certaines espèces et variétés initialement résistantes se sont révélées par la suite sensibles au parasite et ce phénomène demeurait au début inexplicable, mais des études et recherches effectuées par la suite ont montré que l'*Hemileia vastatrix* possédait des races physiologiques et biologiques.

C'est MAYNE (589), en 1932, aux Indes, qui, travaillant sur la réaction de nombreux hybrides et sélections de *C. arabica* à la rouille, montra l'existence de la spécialisation physiologique dans cette rouille. La même année (588), l'auteur, dans son rapport annuel, mentionnait pour la première fois la présence de deux races physiologiques d'*Hemileia vastatrix* dans le sud de l'Inde. Ayant entrepris de nouvelles expériences sur de petits disques de feuilles flottant dans des boîtes de Pétri, il montra que les réactions des feuilles de deux variétés de caféiers, Kent et Coorg, étaient différentes, ceci étant dû à l'existence de races physiologiques de l'*Hemileia*. Ce fait a permis de démontrer et expliquer les changements de virulence que la rouille a montrés à quelques années d'intervalle.

En 1933 (591), l'auteur indique que des cultures représentant les deux races d'*H. vastatrix* récemment découvertes, étaient maintenues sur feuilles vivantes de caféiers aux Indes. Ces cultures isolées et testées étaient utilisées pour estimer la résistance des plantules à la rouille, et les résultats obtenus montrèrent que la résistance domine la réceptivité. L'auteur estime qu'il est probable que le mode de transmission suit la loi de Mendel.

En 1935 (595), l'auteur pense que la résistance des caféiers à la race I d'*H. vastatrix* est transmise par un simple facteur dominant mendélien. La résistance à la race II a été trouvée seulement en

association avec la résistance à la race I dans les plants d'origine hybride.

En 1946, l'auteur (617) a observé des réactions différentes à l'*H. vastatrix* des variétés Kent et Coorg ; la première est plus résistante que la seconde, ce qui est la conséquence de l'existence des races physiologiques. L'existence des races physiologiques et biologiques a été démontrée également par les travaux de WELLMAN (1058) en 1952 et 1953 (1059).

Aux Indes, où la lutte contre l'*Hemileia* a été entreprise depuis longtemps et a donné des résultats très encourageants, THOMAS (926), 1948, a identifié sur *C. arabica* quatre races physiologiques d'*Hemileia* à la Station de Balehonnur et il préconise le développement et la multiplication des lignées résistantes aux quatre races.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (696), en 1954, a isolé huit races d'*Hemileia vastatrix* à la Station de Recherches pour la rouille d'Oeiras à partir des caféiers provenant de l'Afrique de l'Est.

POUR STEVENSON et BEAM (856), 1953, et ROGER (790), en 1937, l'*Hemileia coffeicola* pourrait n'être qu'une race physiologique d'*H. vastatrix*. Cette espèce existe sur les caféiers sylvestres et infecte très facilement le *C. arabica* et depuis quelques années le *C. robusta*, mais d'après ces auteurs, la confirmation de cette hypothèse ne doit se faire qu'après un examen approfondi.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (698), 1957, indique qu'un travail sur *Hemileia vastatrix* et *coffeicola* a été commencé en 1951 à Sacavem au Portugal et continue au Centre de recherches de Ferry Cap environ depuis 1955. On a étudié 1.000 variétés de caféiers et 20 races d'*H. vastatrix* provenant des différentes régions caféières. Jusqu'à cette époque, des rouilles de *C. arabica*, *C. canephora*, *C. stenophylla*, *C. abeokutae* et *C. racemosa* ont été reçues.

FIRMAN (409), 1961, rapporte qu'*Hemileia vas-*

tatrix a été pour la première fois trouvé sur *C. robusta* au Centre et Nord Nyang au Kenya ; il pense qu'il vient de l'extension de la race IV de l'Ouganda.

FIRMAN et HANGER (410), 1963, ont fait un compte rendu détaillé sur la rouille. Les nouveaux points comprennent l'illustration de la distribution de l'*Hemileia vastatrix* et l'apparition signalée récemment des races XV sur *C. arabica* et IV sur Robusta au Kenya. Des échantillons ont été envoyés à l'Institut des recherches sur la rouille au Portugal pour leur détermination.

Une autre explication de la susceptibilité nouvelle des différentes variétés considérées comme immunes, repose sur l'accroissement de la virulence du parasite et non pas sur la dégénérescence des hôtes.

CRAMER donne l'exemple des attaques de *C. liberica*. D'après CHEVALIER (267) pendant 30 ans, seul le *C. arabica* a été atteint, puis le parasite s'est acclimaté peu à peu sur *C. liberica* qui est devenu sensible à la maladie.

En ce qui concerne la sensibilité de différentes espèces, variétés, lignées et clones de *Coffea*, RODRIGUES (787), en 1956, mentionne que toutes les espèces de caféiers se sont révélées sensibles, mais leurs réactions vis-à-vis de l'*H. vastatrix* sont plus ou moins intenses.

FAUCHÈRE (392) signalait en 1906 que *C. congensis* était la seule espèce à Madagascar sur laquelle il n'avait jamais vu une seule tache de rouille, mais il constata par la suite des variations très marquées et quelques taches sur les feuilles.

C'est VAN HALL (987), en 1921, qui signale le premier que dans le sud de l'Inde, *C. robusta* manifestait une réceptivité croissante à l'*Hemileia vastatrix*.

En Ouganda, SNOWDEN (837), en 1922, signalait qu'*Hemileia vastatrix* avait été très fréquent et extrêmement virulent sur *C. arabica* de juin à août 1921 et de nombreux arbres étaient défeuillés. Il mentionnait également que certaines variétés de *C. robusta* étaient aussi très endommagées ; par contre, les types de Robusta Toro et Quillou et *C. congensis* var. *Chalottii* étaient plus résistants. Les trois variétés de *C. excelsa* cultivées étaient très résistantes ainsi que *C. liberica*, mais cette dernière espèce était moins vigoureuse et moins productive.

En 1928, DAVID (330) indiquait qu'aux Philippines le type Arabica était le plus sensible à *H. vastatrix* et sérieusement attaqué, tandis que les *C. liberica* peuvent résister pendant plusieurs années, mais deviennent finalement sensibles. Le Robusta est intermédiaire entre les deux. L'auteur concluait qu'il était contre-indiqué d'étendre les plantations de Robusta et de Liberica puisque par une exposition prolongée ils deviennent aussi sensibles que le type Arabica.

WALLACE (1008), 1928, indique que même dans leur pays d'origine, les caféiers indemnes perdent leur immunité après deux ou trois ans de culture ; une variété résistante à un moment donné peut cesser de l'être quelques années après.

THOMAS (925), en 1930, indique que le *C. arabica* très cultivé dans le sud de l'Inde est très sensible à la rouille ; le *C. robusta*, très rare en général, et le *C. liberica*, jamais cultivé en plantation, sont très résistants. Par contre, l'hybride Jackson récemment introduit est aussi sensible que *C. arabica* ; le Hall est, lui, très résistant.

L'auteur, en pratiquant des coupes anatomiques sur les feuilles de certaines variétés résistantes à la rouille, a observé sur toutes la présence de globules huileux et cireux dans les cellules épidermiques de la face inférieure des feuilles et dans celles du parenchyme. Dans les feuilles jeunes, les globules sont petits, nombreux et fusionnent au fur et à mesure que les feuilles deviennent adultes. Deux globules se trouvent généralement dans chaque cellule stomatique ; chez les variétés les plus résistantes, les globules sont plus nombreux et la coalescence se fait plus tard que chez les variétés plus sensibles.

Des études comparables ont été effectuées également par TASCHDJIAN (898), en 1934, et par WELLMAN (1059), en 1953. Une corrélation a été aussi trouvée, semble-t-il, entre le degré de résistance à la rouille et le nombre, la distribution, la période de coalescence des globules dans l'épiderme inférieur des feuilles ; le taux d'huile paraît être un facteur déterminant du degré de résistance ; son mode d'action reste indéterminé, peut-être l'huile rend-t-elle la feuille imperméable à l'eau, et peut-être agit-elle comme un toxique pour le tube germinatif de l'urédospore.

D'ailleurs MAYNE (616), 1946, THOMAS, NARASIMHASWAMY (678), 1952, ainsi qu'ORILLO et VALDEZ (702), 1961, aux Philippines, s'accordent sur le caractère mendélien, dominant, simple de la résistance à la rouille, et leurs travaux ont été confirmés au Kenya aux laboratoires agricoles de Scott à Nairobi, et à la Station de recherche sur le café de Ruiru, de même que par WELLMAN (1060), 1954.

D'après FAUCHÈRE (393), 1906, et WELLMAN (1058), 1952, 1953 (1059), 1954 (1060), 1955 (1061) et 1956 (1062), des croisements entre les variétés d'Arabica sensibles et le *C. liberica* tolérant ont été effectués et les résultats obtenus sont satisfaisants dans beaucoup de cas. Le croisement entre les variétés de *C. arabica* et *C. congensis* donne des résultats semblables.

MAYNE (616), 1946, indique qu'*Hemileia vastatrix* est une des principales maladies affectant les caféiers dans le sud de l'Inde. De nombreuses sélections de caféiers résistants à la rouille ou

plutôt aux races physiologiques actuelles ont été réalisées, mais elles peuvent devenir sensibles à d'autres races.

BOURIQUET (196), 1946, mentionne que toutes les variétés de caféiers poussant à Madagascar sont attaquées en toute saison par la rouille. L'espèce la plus sensible, *C. arabica*, a été remplacée par *C. liberica*, *C. kouillou*, *C. congensis* et *C. robusta* dans les régions côtières de l'Est.

THIRUMALACHAR et NARASIMHAN (912), 1947, travaillèrent sur la morphologie des sores et firent des expériences pour distinguer les différentes espèces d'*H. vastatrix* se rencontrant aux Indes (Mysore) sur les Rubiacées, auxquelles on attache une importance particulière en raison de leur rôle potentiel dans l'extension de la rouille des caféiers. La confusion du groupe est attribuée à l'étroite similitude qui règne dans la forme des urédospores dont les dimensions sont le seul critère de différenciation des espèces.

NARASIMHASWAMY (678), 1952, indique qu'aux Indes, de toutes les variétés et lignées mises à l'épreuve, le *C. robusta* est la seule acceptable par sa résistance relativement élevée ; il mentionne la sélection d'hybrides à résistance dominante à la Station de Balehonnur.

CHEVALIER (267) indique que cette variation de résistance s'observe encore sur d'autres espèces. Ainsi à Java les *C. canephora* et *C. excelsa* ne sont plus complètement résistants après vingt ans.

THOMAS (929), 1953, a trouvé que la variété S 446 de *C. arabica* à Chethalli résistait à la rouille, ne présentant que quelques taches et ne souffrant pas de défoliations intenses. Les sélections 1, 2, 3 et 4 des hybrides de *C. arabica* de Kurvenmythy étaient résistantes et à végétation vigoureuse. Les croisements entre *C. robusta* lignée 53-31 et 58-31 poussaient bien et étaient exempts de maladie. Les pieds mères de 53-28 et 49-28 à Ghattedhulla sont sensibles à l'*H. vastatrix*, mais les croisements entre ces plantes restaient indemnes.

D'après ROGER (792), 1953, la majorité des plants d'Arabica sont attaqués ; la résistance est une propriété spécifique innée, mais variable suivant les conditions dans lesquelles se trouve la plante, et le caféier d'Arabie est d'autant plus susceptible à la maladie que le milieu et les facteurs climatiques diffèrent de ceux de son pays d'origine.

SWAINSON (880), en 1948, indique que les caféiers originaires de l'Afrique tropicale, centrale, et équatoriale opposent plus de résistance à la rouille ; les plus résistants sont par ordre décroissant : *C. robusta*, *C. canephora*, *C. congensis*, *C. excelsa* et *C. liberica*. Ces caféiers étant du pays d'origine du champignon, ce dernier se trouve en équilibre biologique avec ses hôtes habituels. C'est là une explication probable de la résistance de ces caféiers.

SUNDARAM (878), 1949, et NARASIMHASWAMY

(678), 1952, ont obtenu un hybride (S 288) qui résiste aux races de rouille infectant les variétés Kent et Coorg.

D'après FINKER, ATKINS et MURPHY (408), 1953, beaucoup de types sauvages de *C. arabica* se sont montrés expérimentalement très résistants à l'*Hemileia*.

MAISTRE (557), 1955, pour résoudre le problème de l'établissement de plantations de *C. arabica* dans les zones peu élevées de l'Afrique occidentale, avait proposé la création de variétés résistantes par hybridation interspécifique suivie de rétro-croisements ; par exemple le croisement entre *C. canephora* et *C. arabica*.

TIXIER (944), en 1955, étudiant les caféiers des Bolovens, indique que l'immunité contre la maladie cryptogamique est habituellement l'attribut, non d'une espèce botanique, mais de certains individus de cette espèce, ce qui montre l'intérêt d'isoler de nombreuses lignées et clones résistants à partir de ces plantes.

SANDERS (809), 1955, résumant les travaux de la Station de Lyamungu au Tanganyika, rapporte que la rouille est à nouveau très répandue sur les arbres portant une forte production et qui manifestent une forte défeuillaison. La sélection H 66, KP 423, KP 532 est immunisée contre toutes les races sauf une, la plus virulente découverte jusqu'ici.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (697), 1955, dans son quatrième article, décrit de façon détaillée la culture de divers types de rouille sur les caféiers, les techniques d'inoculation, la différenciation des races et des biotypes d'*Hemileia*, l'appréciation du type de réaction qui s'opère sur un caféier inoculé, selon une échelle de valeurs, qui comprend neuf qualifications différentes depuis l'immunité absolue jusqu'à la réaction hétérogène du matériel inoculé.

D'après RAYNER (754), 1956, la sélection K 7 au Kenya est capable de réagir à toutes les races de rouille, mais dans d'autres conditions climatiques, elle ne peut résister et devient sensible.

FARIA-ROSADO DIAS (389), 1957, indique que les expériences entreprises au Portugal, pour rechercher si la susceptibilité du caféier à l'*H. vastatrix* est associée à un caractère physiologique ou biochimique de l'hôte, n'ont pas permis de vérifier l'hypothèse de TASHCHJIAN selon laquelle il y aurait corrélation entre l'intensité de la transpiration chez le caféier et la résistance à la rouille.

SILVA (834), 1958, indique qu'à São Tomé, *C. liberica* et *C. dewevrei* var. *excelsa* sont très sensibles à la maladie. Il a trouvé aussi de la rouille sur *C. stenophylla* et *C. canephora* à Principé.

DIAS et CONTREIRAS (390), 1958, indiquent que dans les conditions de leur expérience, la résistance

des caféiers à la rouille n'était pas en relation avec la turgescence des feuilles.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (699), 1959, faisant l'histoire de la sélection du caféier effectuée pour obtenir l'immunité contre *H. vastatrix*, décrit les dégâts provoqués par la première épidémie à Ceylan vers 1905. L'auteur a divisé le matériel végétal en neuf groupes immunisés contre une ou plusieurs races d'*Hemileia vastatrix*. Le groupe A serait immunisé contre toutes les races d'*Hemileia vastatrix*, de même que le groupe E.

RODRIGUES (788), 1960, fait la révision générale des travaux effectués à Oeiras (Portugal) en différenciant les races physiologiques d'*H. vastatrix* et les types de résistance trouvés chez l'hôte.

Il montre dans un tableau de la distribution géographique des onze races physiologiques d'*H. vastatrix*, que les seedlings de caféier présents dans les collections du Centre d'Oeiras sont classés en dix groupes, chacun caractérisé par sa réaction au pathogène, en rapport avec dix clones différents allant de l'immunité totale à la sensibilité totale. Le seedling 832, du groupe A, est résistant à toutes les races identifiées. Une discussion suit sur l'hérédité de la résistance.

Dans la deuxième partie, les résultats détaillés sont donnés pour l'ensemble de 195 associations. Quelques-unes se trouvent aussi dans « Progress Report to Ethiopia », *Garcia de Orta*, 7,2, p. 279-292, 1959, par les mêmes auteurs.

FERNIE (401), 1961, au Tanganyika, indique que l'examen, au Centre de recherches sur la rouille du caféier au Portugal, du matériel provenant de la série N des sélections d'Arabica produites à la Station de Lyamungu montrait que cette série manifeste la réaction typique des Bourbon à l'*H. vastatrix* et est sensible aux races I et II.

L'emploi de N 39 dans un programme limité de sélection résultait en quelques hybrides comprenant N 39 XVC 496 parmi d'autres qui révélaient une vigueur d'hybride et une haute résistance à la rouille donnant de belles plantations pendant la première de trois années de récolte.

HANGER (456), 1961, au Kenya, indique que bien que quelques variétés indiennes de caféier soient connues pour être immunisées contre les races I et II d'*H. vastatrix*, elles ne peuvent être recommandées pour être plantées commercialement avant que l'on ne soit plus informé sur leur valeur.

ORILLO et VALDEZ (702), 1961, aux Philippines, indiquent qu'à la Station expérimentale de Los Baños Laguna, des graines de *Coffea* spp. et des variétés de la collection mondiale du département de l'agriculture des Etats-Unis à Beltsville, et d'autres origines, étaient plantées et expérimentées pour leur résistance à l'*H. vastatrix* au laboratoire et aux champs.

Les plantes ont été inoculées par atomisation

avec une suspension de spores, la technique d'OLIVEIRA avec un scalpel et un pinceau étant considérée comme très lente.

De treize sélections résistantes d'Arabica, neuf venaient de l'Afrique : K 7, H 66, KP 228, H 1, KP 423, F 840, LP 263, Geisha ; les autres, S 333, S 446 et S 795, de l'Inde.

Des inoculations des descendance montrant que la résistance était dominante. L'hétérozygotie était détectée. Les descendance de *C. arabica* × *C. dewevrei* du Brésil et le Rauvisari B (*C. arabica* × *C. liberica*) de Java étaient très résistants ainsi que les espèces comprenant *C. eugenioides*, *C. stenophylla*, *C. canephora* et *C. liberica*, mais on ne trouvait aucune résistance sur l'Arabica local et dans les collections d'Amérique Centrale. On voit souvent en culture des Robusta et Excelsa, variétés très sensibles.

FERNIE (402), 1962, indique que les descendance F1 provenant des croisements d'une sélection Geisha (UC 496) et des sélections de caféiers Kent, Bourbon et Amphilo (H 66, KP 423, N 39 et CC 541) montrent une résistance marquée dans les champs à la rouille des feuilles (*H. vastatrix*) au Tanganyika et ont un haut rendement, résultat de la vigueur de l'hybride.

HANGER (457) 1962, au Kenya, mentionne que dans les essais sur la rouille des feuilles, les variétés de caféier S 288, S 333 et S 795 de la Station de recherches sur le café de Balehonnur en Inde, montraient une immunité continue aux races I et II d'*H. vastatrix*, mais leur qualité gustative est médiocre et les rendements bas. SL 28 et SL 34 sont les meilleures variétés sur lesquelles la rouille des feuilles et la maladie des cerises, *Glomerella cingulata*, ne sont pas importantes. Lorsque la race II d'*H. vastatrix* est présente, SL et K 7 se portent bien.

ORILLO et VALDEZ (703), 1963, indiquent que les 240 sélections de caféier, la plupart de *C. arabica*, introduites aux Philippines depuis 1954 et quelques variétés locales expérimentées à la Station de Los Baños Laguna, toutes les sélections d'Amérique Centrale ainsi que les sélections locales de *C. arabica* se sont révélées sensibles à l'*H. vastatrix*, tandis que les huit africaines et quatre indiennes étaient très résistantes. Le caractère résistance était dominant :

Le clone indien S 288, plus résistant à la sécheresse que les clones africains, avait une descendance entièrement résistante. L'hybride brésilien 387 (*C. arabica* × *C. dewevrei*) était aussi résistant que le japonais Kouvisart B. (*C. arabica* × *C. liberica*).

FIRMAN et HANGER (410), 1963, indiquent que les essais sur la résistance à la rouille sont largement répandus au Kenya ; ils sont décrits avec un tableau des variétés expérimentées, les races

de rouille qui les attaquent et le degré de résistance à *Hemileia*. Sont notés également les rendements des principales variétés résistantes à la rouille : K 7, KP 532, S 333, S 795 et S 288 en 1960 et 1961.

NARASIMHASWAMY, NANBIAR et SREENIVASAN (679), 1963, donnent quelques résultats du programme pour améliorer la vigueur et la résistance à l'*H. vastatrix* et ils espèrent obtenir des variétés résistantes aux quatre races du champignon rencontrées en Inde ; celles-ci seront inestimables si les races III et IV pour lesquelles la variété S 795 est sensible (bien que résistante aux races I et II) gagnent de l'importance.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (700), 1965, donne des détails sur *H. vastatrix* et sur de nouvelles variétés de caféier ainsi que sur la distribution géographique de vingt et une races physiologiques d'*H. vastatrix*. Les nouveaux caféiers sont classés, selon la réaction aux races de rouille, en onze groupes d'Arabica pur ou hybride, six d'autres espèces et un complètement résistant, d'Arabica et d'autres espèces.

NORONHA - WAGNER et BETTENCOURT (687), 1967, indiquent que les réactions de cinq clones différentiels à douze races physiologiques d'*Hemileia vastatrix* permirent à quatre différents facteurs d'être distingués sur *C. arabica*. L'existence de quatre races nouvelles jusqu'à maintenant inconnues, est prévue. Ces résultats fournissent la base d'un programme de reproduction pour améliorer la résistance à la rouille du café.

SREENIVASAN (841), 1968, en Inde, rapporte que des résultats de protection contre les races physiologiques d'*Hemileia vastatrix* indiquent que S 795 était prédisposée à la race VIII. S 795 croisée avec Liocia Agara Dilla et Alghe montrait une résistance aux races I et XXIII. L'hybride de Timor était résistant à toutes les races.

SREENIVASAN et CHINAPPA (842), en 1968, signalent aux Indes l'existence d'une nouvelle race d'*Hemileia vastatrix*, la race XXIV, comparable au point de vue réaction à la race I.

Comme nous l'avons déjà signalé (cf. p. 7) l'*Hemileia vastatrix* a été observé pour la première fois en 1949, dans les plantations de *C. robusta* de la République Centrafricaine, où il sévissait à l'état sporadique et sans incidence économique jusqu'en 1954, mais depuis, ses attaques devenaient de plus en plus fréquentes et plus intenses, aussi bien dans les plantations industrielles et familiales que dans celles des parcelles expérimentales du Centre de Boukoko. Toutes ces plantations ont été créées avec des plants issus de semences non sélectionnées jusqu'en 1956, et à partir de cette époque jusqu'en 1969, avec des semences présélectionnées, fournies par le Centre agronomique de Boukoko. Ainsi, la plupart des plantations

constituent des populations très hétérogènes, aussi bien au point de vue productivité que résistance aux maladies et en particulier à l'égard de l'*Hemileia vastatrix*.

Des contrôles partiels effectués en 1956 et 1957 dans quelques plantations industrielles et dans celles du Centre de Boukoko permirent de constater une augmentation sensible du pourcentage des caféiers atteints, qui variait suivant les plantations de 25 à 80 % des pieds contrôlés. Nous avons pu constater également une grande variabilité quant au degré d'attaques, due probablement à la grande hétérogénéité des populations de *C. robusta* dont étaient constituées les premières plantations. Le contrôle a permis de constater que le pourcentage de caféiers fortement atteints, avec défoliation massive suivie d'un die-back des branchettes inférieures défeuillées, variait de 5 à 17 % ; celui des caféiers moyennement atteints avec chute partielle des feuilles, de 5 à 20 %, et celui des caféiers présentant une attaque légère, de 8 à 28 %, tandis qu'en 1949, le pourcentage d'attaques toujours légères ne dépassait pas 5 à 10 %. L'extension importante de cette Urédinale, et en particulier l'intensification de ses attaques, laissait penser que la race d'*H. vastatrix* inféodée à cette espèce de *Coffea* était au début peu virulente et que depuis, de nouvelles races se sont créées, douées de propriétés biologiques différentes de celles de la race initiale, surtout en ce qui concerne leur virulence ; le degré de la sensibilité était lié aux individus et non à leur état physiologique, ni aux conditions climatiques.

La maladie sévit également sur *C. excelsa*, originaire de ce pays, mais les attaques demeuraient jusqu'en 1965 très sporadiques et sans incidence économique. Depuis, on a assisté à une intensification de la maladie et actuellement on trouve dans les parcelles de Boukoko des attaques dépassant 15 %, où certains arbres présentent de fortes défeuillaisons. Toutefois, cette espèce se révèle jusqu'ici moins sensible que le *C. robusta*.

Sur *C. arabica*, dont la culture en R. C. A. est localisée dans la région de Bouar-Baboua, occupant des petites superficies à une altitude de 800 à 900 m, et également au Centre de Boukoko sous forme de collections, l'*Hemileia vastatrix* sévit aussi, en particulier au début de la saison des pluies et au commencement de la saison sèche où on assiste à de fortes défoliations. Durant la saison des pluies, les attaques sont rares ou très légères, bien qu'on trouve de fortes attaques dans les parcelles voisines de *C. robusta*, ce qui laisse supposer que la race qui atteint le *C. robusta* n'attaque pas le *C. arabica*.

Une autre espèce de rouille, l'*Hemileia coffeicola*, connue depuis 1934 sur *C. arabica* au Cameroun, faisait son apparition dans les plantations de *C. ro-*

busta de la Haute-Sangha en 1957, et depuis quelques années elle a envahi toutes les plantations de *Robusta* et les attaques se sont depuis 1965 intensifiées. Cette même espèce a été trouvée également sur *C. excelsa*, *C. arabica* et *C. canephora* var. de la Nana.

En examinant des feuilles de *C. robusta* et *C. excelsa* atteintes de la rouille, nous avons constaté que les sores présentaient deux colorations différentes. Sur certaines feuilles, la coloration des urédosores était d'un jaune orangé, tandis que sur d'autres la coloration était d'un rouge vif tirant au rouge brique. Ces deux formes de coloration s'observaient sur les sores de tout âge et même parfois on trouvait sur la même feuille les deux formes de coloration côte à côte, ce qui semble exclure toute action de facteurs extérieurs, tels que l'intensité d'éclaircissement ou l'âge des sores, susceptibles de modifier la coloration de ceux-ci.

Sur feuilles de *C. arabica*, seule la forme de sores à coloration jaune orangé a été observée jusqu'ici.

Nous avons pensé que ces deux formes de coloration des sores pouvaient être liées à deux races différentes d'*Hemileia vastatrix* et dans ce but nous avons entrepris en 1959 une étude approfondie sur la morphologie des sores : une étude biométrique des urédosores prélevées séparément sur chacune des deux formes et sur des arbres différents et à différentes époques de l'année.

Enfin, nous avons entrepris des inoculations artificielles sur des fragments de feuilles flottant dans des boîtes de Pétri au laboratoire, en inoculant séparément des feuilles des deux espèces de *Coffea* avec des spores prélevées sur des sores à coloration jaune orangé et à coloration rouge brique et prélevées sur les feuilles contaminées de ces mêmes espèces.

Enfin, nous avons procédé également à des inoculations croisées par prélèvement de spores sur des sores de chacune des deux colorations sur des feuilles de *C. robusta* et en inoculant des feuilles de *C. excelsa*.

Le but de cette étude était :

1° de voir s'il y avait des différences dans les dimensions des urédosores prélevées sur des sores des deux couleurs, provenant de deux espèces de *Coffea* ;

2° par les inoculations simples et croisées, de voir si la coloration des sores sur les fragments des feuilles inoculées se maintenait et, enfin, de voir s'il existait des différences dans la durée d'incubation ainsi que dans l'intensité des attaques.

Enfin, par les inoculations croisées, de voir si les urédosores des deux formes de coloration, prélevées sur les feuilles d'une espèce pouvaient contaminer celles de l'autre espèce.

Nous donnons ci-après les résultats obtenus.

Aspect macroscopique et microscopique de deux formes de sores

Nous avons voulu voir s'il existait une différence d'aspect des sores examinés. A la loupe binoculaire la coloration des deux formes apparaît nettement ; par contre, au microscope aucune différence entre les urédosores n'a pu être décelée, tant en ce qui concerne leur forme que le nombre de globules lipidiques (lipochromes).

Les coupes anatomiques révèlent la présence du mycélium intercellulaire dans les tissus lacuneux dont la forme et le diamètre ne diffèrent point (6-8 μ).

Les suçoirs sont présents dans les cellules et ont la même forme, ovoïde, arrondie ou réniforme, mesurant 6 à 12 \times 5 à 8 μ . La seule différence que nous avons pu constater dans toutes les coupes transversales est que dans le cas des feuilles de *C. excelsa* à sores rouges et jaunes, le mycélium est plus abondant dans le tissu palissadique que dans le cas des feuilles de *C. robusta* où les hyphes abondantes dans le tissu lacuneux sont plus rares dans celui en palissade.

Etude biométrique des urédosores

Nous avons procédé à des mesures biométriques des urédosores provenant de sores des deux couleurs prélevés sur des feuilles atteintes de deux espèces de *Coffea*. Les prélèvements des spores ont été effectués à cinq époques différentes : avril, mai, juin, octobre et novembre. Pour chaque forme et pour chaque prélèvement, 200 spores ont été mesurées, soit au total 1.000 spores. Ont été mesurées dans chaque cas la longueur (L), la largeur (l) et le rapport L/l.

Les mêmes mesures ont été effectuées aux mêmes époques de l'année sur les urédosores de *C. arabica* dont les sores sont toujours de coloration jaune orangé.

Le tableau page 82 indique les résultats obtenus. Les dimensions des spores sont exprimées en μ .

Nous désignons les deux formes de coloration des sores sur chacune des trois espèces de *Coffea* étudiées comme suit :

C. R. R. = Sores de coloration rouge brique sur *C. robusta*.

C. R. E. = Sores de coloration rouge brique sur *C. excelsa*.

C. J. R. = Sores de coloration jaune orangé sur *C. robusta*.

Mesures biométriques des urédospores

Coloration des sores	Longueur moyenne par prélèvement sur 200 spores (μ)	Largeur moyenne par prélèvement sur 200 spores (μ)	Rapport L/l	Longueur moyenne sur 1.000 spores (μ)	Largeur moyenne sur 1.000 spores (μ)	Rapport L/l
C. R. R.	30,6	20,2	1,51	30,42	19,98	1,53
	29,9	19,1	1,59			
	31,4	20,2	1,56			
	30,8	21,4	1,44			
	29,4	19,0	1,55			
C. R. E.	31,9	20,3	1,57	31,46	20,58	1,55
	32,2	21,1	1,58			
	30,7	19,9	1,54			
	32,1	21,2	1,51			
	30,4	20,4	1,49			
C. J. R.	26,8	19,7	1,36	26,84	19,4	1,37
	27,5	20,3	1,35			
	26,0	18,4	1,41			
	26,8	19,2	1,39			
	27,1	20,1	1,35			
C. J. E.	26,9	19,3	1,39	26,86	19,6	1,36
	26,5	19,1	1,38			
	26,3	19,2	1,37			
	27,1	20,1	1,35			
	27,5	20,3	1,30			
C. J. A.	26,0	20,3	1,28	26,02	20,6	1,28
	26,5	20,2	1,31			
	25,9	20,6	1,25			
	26,3	20,1	1,30			
	25,4	20,0	1,27			

C. J. E. = Sores de coloration jaune orangé sur *C. excelsa*.

C. J. A. = Sores de coloration jaune orangé sur *C. arabica*.

Les résultats des mesures biométriques des urédospores provenant de sores des deux colorations montrent qu'il existe une différence dans les dimensions entre les deux formes.

La longueur des urédospores provenant des sores à coloration rouge brique, aussi bien sur *C. robusta* que sur *C. excelsa*, est supérieure à celle des urédospores provenant de sores à coloration jaune orangé des trois espèces étudiées. Par contre, la largeur ne présente que peu de variations ; il s'ensuit un rapport L/l supérieur pour les formes de coloration rouge.

En conclusion, étant donné la faible différence qui existe entre les dimensions des spores, les mesures biométriques ne permettent pas de déterminer en fonction de la coloration des sores s'il s'agit de deux races d'*Hemileia vastatrix*.

Essais d'inoculations artificielles

Nous avons procédé à des inoculations artificielles simples dont le but était :

— de voir si les différences de couleur des sores

et les dimensions des spores étaient transmissibles et se maintenaient à l'abri de la lumière,

— de voir s'il existait des différences dans la durée d'incubation sur les feuilles des caféiers contaminés séparément avec les urédospores provenant de sores des deux colorations,

— de comparer la rapidité de l'évolution des sores sur les feuilles contaminées avec des spores des deux formes et le degré de virulence du parasite provenant des spores des deux colorations.

Les inoculations ont été effectuées au laboratoire sur des disques de feuilles flottant sur de l'eau stérilisée dans des boîtes de Pétri. Le prélèvement des feuilles a été fait sur les branchettes du sommet des arbres choisis au hasard, ce qui éliminait toute chance de contamination naturelle et les feuilles étaient avant leur contamination examinées à la loupe binoculaire.

Nous n'avons pas procédé à des inoculations monosporees, mais avec des populations d'urédospores prélevées séparément sur des sores de chacune des deux colorations, sur des feuilles choisies au hasard de chacune des trois espèces de *Coffea*. Des essais préliminaires effectués au laboratoire permirent de constater que les germinations de spores ne se produisaient pas en présence de la lumière et qu'une obscurité complète pendant trois à quatre jours après l'inoculation était nécessaire pour le développement des tubes germinatifs et la formation des appressoria.

La température a été également étudiée. A la température ambiante du laboratoire, 26 à 27 °C, le pourcentage de germination était très faible ou nul, surtout en présence de la lumière. Dans des essais effectués dans une pièce isotherme, où un climatiseur donnait une température constante de 24 °C, et en l'absence de lumière, la germination des spores au contact de fines gouttelettes d'eau variait de 30 à 80 %. Les pourcentages de germination les plus faibles ont été obtenus en goutte pendant contenant une suspension d'urédospores dans les cellules de Van Tieghem (3 à 4 %), et les meilleurs en pulvérisant sur des lamelles couvre-objets, à l'aide d'un micropulvérisateur Waast, de très fines gouttelettes d'eau contenant une suspension de spores (70 à 80 % de spores germées). Ces conditions étant précisées, nous avons utilisé **pour la contamination des fragments de feuilles** trois méthodes :

La première méthode consistait à placer les fragments de feuilles flottants dans des boîtes de Pétri, la face supérieure étant en contact avec la surface de l'eau, et à déposer sur la face inférieure des feuilles de nombreuses gouttelettes d'eau contenant en suspension des urédospores à l'aide d'un micropulvérisateur. Le couvercle était laissé sur la boîte pendant trois à quatre jours de façon à conserver les gouttelettes, en maintenant l'humidité saturée de l'atmosphère ambiante, afin de favoriser la germination des spores et l'infection des feuilles. Parallèlement, des pulvérisations sur la surface des feuilles étaient effectuées toutes les douze heures pendant ces trois, quatre jours, de manière que la surface de la feuille soit constamment humide ; après cette période, le couvercle a été enlevé, ce qui permettait de maintenir les feuilles à la surface de l'eau pendant l'expérience, et d'éviter leur immersion.

La deuxième méthode employée consistait à déposer au fond des boîtes de Pétri une rondelle de papier filtre humide sur laquelle les fragments de feuilles sont posés. Puis à sec, à l'aide d'un pinceau, les spores ont été déposées en frottant à leur surface. Après le dépôt des spores, on a pulvérisé sur la surface des fragments de très nombreuses et fines gouttelettes d'eau de pluie. Ces pulvérisations ont été répétées tous les jours pendant les trois à quatre

premiers jours, pour que les spores en germination soient constamment en contact avec de fines gouttelettes. Les boîtes étaient fermées pendant cette période ; après celle-ci, les fragments sont mis à flotter dans les boîtes de Pétri, le couvercle enlevé.

La troisième méthode utilisée revenait à déposer sur les fragments de feuilles en train de flotter un petit carré de papier filtre préalablement trempé dans une suspension concentrée de spores dans l'eau de pluie. Le petit carré de papier était enlevé au bout de trois à quatre jours.

Bien que les trois méthodes aient donné de bons résultats, la première était cependant la meilleure.

A l'utilisation, les fragments de jeunes feuilles noircissaient rapidement et leur survie ne dépassait pas dix à douze jours. Par contre, pour les fragments prélevés sur des feuilles bien formées, la conservation est longue et dépasse vingt-cinq à trente jours, quand ils se maintiennent sur la surface de l'eau. C'est la raison pour laquelle nous avons enlevé les couvercles le quatrième jour après l'inoculation pour éviter les condensations qui rendaient les feuilles plus lourdes.

INOCULATIONS SIMPLES

Elles ont été effectuées pour voir si les deux caractères : couleur et taille des spores, se maintenaient sur les sores obtenus après inoculation. Dans cette série, l'isolement provenant d'une espèce est inoculé sur les feuilles de la même espèce.

Cependant, avant de suivre l'inoculation quant à la taille des spores, il fallait s'assurer que la population d'un sore ne subit pas de variations de taille en fonction de l'âge de celui-ci, de façon qu'un prélèvement effectué au hasard sur un sore obtenu par inoculation artificielle reflète bien la taille des spores du type de rouille étudié.

Cet essai a été réalisé avec la forme jaune orangé sur *C. arabica*. Les mesures ont été faites sur des sores âgés de deux à douze jours, provenant des fragments de feuilles inoculés artificiellement.

Trois essais ont été effectués pour chaque âge ; seule la longueur des spores a été mesurée.

Le tableau ci-dessous indique les résultats obtenus (en μ).

Longueur des spores (μ) en fonction de l'âge des sores

Age du sore	2 j	3 j	4 j	5 j	6 j	7 j	8 j	9 j	10 j	11 j	12 j
1 ^{er} essai	26,6	26,2	27,2	27,0	27,3	26,7	26,4	26,5	26,7	26,3	26,3
2 ^e essai	26,6	26,8	27,9	28,0	27,5	26,6	26,6	27,6	26,2	26,1	26,5
3 ^e essai	26,5	26,6	27,2	26,8	27,8	26,7	26,6	26,5	26,6	26,6	26,4
Moyenne	26,6	26,2	27,5	27,3	27,5	26,7	26,6	26,7	26,9	26,5	26,4

On peut donc considérer qu'un prélèvement effectué au hasard reflète bien l'ensemble de la population du sore.

Résultats des inoculations simples

Les trois inoculations successives avec des spores provenant de sores de coloration rouge brique (C. R.) et jaune orangé (C. J.) donnèrent les résultats suivants :

— C. R. sur Robusta :

- Sensibilité : ++ ;
- Couleur des sores : rouge brique ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 30,1 μ ; 2^e : 30,3 μ ; 3^e : 30,4 μ .

— C. R. sur Excelsa :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : rouge brique ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 32,6 μ ; 2^e : 31,9 μ ; 3^e : 31,5 μ .

— C. J. sur Robusta :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : jaune orangé ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 26,9 μ ; 2^e : 26,6 μ ; 3^e : 27,3 μ .

— C. J. sur Excelsa :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : jaune orangé ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 25,8 μ ; 2^e : 26,1 μ ; 3^e : 25,9 μ .

— C. J. sur Arabica :

- Sensibilité : ++
- Couleur des sores : jaune orangé ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 26,3 μ ; 2^e : 26,9 μ ; 3^e : 27,1 μ .

Les résultats de ces essais d'inoculations montrent que les caractères mis à l'épreuve, à savoir : couleur des sores et longueur des spores, se conservent sur les feuilles contaminées de la même espèce. Quant au degré de virulence de chacune des formes du parasite ainsi qu'au degré de sensibilité des feuilles, il est difficile, ou plutôt impossible, de faire une estimation, du fait que la viabilité des fragments de feuilles flottants ne dépasse pas trente-cinq jours et les sores formés sont encore jeunes au moment où le limbe des feuilles commence à noircir.

Toutefois, sur les fragments de feuilles de *C. robusta* inoculés avec des spores de la forme rouge prélevées sur les feuilles de la même espèce, les sores étaient plus nombreux et plus développés que sur les feuilles des autres espèces.

INOCULATIONS CROISÉES

Cette série d'essais avait comme but de voir la virulence des sores d'*H. vastatrix* des deux couleurs, en inoculant des feuilles des espèces de caféiers avec des urédospores provenant de feuilles d'espèces différentes. Cette série avait également pour but de vérifier si les caractères : couleur des sores et longueur des urédospores, se maintenaient.

Nous avons ainsi inoculé des feuilles de *C. excelsa* avec des spores de coloration rouge et jaune provenant de feuilles de *C. robusta* et inversement ; de même avec des spores de coloration jaune orangé provenant de *C. arabica* des feuilles de *Coffea robusta* et *excelsa* ont été inoculées.

Résultats des inoculations croisées

Ci-dessous, sont donnés les résultats obtenus après trois inoculations successives :

— C. R. R. sur Excelsa :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : rouge brique ;
- Longueur moyenne des urédospores : 1^{er} essai : 31,9 μ ; 2^e : 32,1 μ ; 3^e : 31,3 μ .

— C. R. E. sur Robusta :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : rouge brique ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 30,2 μ ; 2^e : 30,8 μ ; 3^e : 30,5 μ .

— C. J. E. sur Robusta :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : jaune orangé ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 26,9 μ ; 2^e : 26,3 μ ; 3^e : 27,1 μ .

— C. J. R. sur Excelsa :

- Sensibilité : + ;
- Couleur des sores : jaune orangé ;
- Longueur moyenne des spores : 1^{er} essai : 26,1 μ ; 2^e : 25,9 μ ; 3^e : 26,8 μ .

Pour le *C. arabica*, ces essais ont donné des résultats presque négatifs. Les inoculations des feuilles de *C. excelsa* avec des urédospores prélevées sur des sores de coloration jaune orangé de *C. arabica* ont donné dans les trois essais des réactions types O (apparition de quelques taches chlorotiques sans formation de sores). De même que les inoculations des formes rouges Robusta et Excelsa n'ont jamais apparu par inoculations sur feuilles

de *C. arabica*. Il semblerait, d'après ces essais, que les formes rouges sur Robusta et Excelsa ne sont pas pathogènes pour le *C. arabica*, ce qui laisse supposer qu'il s'agit de deux races différentes.

Ces essais préliminaires permettent de mettre en évidence :

a) Que les formes rouges des sores sur *C. robusta* et *excelsa* donnent par inoculations les mêmes réactions et que la coloration des sores se reproduit fidèlement ainsi que la longueur des urédospores.

Les mêmes réactions se produisent également pour les formes jaune orangé de ces mêmes espèces.

b) Pour le *C. arabica*, sur lequel seule la forme jaune a été observée jusqu'ici, les inoculations croisées avec des formes rouges provenant de Robusta et d'Excelsa ainsi que les inoculations des Robusta et Excelsa avec la forme jaune sur Arabica ont toujours donné des résultats négatifs, ce qui indique *a priori* qu'il s'agit de deux races physiologiques distinctes, ne s'attaquant pas au *C. arabica* et inversement.

Bien que les essais effectués ne permirent pas d'identifier la présence de races différentes, nous pensons toutefois que nous avons affaire à des races physiologiques différentes, ce qui semble le plus probable, et la vérification ne peut se faire qu'en effectuant des inoculations sur des clones et non sur du matériel hétérogène comme celui que nous avons employé pour ces essais. Afin de nous permettre de vérifier cette hypothèse, des échantillons de feuilles de *C. robusta* et *excelsa* atteintes d'*Hemileia vastatrix* ont été envoyés en 1960 à l'Institut de recherches pour la rouille d'Oeiras au Portugal, qui a pu identifier deux races physiologiques sur *Coffea robusta* : **les races II et IV**, ainsi que deux races sur *C. excelsa* : **les races IV et XIX**. Il est probable que, depuis, de nouvelles races se sont créées et dans ce but nous avons envoyé de nouveaux échantillons atteints de la maladie provenant de trois espèces de *Coffea* cultivées en R. C. A.

LA PÉRIODE D'INCUBATION

Bien que la durée d'incubation ait été étudiée aussi bien sur fragments de feuilles flottant au laboratoire que sur feuilles des plantules des différents clones de *C. robusta* (voir chapitre « Contaminations artificielles » p. 51), nous donnons ici à titre indicatif la durée d'incubation que nous avons notée dans les essais précédemment exposés, effectués sur fragments de feuilles de *Coffea robusta*, *excelsa* et *arabica*. Dans les durées données ci-dessous on a considéré la maladie comme déclarée quand une tache était visible à l'œil nu sur la feuille.

Sur **C. robusta** : trois essais :

avec C. R. R. :	1 ^{er} , 29 jours
	2 ^e , 26 —
	3 ^e , 24 —
avec C. J. R. :	1 ^{er} , 25 jours
	2 ^e , 30 —
	3 ^e , 23 —

Sur **C. excelsa** : trois essais :

avec C. R. E. :	1 ^{er} , 22 jours
	2 ^e , 25 —
	3 ^e , 29 —
avec C. J. E. :	1 ^{er} , 30 jours
	2 ^e , 26 —
	3 ^e , 27 —

Sur **C. arabica** : trois essais :

avec C. J. A. :	1 ^{er} , 18 jours
	2 ^e , 22 —
	3 ^e , 20 —

Les résultats montrent que la durée d'incubation sur les feuilles de *C. arabica* est plus courte. Sur les feuilles de *C. robusta* et *excelsa*, contaminées avec les urédospores provenant aussi bien des sores rouges que des sores jaunes, les résultats sont comparables et varient suivant les essais de vingt-trois à trente jours tandis que sur *C. arabica* cette durée est de dix-huit à vingt-deux jours.

DÉGÂTS

La rouille des caféiers due à *Hemileia vastatrix* est un parasite très grave des caféiers et en particulier de *C. arabica* dans tous les pays où ce parasite follicole sévit. On peut juger de l'importance des premiers dégâts causés par l'*Hemileia* lors de son apparition pour la première fois à **Ceylan** en 1868. Les statistiques publiées sur ce pays montrent qu'en 1878, année particulièrement défavorable pour le caféier, la maladie avait provoqué une perte de production évaluée à cette époque à 50 millions de francs. Pendant les dix années qui ont suivi l'apparition de la rouille dans l'île, le préjudice subi par les planteurs n'aurait pas été inférieur à 350 millions de francs. D'ailleurs, les exportations de café qui avaient atteint le chiffre de 41.855 t en 1879, descendirent à 9.000 t en 1884 et à 2.300 t en 1893. Quelques années plus tard, à la suite de l'introduction de *C. liberica* qui fut cultivé dans les basses altitudes, la production s'est relevée un peu. Mais la culture de *C. arabica* étant devenue impossible, les planteurs furent obligés de la remplacer, sous l'impulsion du Dr THIMEN, par d'autres cultures, et en particulier par le théier, le quinquina, etc... La culture du théier constitue aujourd'hui à Ceylan la principale ressource économique du pays.

RHIND (773) en 1924, mentionne que la culture de caféier à Ceylan a été très sérieusement réduite en superficie à cause des ravages provoqués par l'*Hemileia vastatrix*; DOIDGE (349), en 1926, indique que la maladie a provoqué la ruine des plantations de cette île. MORSTATT (669), en 1943, expose les effets désastreux produits par la rouille à Ceylan et ailleurs.

Des dégâts importants ont été signalés également aux **Indes** depuis 1876, surtout en Inde méridionale. Plusieurs auteurs citent les dégâts désastreux de la maladie; en particulier HARTLEY et RANDS (467), en 1924, indiquent que de graves attaques ont eu lieu dans les plantations du sud-est des Indes en 1880 et 1890, occasionnant d'importantes pertes de production. MAYNE (584), en 1930, indique que dans l'Etat de Mysore, la présence de la rouille s'accroît après la floraison et continue à évoluer lentement pendant la période chaude de la mousson avec les pluies intermittentes nord-est. Les attaques croissent rapidement au début de la saison sèche, provoquant la chute massive des feuilles et la perte de la production. Le même auteur (616), en 1946, confirme à nouveau que la rouille est une des principales maladies

affectant les caféiers Arabica dans le sud de l'Inde. COLEMAN (289), en 1932, indique que l'*H. vastatrix* est une des principales maladies des caféiers aux Indes, provoquant des pertes importantes de la production. ARYER (4), en 1949, mentionne également de fortes attaques d'*Hemileia vastatrix* et les répercussions très importantes sur la production.

Des dégâts considérables ont été signalés en **Indonésie**, aussi bien sur *C. arabica* que sur *C. robusta*, en particulier par VAN HALL (988), en 1923, qui signale de graves dégâts sur *C. robusta* causés par la rouille à Sumatra, et en 1924 (989) le même auteur indique que l'*H. vastatrix* causait des dégâts importants dans le sud-ouest des Célèbes où les plantations ont dû être abandonnées à cause de cette maladie. LEEFMANS (542), en 1927, signale la présence d'*H. vastatrix* sur plantules de *C. robusta* et une attaque exceptionnellement grave dans les plantations de la même espèce, par suite probablement d'une sécheresse prolongée en 1925 et d'une faible pluviométrie en 1926.

BALLY (140), en 1931, indique qu'à Java les dégâts causés par la rouille étaient tels, depuis 1885, que *C. arabica* fut remplacé par *C. robusta* résistant.

HUBERT (517), en 1957, indique que la rouille est probablement la plus grave maladie affectant l'industrie caféière de l'Indonésie. Il mentionne qu'à la suite de l'épidémie de la rouille en 1870, l'industrie caféière de Java fut presque complètement détruite; le *C. liberica* fut introduit, mais il fut aussi progressivement attaqué par ce parasite. Le ministère de l'Agriculture a importé en 1954 des semences sélectionnées de *C. arabica* de l'Inde, résistantes à la rouille, qui semblaient pleines de promesses pour la culture à basse altitude.

JOHNSTON (520), 1960, indique de son côté qu'*H. vastatrix* est la maladie la plus répandue et la plus grave sur les caféiers à Bornéo.

Aux **Philippines**, MERINO, TEODORO et OTANES (646), en 1925, indiquent que depuis que l'*H. vastatrix* a été introduit aux Philippines (1891), il a occasionné de sérieux dégâts dans les plantations. Des attaques importantes du même parasite ont été signalées également la même année par MUNRO (674) pendant la mousson, mais aussi en saison sèche.

De graves dégâts ont été aussi constatés en 1954 par OCFEMIA (695) sur *C. arabica* aux Philippines, dans la région de Guinobatan (Abay), où les caféiers sont fortement attaqués.

Aux **Iles Fidji**, depuis que la maladie a été introduite en 1878, les dégâts étaient si importants que le gouvernement, d'après THISELTON DYER (917), 1880, a ordonné la destruction des plantations par le feu, mais la maladie n'a pas disparu pour autant.

Au **Kenya**, d'importants dégâts ont été signalés par différents auteurs sur *C. arabica*, surtout dans les plantations situées dans les basses altitudes, et plus spécialement par DOWSON (361), en 1921, qui indique que les conditions météorologiques et l'altitude jouent un rôle prépondérant dans l'importance des dégâts.

En **Ouganda**, SNOWDEN (837), en 1922, mentionnait que la rouille était très fréquente et extrêmement virulente sur *C. arabica*, de juin à août 1921, et que de nombreux arbres perdirent entièrement leurs feuilles. Certaines variétés de *C. robusta* furent également très endommagées et les dégâts furent très importants.

Au **Tanganyika**, des attaques graves ont été signalées par SANDERS (808), en 1954, pendant le 1^{er} semestre de l'année 1952, occasionnant des dégâts importants; WALLACE (1032), la même année, mentionnait que les attaques de la rouille avaient été si importantes en 1953, qu'il fût impossible de fixer la sensibilité relative de certaines variétés et de certains clones de *C. arabica* à la Station de recherches du caféier. SANDERS (809), en 1955, rapporte que la rouille fut à nouveau très répandue sur les arbres portant une très forte production et qui manifestaient une forte perte de feuilles provoquant des dégâts importants. De fortes attaques ont été également observées en 1958 (1139) dans les principales régions d'Arabica au Tanganyika.

En **Rhodésie**, BRAIN (205), en 1931, indiquait que les nombreuses petites plantations de caféiers, établies le long de la bordure de la Rhodésie du Sud, étaient détruites par la rouille, et l'auteur préconisait à l'époque la destruction de toutes les plantations négligées ou abandonnées voire même des plantations entières.

En **Afrique du Sud**, là où la maladie avait détruit la récolte il y a cinquante ans, NYENHUIS (694) en 1967, fait une note sur la réapparition d'*H. vastatrix* dans les essais de culture destinés à rétablir la culture du caféier en Afrique du Sud où la maladie avait fait disparaître les caféiers.

Au **Soudan**, TARR (897), en 1954, indique que la rouille est très répandue dans le sud du Soudan, surtout sur le *Coffea arabica*, causant des pertes appréciables; sa fréquence et son intensité rendent la culture du caféier impossible dans certaines régions.

Des dégâts importants ont été signalés à **Zanzibar** sur *Coffea liberica* par WILLIAMS (1080), en 1947,

surtout dans les blocs souffrant de la sécheresse, ainsi que par SWAINSON (880) en 1948, sur la même espèce, occasionnant de sérieux dégâts dans les plantations.

A **Madagascar**, les attaques étaient particulièrement importantes et des dégâts très sérieux sur *Coffea arabica* furent signalés par BUIS (216) en 1907, puis par FAUCHÈRE (396), en 1908, et surtout par BOURIQUET (196) en 1933, 1934 et 1946; elles provoquaient des pertes considérables dans certaines régions d'où la culture disparut, surtout dans les basses altitudes, et *C. arabica* fut remplacé par d'autres espèces moins sensibles.

A **São Tomé**, en 1958, SILVA (834) signale de graves dégâts sur *Coffea arabica* dans les plantations établies à basses altitudes, au-dessous de 600 m. Les *Coffea liberica* et *C. dewevrei* var. *excelsa* sont aussi sensibles, de même que *C. stenophylla* et *C. canephora* à Principé.

En **Nouvelle-Calédonie**, RISBEC (783), en 1936, indiquait que l'*H. vastatrix*, depuis son introduction pour la première fois en 1911, s'étendit très rapidement et fut le parasite le plus grave de *C. arabica* dans l'île. Par contre, DADANT (325), en 1954, ayant étudié la maladie, indique que le parasite sévit dans l'île, dans les plantations de basses altitudes et insuffisamment ombragées, entraînant la défoliation complète des arbustes et une réduction sensible de la production. Par contre, dans les plantations suffisamment ombragées et situées en altitude, les dégâts provoqués par la rouille sont insignifiants et à la fin de la petite saison sèche, la chute des feuilles est rare.

On sait aujourd'hui que l'*Hemileia vastatrix* s'attaque à toutes les espèces cultivées et même spontanées. L'intensité des attaques dépend de différents facteurs, en particulier, des conditions climatiques environnantes et de l'altitude qui jouent un rôle prépondérant en ce qui concerne plus spécialement le *C. arabica* qui demeure l'espèce la plus sensible.

La rouille, comme nous l'avons indiqué dans les précédents chapitres s'attaque fortement aux feuilles qui dans ce cas sont couvertes d'urédospores, se dessèchent, brunissent et tombent en masse lorsque les taches sont nombreuses et étendues. Si les attaques sont intenses et se généralisent sur l'ensemble du feuillage, cette défeuillaison se répète pendant plusieurs années et la plante s'épuise à reconstituer un nouveau feuillage qui lui sert peu, car à son tour il est parasité. La plante qui subit des défeuillaisons successives s'épuise, les branchettes défeuillées se dessèchent ainsi que les fruits qu'elles portent, l'arbre finit par dépérir d'épuisement. Les effets de la rouille sur la production dépendent non seulement de son intensité, mais également de l'époque de son

apparition ; si elle coïncide avec le moment de la formation des fruits, ces derniers se nourrissent mal, restent plus petits, et si la défeuillaison des branchettes est totale, ils se dessèchent, noircissent et tombent. Si la défeuillaison est partielle, les cerises restent souvent plus petites et leur maturation s'effectue d'une façon défectueuse. La perte de récolte peut dépasser parfois 40 % et même plus. Les fortes attaques sévissant sur les plants sensibles et en état de moindre résistance, à une époque quelconque, peuvent causer la mort des sujets l'année même ou l'année suivante, si la maladie persiste avec la même intensité. Le dépérissement total, à la suite d'une infection sévère, s'observe principalement au cours de la saison sèche, période toujours pénible pour la vie de la plante.

Les dégâts provoqués par la rouille sont presque toujours en relation étroite avec les conditions ambiantes et en particulier avec le climat, plus spécialement chez le *Coffea arabica* : les effets de la maladie sont en général d'autant plus marqués que le climat est plus défavorable à l'arbre. C'est probablement la cause de l'épiphytie célèbre de Ceylan en 1868.

Actuellement, la rouille, dans des conditions normales, ne provoque plus de dommages graves et irréparables, plus spécialement sur le *C. arabica*, dans les zones de culture plus soigneusement choisies, surtout en ce qui concerne l'altitude, et par suite de l'utilisation des variétés, clones et hybrides résistants ou tolérants. En plus des nombreuses études réalisées au Kenya et aux Indes sur la biologie du parasite, de la mise au point des méthodes de lutte efficaces à la suite de nombreux travaux et expériences effectués surtout aux Indes, on arrive à réduire très sensiblement les effets néfastes de la maladie et à éviter les catastrophes observées dans le passé.

D'après ROGER (791), 1951, en Indochine, les fortes attaques demeurent suffisamment sporadiques et éloignées pour ne nuire que très rarement à la vigueur des caféiers ; accidentellement au Tonkin, certaines années, elle peut causer parfois une brusque défoliation partielle, temporairement néfaste et plus nocive si elle survient à l'époque de la floraison ou au moment de la formation des cerises. D'après ce même auteur, sur les plateaux des régions Sud, l'attaque ne s'est jamais montrée très nuisible jusqu'à présent ; toutefois, une certaine recrudescence de ces attaques s'est manifestée durant ces dernières années, notamment sur les caféiers « Chari » (*C. excelsa*). Dans l'ensemble du pays, la résistance des différents types de caféiers paraît assez variable dans le Nord et plus spécialement dans la moyenne région du Tonkin ; les « Chari » sont plus affectés que les Arabica, tandis que dans le nord de l'Annam ces derniers deviennent plus réceptifs. Dans les plantations d'altitude du

centre de l'Annam, les « Chari » se montrent moins atteints que les Arabica, mais ceux-ci offrent néanmoins une bonne résistance. Selon les observations de BUGNICOURT dans le sud de l'Annam, les types Robusta paraissent toujours résistants, tandis que les Arabica sont fréquemment atteints et que les Excelsa se montrent plus sensibles.

A Madagascar, d'après BOURIQUET (196), 1946, les apparitions de rouille sur les cultures des plateaux sont constantes sur Arabica, mais aisément neutralisées par quelques précautions culturales et traitements légers. Dans cette île, l'auteur considère que l'extension des plantations sur de grandes étendues d'un seul tenant est une condition extrêmement favorable au déclenchement de graves épiphyties ; c'est sans doute l'un des facteurs qui donnent aux caféiers isolés dans les jardins indigènes aux abords des villages une apparence de plus grande résistance.

VIENNOT-BOURGIN (1000), 1949, considère que les dommages occasionnés par les invasions d'*Hemileia* sont importants et sont considérés dans certains pays comme de véritables calamités. Les pertes se manifestent par une diminution rapide de la production de baies qui est liée à l'affaiblissement progressif de l'arbre. En effet, bien que la récolte des cerises soit effectuée, le caféier ne continue pas moins en août et septembre à donner des pousses et des feuilles nouvelles qui, à cette époque de l'année, sont fortement envahies dès le début de leur formation. Il se produit alors un ralentissement dans l'accumulation des réserves auquel fait suite un dépérissement des rameaux. Les invasions répétées provoquent la chute prématurée du feuillage et la végétation des plantations de caféiers prend un aspect de décrépitude qui s'achève par une mort brusque au cours de la saison sèche. Toutefois DOWSON (360), 1921, a constaté sur les Arabica au Kenya, qu'à une première invasion succède quelquefois une seconde, mais il peut se former de nouvelles pousses capables de produire, par la suite, une récolte normale.

D'après MARCHAL, MANIL et VANDERWALLE (568) 1937, les dommages provoqués par la rouille varient beaucoup suivant les conditions. Lorsque l'attaque est sévère, les feuilles sont rapidement anéanties ; il tend à s'en produire de nouvelles qui peuvent avoir le même sort. Les réserves de l'arbre sont ainsi fortement engagées et la production des fruits s'en ressent très directement : cette diminution a pu dans certains cas atteindre, l'année suivant celle de l'apparition de la maladie, 30 % du rendement.

D'après ces auteurs, aucune espèce du genre *Coffea* ne semble réfractaire à la maladie. Les *Coffea arabica* et *liberica* sont tous deux très réceptifs à la rouille ; en revanche, certaines espèces du centre de l'Afrique telles que *C. robusta*, *C. excelsa*,

C. canephora, et surtout certains clones de *C. congensis* var. *Chalotii*, sont beaucoup plus résistants. Certaines de ces espèces ont remplacé dans les régions les plus exposées, telles que les îles de l'Indonésie, les anciennes variétés qui y étaient cultivées, ou bien ils ont servi de porte-greffe ou encore ont fourni des géniteurs pour des croisements. Dans ces diverses voies on est arrivé à des résultats intéressants, mais qui ne paraissent pas définitifs.

Quand on envisage les conditions météorologiques les plus favorables au développement de la maladie, il faut tenir compte de l'interaction de différents facteurs.

A basse altitude, la chaleur et surtout l'humidité de l'air favorisent le développement du parasite ; à altitude plus élevée, c'est pendant la saison sèche qu'on observe de fortes poussées de la maladie. Au début de la saison des pluies, l'abaissement de la température enrayerait l'infection. L'altitude est nettement défavorable au parasite malgré le degré hygrométrique de l'air ; c'est ainsi qu'à la limite altimétrique supérieure, où la culture du caféier est encore possible, celui-ci ne présente pas d'attaque notable du parasite, et ce malgré les pluies abondantes et la mer de nuages qui recouvre ces régions.

A part les deux facteurs, température et humidité, dont l'influence est intéressante à noter, toutes les causes qui mettent les arbres dans de mauvaises conditions de végétation sont favorables à la maladie ; plantation trop serrée, excès d'ombrage amenant un étiolement relatif et la formation de cuticules plus minces et moins incrustées, sol mal approprié à la culture, conditions culturelles défavorables, fréquence des vents chauds et humides plutôt faible (transport des spores).

En revanche, la maladie est moins à craindre dans les endroits exposés aux vents forts et dans les sols riches.

En République Centrafricaine, la plupart des plantations industrielles et une partie des plantations familiales de *Coffea robusta* plantées jusqu'en 1954 ont été créées à partir de semences « tout venant », et à partir de 1955 avec des semences présélectionnées ; ces plantations constituent des populations très hétérogènes dont le comportement à l'égard de l'*Hemileia vastatrix* présente, suivant les individus, de grandes variabilités. En effet, certains individus sont très sensibles, d'autres moyennement et d'autres encore sont peu ou pas sensibles. Ce phénomène est plus évident encore dans les parcelles polyclonales où nous avons constaté après les tests de résistance que nous avons effectués sur quarante-six clones, de 1966 à 1967, au Centre de recherches agronomiques de

Boukoko, une grande variabilité de comportement à l'égard de cette Urédinale. Les résultats obtenus sur ces quarante-six clones se résument comme suit :

	1966	1967
Clones très sensibles	50 %	50 %
Clones moyennement sensibles	30,44 %	32,60 %
Clones peu ou pas sensibles	19,56 %	19,56 %

Toutefois, l'estimation des dégâts causés par l'*Hemileia vastatrix* dans les plantations de Robusta est difficile à réaliser, car elle nécessite un contrôle méthodique de toutes les plantations durant la saison pluvieuse et la saison sèche et pendant plusieurs années, car en dehors de l'hétérogénéité des populations dont la sensibilité est variable, l'intensité des attaques de la rouille se trouve sous la dépendance des conditions climatiques de l'année ainsi que d'autres facteurs, qui peuvent modifier le comportement des caféiers à l'égard de la maladie. Un tel contrôle n'est réalisable que sur une petite échelle ; nous l'avons effectué dans quelques plantations industrielles et dans quelques parcelles expérimentales du Centre de recherches agronomiques de Boukoko en 1956 et 1957. Ces sondages montrèrent que les dégâts occasionnés par la rouille à cette époque n'étaient pas négligeables et dans certaines plantations importantes méritaient de retenir l'attention des planteurs et des services publics responsables.

Les contrôles partiels effectués permirent de constater que l'*H. vastatrix* sévissait avec la même intensité, non seulement dans les plantations mal entretenues, sur des caféiers peu vigoureux, mal ou pas taillés, porteurs de nombreuses branches âgées et épuisées, sur des caféiers carencés et souffrant d'un déséquilibre physiologique, mais aussi dans les plantations jeunes à caféiers vigoureux bien équilibrés, dans les plantations bien entretenues comme par exemple les parcelles expérimentales du centre de Boukoko. Ces observations permettent de constater que l'*Hemileia vastatrix* n'est pas un parasite de faiblesse, mais un parasite absolu et obligatoire, comme la plupart des Urédinales, dont le degré de virulence et l'intensité des attaques sont liés au degré de sensibilité de l'hôte et non à son état physiologique, bien que certains facteurs extrinsèques puissent modifier la sensibilité de l'hôte et l'intensité des attaques.

Nous donnons ci-dessous les résultats des contrôles partiels effectués en 1956 et 1957 dans certaines plantations industrielles situées dans les régions de l'est et du sud-ouest du territoire de la R. C. A. sur *Coffea robusta*.

Nous avons classé l'intensité des attaques de la rouille en quatre catégories :

1) **Caféiers résistants** (cotation 0)

Absence totale d'urédosores sur les feuilles, mais parfois présence de quelques taches jaunâtres d'étendue très limitée ou de petites taches nécrotiques à peine visibles à l'œil nu au niveau des points d'infection sans formation d'urédospores.

2) **Caféiers peu sensibles** (cotation +)

Présence sur les feuilles d'urédosores peu nombreux avec formation d'urédospores, sur la face supérieure du limbe, et de taches jaunâtres de petites dimensions évoluant très lentement. Aucune chute des feuilles attaquées.

3) **Caféiers sensibles** (cotation ++)

Présence sur les feuilles des branches inférieures

de nombreuses taches urédosporées, avec nécroses sur la face supérieure du limbe, au début isolées, pouvant devenir confluentes, conduisant à la chute partielle des feuilles des branchettes inférieures non suivie d'un die-back des branchettes partiellement défeuillées. Attaques localisées sur le tiers du feuillage des arbustes.

4) **Caféiers très sensibles** (cotation +++)

Présence sur les feuilles de très nombreuses taches urédosporées isolées, évoluant rapidement, couvrant presque la totalité de la face inférieure, devenant rapidement confluentes avec présence sur la face supérieure de grandes taches nécrotiques. Chute massive des trois quarts du feuillage suivie d'un die-back des branchettes entièrement défeuillées.

Contrôle effectué en 1956

Plantation ou parcelle contrôlée Localité	Age des caféiers (ans)	Nombre de caféiers contrôlés	% caféiers très sensibles +++	% caféiers sensibles ++	% caféiers peu sensibles +	% attaque totale
Plantation MONTRAISIN à Bolemba (Lobaye).....	4	23.600	17	23	40	80
Plantation PINTO à Kou- ango (Basse-Kotto)	3	11.250	7	19	16	42
Plantation DIEL à Ouango (M'Boumou)	14	9.210	23	29	13	75
Centre de BOUKOKO (Lobaye)						
Parcelle F98-99	7	1.340	12	9,9	8	29,9
— M17	4	1.066	15	12	11,2	38,2
— M18	4	624	9,2	19	8,3	37,5
— M19	4	600	8,1	14	11	33,1
— M29	4	1.512	9	8,5	8,3	25,8
— N10	4	600	11	5	9,3	25,3

Contrôle effectué en 1957

Plantation ou parcelle contrôlée Localité	Age des caféiers (ans)	Nombre de caféiers contrôlés	% caféiers très sensibles +++	% caféiers sensibles ++	% caféiers peu sensibles +	% attaque totale
Plantation à M'BALE (Lo- baye)	3	4.099	5,78	17,1	23,32	46,2
Plantation CATIN à Botoro (Boda)	3	10.320	8,85	20,6	28,34	57,8
Centre de BOUKOKO						
Parcelle M36	3	664	5,2	15,6	19,7	40,5
— M37	3	939	6,17	11,2	18,95	36,4
— M38	4	811	10,48	18,12	24,41	53,4
— F98-99	8	1.332	14,7	20,7	22,6	58

La comparaison des résultats des contrôles effectués dans les parcelles du Centre de recherches agronomiques de Boukoko en 1956 et 1957 révèle une augmentation du pourcentage d'attaques de 15,4 % en 1957 par rapport à celui de 1956, due probablement aux conditions climatiques favorables pour la maladie en raison de l'abondance des pluies. Cette augmentation est évidente dans la parcelle F 98-99 dont en 1966 le pourcentage d'attaque était de 29,9 % et en 1967 de 58 %, soit une augmentation de 28 %.

Il est à signaler également que le contrôle effectué en 1955 sur les trois parcelles M 29, M 17 et F 98-99 avait donné un pourcentage moyen d'attaque sur l'ensemble des trois parcelles de 21 %. On assiste donc à une augmentation progressive des attaques de la rouille et à une sensibilité croissante due probablement à la création de nouvelles races physiologiques.

En ce qui concerne le *C. excelsa*, le contrôle effectué en 1966 sur deux parcelles M 04-05 et G 93 n'a permis d'observer aucune attaque de la rouille, par contre celui effectué en 1957 sur les mêmes parcelles G 93 et M 04-05 a révélé une attaque moyenne de 17 %, mais cette espèce demeure moins sensible que le *C. robusta*.

Les dégâts occasionnés par l'*Hemileia vastatrix* sont variables et dépendent de l'époque de son apparition.

Les fortes attaques manifestées au moment de la formation des cerises, la défeuillaison des branchettes par la maladie empêchent la formation normale des cerises et celles-ci restent petites, mal nourries. Si la défeuillaison est totale, les cerises noircissent avant leur maturité et les rameaux défoliés meurent. Si l'infection intense se produit à la fin de la saison des pluies, il y a un die-back des branchettes et une perte de la production à venir. En outre, les défoliations massives et répétées provoquées par la maladie conduisent souvent à un affaiblissement général des sujets atteints ; les branchettes fructifères restent grêles et portent peu de fruits. Parfois les arbustes attaqués avec

intensité chaque année restent chétifs et stériles et, dans certains cas, meurent d'épuisement.

Nous pensons que dans les conditions actuelles, en se basant sur le pourcentage des arbres fortement atteints et la mort des branchettes défeuillées, les pertes de la production occasionnées par cette maladie varient suivant les années de 10 à 15 %.



Fig. 23. — Forte attaque d'un caféier Robusta au moment de la nouaison des fleurs : on observe des branches fructifères dénudées de feuilles et, sur la face inférieure du limbe des feuilles encore attachées sur les branchettes, la présence de nombreuses taches urédosporées

(Cl. Boulard)

MOYENS DE LUTTE

Les données bibliographiques révèlent que le problème de la lutte contre la rouille a été envisagé depuis que la maladie a provoqué des désastres à Ceylan et depuis son extension rapide dans les autres pays, et en particulier aux Indes et en Indonésie. Le *Coffea arabica*, espèce très sensible à cette maladie, était le plus éprouvé et les plantations qui ont le plus souffert étaient celles situées à basse altitude. Les désastres provoqués par cette Urédinale dans les plantations de Ceylan, et dans de nombreux autres pays où la culture de cette espèce était pratiquée, obligèrent les planteurs à remplacer ce caféier par d'autres cultures, ou par d'autres espèces de *Coffea* moins sensibles au parasite telles que *C. liberica* et *C. robusta*, et conduisirent les spécialistes à rechercher les moyens de lutte permettant de combattre cette grave épiphytie. Dans ce domaine, les données bibliographiques permettent de dresser un tableau des procédés préconisés de 1879 à ce jour. C'est surtout aux Indes, en Indonésie à Ceylan, aux Philippines et, depuis le début du siècle, au Kenya, au Tanganyika, en Ouganda et à Madagascar qu'on trouve le plus de travaux réalisés dans ce domaine. En Afrique occidentale, les recherches entreprises sont peu nombreuses et sont relativement récentes.

Les moyens de lutte préconisés actuellement sont les suivants :

- 1° Mesures prophylactiques d'ordre cultural ;
- 2° Traitements chimiques ;
- 3° Sélection de variétés, clones et hybrides résistants ;
- 4° Lutte biologique.

Mesures prophylactiques d'ordre cultural

Déjà ABBAY (2) en 1879, à Ceylan, tout en préconisant le badigeonnage des troncs des caféiers au lait de chaux pour préserver plus sûrement les plantations du parasite, insistait sur la nécessité de récolter et incinérer soigneusement les feuilles tombées et en général tous les débris qui jonchaient le sol.

BURCK (221) en 1889, en Indonésie, pour réduire l'infection au minimum, attribuait une grande importance à l'établissement d'abris destinés à arrêter le vent qui étend l'infection en apportant les germes de la maladie.

SADEBECK (805), 1895, proposait le procédé de stérilisation des feuilles et débris tombés, à la bouillie bordelaise.

A maintes reprises, on a essayé de détruire les plants par le feu et les expériences faites par le gouvernement aux Iles Fidji ne donnèrent aucun résultat probant [THISLTON DYER (917), 1880] ; malgré la destruction de toutes les plantations par le feu, la maladie n'en disparut pas pour autant (ou persista).

DELACROIX (337), 1901, considérait comme mesure excellente, la destruction par le feu des feuilles et débris quand elle pouvait être convenablement appliquée. Ce dernier auteur estimait que le traitement pratique contre l'*H. vastatrix* avec les composés cupriques serait bien des fois insuffisant si on ne prenait pas soin d'observer quelques précautions et en particulier la destruction des feuilles malades. Il conclut que les divers procédés préconisés par les différents auteurs, tels que le traitement des feuilles tombées au soufre ou à la chaux, sont des opérations coûteuses et insuffisantes pour lutter contre la maladie. DELACROIX préconise en outre, comme mesure préventive, la prohibition absolue de l'importation de caféiers, de toutes les espèces et variétés de caféiers quel que soit l'âge des plants et même s'ils ne présentent extérieurement aucune trace de maladie, dans des régions séparées par de grandes distances et indemnes de maladie ou pour l'implantation de la culture du caféier. CORNU (308), 1898, avait pensé qu'on devrait surtout interdire d'une façon formelle l'expédition aux Jardins coloniaux de caféiers vivants, aussi bien que celle de plants, l'importation de fruits frais de caféiers étant également à proscrire, car les spores tombées sur le péricarpe peuvent y persister assez longtemps à l'état frais pour amener une infection dès leur arrivée à destination.

Les Hollandais ont interdit à Java l'importation de plantes fraîches aussi bien que de graines de toutes les Rubiacées pouvant héberger l'*Hemileia*.

Au sujet des graines munies ou non de leur parche, les avis sont partagés. Certains considèrent que leur introduction ne nécessite aucune précaution : CORNU (308).

Par contre, DELACROIX conseille leur désinfection par trempage dans une solution de sulfate de cuivre à faible concentration : 5 g pour un litre d'eau serait suffisant pour tuer les spores d'*H. vastatrix* en une demi-heure.

ZIMMERMANN (1102), en 1900, a fait les mêmes expériences.

SMALL (835), 1923, indique qu'en Ouganda, la maladie est commune sur *C. arabica*, surtout dans les plantations sans ombrage et où le contrôle direct de la rouille par pulvérisations est impraticable (prix de revient prohibitif, résultats incertains) ; l'auteur préconise comme moyens de lutte indirects : la création de plantations en petits blocs isolés par des brise-vent ; de bons écartements, le choix de terrains secs, l'apport d'ombrage convenable et un système de taille afin d'éclaircir les arbres.

THOMAS (922), 1924, en Inde, préconise comme moyen de lutte contre la rouille, l'application d'engrais ammoniacaux, une culture judicieuse maintenant en vigueur les caféiers, ainsi que des pulvérisations cupriques qui sont efficaces.

WALLACE (1008), 1928, au Tanganyika, indique que les mesures biologiques et culturales sont beaucoup plus efficaces pour combattre les fortes attaques de rouille que les pulvérisations. Il note parallèlement que les attaques d'*H. vastatrix* varient d'une année à l'autre, d'une plantation à une autre, et il préconise pour les basses altitudes, où la maladie sévit avec intensité, un ombrage suffisant et un abri contre le vent, car une exposition excessive au soleil augmente considérablement l'effet épuisant de la maladie sur les feuilles. Il ajoute que dans les localités peu arrosées, le sarclage et la bonne mise en valeur du sol sont surtout nécessaires.

DAVID (330), 1928, aux Philippines, indique que les introductions faites de 1910 à 1916 de différentes variétés supposées résistantes d'*Arabica*, *Liberica* et *Robusta* de Java et d'ailleurs se sont révélées sensibles à la rouille aux altitudes de 80-450 m. Les arbres ombragés par *Gliricidia maculata*, *Leucaena glauca* et *Erythrina fusca* étaient plus vigoureux et moins sensibles que les arbres exposés au soleil.

Par contre, MAYNE (590), 1932, aux Indes, indique que la maladie est plus fréquente dans les plantations exposées au vent que dans celles abritées.

En 1933 (591), il mentionne que ses expériences préliminaires montrèrent que l'ombre réduisait la vigueur de la production des spores. La même année (592), l'auteur indique que la vigueur du

champignon est déterminée par celle de l'hôte et que les méthodes culturales et les engrais ne peuvent pas contrôler la maladie, quoiqu'ils puissent aider les arbres à supporter l'infection si les conditions climatiques adverses ne durent pas longtemps. Il en conclut que la maladie doit être combattue par les méthodes directes.

Dès le début, THWAITES (937) en 1874, à Ceylan, observait de gros dégâts causés par la maladie sur les arbustes cultivés en terres pauvres aux basses altitudes. Dans les régions élevées, il remarquait qu'à l'aide d'une bonne fumure, les caféiers donnaient de bons rendements malgré l'*Hemileia*.

Cette influence salutaire du fumier à haute dose a été signalée par WARD et BOURIQUET (196).

Chez le *C. robusta*, d'après STEYAERT (858), 1930, et Mc DONALD (640), 1937, la présence de la rouille révèle des conditions malsaines auxquelles sont soumis certains arbres.

MARCHAL, MANIL et VANDERWALLE (568), 1937, considèrent qu'il y a tout d'abord lieu, surtout dans les régions encore exemptes de la maladie, de prohiber l'introduction des caféiers et autres Rubiacées, supports de l'*Hemileia*, ou celle des fruits frais de ces espèces provenant des régions infectées, sauf si on stérilise ces fruits par une immersion dans une solution de SO_4Cu à 0,5 % ou de formol pendant une demi-heure. Ils pensent que les graines, même munies de leur parche, ne véhiculent pas normalement les germes de la rouille.

Comme autres mesures préventives, ces auteurs indiquent de placer les caféiers dans de bonnes conditions de végétation, de favoriser l'aération, de ménager l'ombrage convenant à la plantation, d'exploiter rationnellement les arbres, etc...

En ce qui concerne les mesures prophylactiques, ils mentionnent qu'on a préconisé, en cas d'apparition de la maladie dans un pays indemne, les traitements d'extinction qui, dans quelques cas, ont permis d'éteindre les foyers nouveaux et encore restreints de la maladie. La destruction souvent conseillée des feuilles tombées apparaît, d'après ces auteurs, sans grande utilité, attendu que si la feuille se pose sur la face supérieure, les rayons ultra-violets tuent les spores, si elle tombe sur la face inférieure, les spores germent sans conséquence sur le sol.

BOURIQUET (196), 1946, indique que la lutte directe contre l'*Hemileia* doit être envisagée en dernier lieu et ne doit pas exclure les mesures générales d'hygiène. L'auteur cite qu'au près des villages, sur un sol riche, cette plante supporte sans préjudice bien visible les attaques d'*H. vastatrix*, ce qui indique une influence favorable de la richesse du sol et de l'abri. L'auteur pense qu'il y aurait intérêt à la dépasser et c'est là que dans la grande majorité des cas l'application rigoureuse

des principes d'hygiène combinés aux traitements cupriques devient nécessaire.

Une altitude inférieure à 600 m, à Madagascar, ne semble pas mieux convenir qu'un climat trop sec ou humide à l'excès. Dans aucune des stations paraissant propices à la culture de l'Arabica, le froid n'apparaît comme un obstacle sérieux. Le sol doit être choisi frais (fonds de vallée), aussi riche que possible. Les semences doivent être sélectionnées ainsi que les jeunes plants dans les pépinières. On plantera sans tarder des brise-vent et quelques arbres d'ombrage. Sans doute même y aurait-il avantage, comme à Java et aux Indes (Mysore), à placer le caféier d'Arabie sous un ombrage épais, composé de plusieurs essences. Le fumier, bien décomposé, doit être employé à haute dose ; il conviendra d'entretenir le terrain propre et de pailler en saison sèche si on craint la dessiccation du sol. Enfin, il paraît utile d'écimer les arbustes pour conserver la vigueur dans les parties basses, de supprimer les gourmands et d'enfouir les feuilles tombées sous l'influence de l'*Hemileia*. L'auteur en terminant dit : « telles sont dans les grandes lignes les principes d'hygiène à associer aux traitements cupriques qui doivent être commencés sur les jeunes arbustes dès la mise en pépinière. »

VIENNOT-BOURGIN (1000), 1949, indique qu'indépendamment des traitements, il convient de tenir compte de certaines précautions d'ordre cultural. La rouille est toujours plus répandue dans les grandes plantations que dans les cultures moyennes, réparties entre d'autres cultures servant d'écran. Un excès d'ombrage, en augmentant l'humidité de l'air, favorise le développement d'*Hemileia*. Enfin, une culture pratiquée sur un sol dont la nature ne répond pas aux exigences du caféier est toujours plus sensible aux attaques de la rouille qu'une plantation établie en sol siliceux, profond, bien drainé et dépourvu d'argile. Alors que l'apport de chlorure de potassium augmente la sensibilité du caféier à la rouille, le sulfate de potassium, par contre, diminue l'importance des dégâts.

ROGER (791), 1951, parmi les différents procédés culturaux susceptibles de gêner le développement de la rouille, cite les mesures suivantes : l'enfouissement à 10 ou 15 cm ou le brûlage des débris et surtout des feuilles infectées. La taille des plants touffus qui assure un meilleur équilibre de la végétation et une plus grande vigueur, tout en favorisant la ventilation, ou en rendant plus aisée l'application des traitements.

On a cherché, par certains systèmes appropriés de taille, à réduire les conséquences des attaques, en limitant le feuillage à l'époque des invasions. Ces essais n'ont pas donné de résultats concluants ; la taille sera éventuellement appliquée aux arbres

d'ombrage ; vis-à-vis de la rouille, on aura toujours avantage à régler l'ombrage à la quantité minimum nécessaire à la protection du type de caféier cultivé ; son excès nuit à la ventilation et à l'évaporation de l'humidité du sol ou de celle apportée par les pluies, brouillards ou rosées.

L'air constituant un puissant facteur de dispersion des spores, les invasions suivent dans leur marche générale la direction des vents dominants de la région ; on peut retarder les infections en plaçant perpendiculairement à cette direction, des abris naturels (bandes de forêt) ou artificiels (rideaux d'arbres plantés) ; ces pratiques n'ont cependant que peu d'effets et, à un autre point de vue, sont peu recommandables.

Enfin, d'une façon générale, le choix judicieux du sol, du milieu, le bon entretien de la plantation, sa propreté, le maintien d'une végétation vigoureuse et équilibrée, l'emploi des fumures réduisent les chances d'infection en conférant à la plante une meilleure résistance.

En Nouvelle-Calédonie, DADANT (325), 1954, étudiant l'influence des conditions microclimatiques favorables à l'infection de *C. arabica* par la rouille pendant plusieurs années consécutives, a conclu à une étroite dépendance de ce parasite vis-à-vis du microclimat de chaque plantation ; la rouille sévit avec quelque gravité dans les plantations insuffisamment ombragées. Ceci appuie encore la théorie accordant une place primordiale au rôle de l'ombrage dans la lutte contre l'*Hemileia vastatrix*.

RAYNER (754), 1956, au Kenya, écrit notamment qu'une plante en bonne santé paraît souvent plus résistante qu'une plante en mauvais état. Cependant, les expériences faites à la Station de Recherches sur des lots de caféiers soumis à de mauvaises conditions, et sur d'autres en bon état, n'indiquaient aucune différence quant au nombre de feuilles attaquées, bien qu'à première vue l'attaque de la rouille ait semblé bien plus grande sur les premiers lots. Il apparaissait aussi que la différence était réellement due à l'état évidemment moins sain de ces caféiers. En outre, les lots ayant reçu une forte dose d'engrais azotés étaient comparés à d'autres n'ayant reçu qu'une faible dose, et aucune différence de degré d'attaque de la rouille n'a été constatée. L'auteur conclut que de telles constatations sur la sensibilité à la rouille, nécessitent une observation minutieuse. La conclusion pratique n'est pas changée, car il est évident que devant une attaque de même importance, les plantes bénéficiant de conditions favorables souffriront moins que celles en moins bon état, et toutes les mesures destinées à maintenir la santé des arbres (mulch, taille, engrais azotés, engrais potassiques, etc...) réduiront probablement l'effet de la rouille.

Traitements chimiques

Dès l'apparition de *Hemileia vastatrix* à Ceylan, et de son extension rapide dans de nombreux pays, avant que la formule de la bouillie bordelaise soit connue, on a proposé et on a mis en usage un certain nombre de remèdes contre cette maladie.

BERKELEY (153) en 1870, conseillait à l'époque, l'emploi du soufre en insuflation, ou des solutions d'acide sulfureux.

ABBAY (2), en 1879, préconisait le badigeonnage des troncs des caféiers à l'eau de chaux et, pour préserver plus sûrement les plantations, conseillait la récolte et l'incinération des feuilles tombées à terre ainsi que de tous les débris jonchant le sol.

MORRIS (656), en 1879, considérait que pendant la période de végétation active du parasite, toutes les parties des caféiers ainsi que le sol devaient être copieusement traités à la fleur de soufre ; de ce traitement, il attendait la mort du mycélium parasite. Un peu plus tard (656), il conseilla l'utilisation d'un mélange d'une partie de soufre et de deux parties de chaux en poudre, en employant ce mélange par insuflation sur les arbres malades. Ces deux substances donnent de l'acide sulfureux en présence de l'air humide.

L'acide sulfureux à l'état de vapeur, proposé en fumigations par WALL et d'autres expérimentateurs, a été également essayé (1107) en 1879. Malheureusement, l'acide sulfureux présenta le grand inconvénient de corroder les jeunes feuilles.

STORCK (868), en 1882, utilisa les vapeurs d'acide phénique.

BURCK (221), en 1889, recommandait pour lutter contre *Hemileia vastatrix* l'utilisation du jus de tabac.

Peu de temps après, vu l'activité incontestable des préparations cupriques utilisées comme moyen de lutte préventive contre plusieurs maladies cryptogamiques, on suggéra à plusieurs personnes d'utiliser la bouillie bordelaise pour enrayer les dégâts de la rouille, et c'est SADEBECK (805), en 1895, qui démontra le premier dans ses expériences que la bouillie bordelaise tuait en quelques minutes les urédospores, agents actifs de la dissémination de la maladie. Depuis lors, l'efficacité de ce traitement a été démontrée. La bouillie bordelaise constituait sur les autres substances employées auparavant un progrès notable, car, si en réalité aucun des produits utilisés précédemment ne s'est montré complètement inefficace, les résultats obtenus furent médiocres et insuffisants.

A Madagascar, RIGAUD (778), en 1896, avait déjà préconisé l'emploi des produits anticryptogamiques ; le jus de tabac, écrivait-il, ne donnait aucun résultat. D'après ses expériences, qu'il reconnaissait incomplètes, les traitements cupri-

ques lui paraissaient très favorables et il préconisait deux formules, dont l'une (formule II) était recommandée pour le cas d'attaques graves :

	Formule I	Formule II
Eau	100 l	100 l
Sulfate de cuivre ..	0,3 kg	2 kg
Vesou.....	0,5 kg	0,5 kg
Chaux	0,3 kg	1 kg

En 1903, BUIS (215), 1907, a également tenté à la station de l'Ivoloine, sur la Côte Est de Madagascar, des traitements fongicides ; selon cet auteur, les traitements cupriques n'étaient que des adjuvants ; il considérait que l'action du sol, du climat, des méthodes culturales était primordiale à l'égard de *Hemileia*.

D'autre part, FAUCHÈRE (395), en 1908, écrivait que l'emploi des bouillies cupriques dans un climat relativement sec peut aider, dans une large mesure, les caféiers à lutter contre l'attaque du champignon, au moment de l'année où elle se produit dans sa plus grande intensité.

DELACROIX et MAUBLANC (340), 1911, préconisent pour la lutte contre *Hemileia vastatrix*, des préparations cupriques possédant une adhérence marquée et contenant une petite quantité de cuivre soluble, mais non caustique. Il recommandait plus spécialement la bouillie sucrée, mais aussi d'autres bouillies cupriques et la bouillie bordelaise neutre. D'après ces auteurs, c'est avec la saison des pluies que se produisent les premières taches, et c'est, par suite, un peu avant son début que, théoriquement, on devrait faire le premier traitement pour empêcher la germination des urédospores que va déterminer une température humide et chaude. Ce traitement est le plus important, puisqu'il réduira la première infection au minimum et atténuera de ce fait la violence des suivantes. L'auteur dit notamment qu'il sera trop tard d'attendre pour ce traitement, l'apparition des premières taches. Les traitements suivants seront plus ou moins rapprochés selon l'intensité des chutes de pluie. Il sera toujours nécessaire de faire une nouvelle application, toutes les fois qu'on verra apparaître de nouvelles taches, de manière à inhiber les urédospores qui vont s'y produire, en empêchant leur germination. D'après ces mêmes auteurs, les conditions qui régissent l'application des traitements varient d'une région à l'autre et sont sous la dépendance étroite de l'intensité du parasite, liée elle-même à toutes les influences locales du climat. La protection des caféiers ne sera réellement effective que si le traitement est généralisé, de telle manière que pour un rayon assez étendu aucun foyer d'infection ne puisse persister.

Les auteurs disent notamment qu'il faut en effet considérer que le moment où la bouillie bor-

delaise est surtout utile se situe pendant la période de l'extension rapide de la maladie, qui correspond à la période des pluies ; les violentes averses ne sont pas rares ; elles lavent les feuilles et entraînent rapidement le dépôt cuprique qui protège celles-ci contre l'infection. C'est la raison pour laquelle SADEBECK (805) et SEMLER (825), sans rejeter complètement le traitement à la bouillie bordelaise, ne lui accordent cependant qu'une importance secondaire.

De nombreux travaux concernant la lutte chimique contre la rouille ont été réalisés depuis, en particulier au Kenya, aux Indes et en Indonésie.

DOWSON (361), en 1921, au Kenya, estimait qu'au dessous de 1.200 m d'altitude, les traitements chimiques contre l'*H. vastatrix* sur Arabica sont sans efficacité, car la maladie est trop grave ; par contre, les pulvérisations sont couronnées de succès à 1.300 m-1.650 m. L'auteur indique qu'il faut utiliser de la bouillie plus concentrée et qu'à de telles altitudes, il faut pulvériser régulièrement, pour tenir la rouille en échec.

MUNRO et SUNDARARAMAN (673), 1923, indiquent que les essais entrepris dans le Pichikady (Inde), pour prouver qu'on peut lutter efficacement contre la rouille et *Corticium koleroga* par des pulvérisations à la bouillie bordelaise, donnent des résultats satisfaisants, mais ils conseillent l'utilisation d'un adhésif et une concentration suffisante pour l'efficacité et l'économie.

ANSTEAD (119), 1924, fait des essais démonstratifs de pulvérisations cupriques dans les pépinières de caféiers à Madras (Inde).

THOMAS (922), la même année, indique que les pulvérisations cupriques contre la rouille aux Indes sont efficaces.

MAC DONALD (625), 1924, au Kenya, indique que les traitements contre la rouille sont plus efficaces avec la bouillie au carbure. Le même auteur (626), en 1926, expose l'importance du maintien en bon état sanitaire général des arbres, par le dosage approprié de l'ombrage et la fertilisation, l'emploi des engrais évitant une surproduction, ainsi que de l'utilisation des traitements avec la bouillie au carbure sur l'intensité et le développement de la rouille.

COLEMAN (289), 1932, mentionne que l'*H. vastatrix* est une des principales maladies des caféiers aux Indes, et que les essais de traitements faits par MAYNE ont montré que la bouillie bordelaise caséinée donnait des résultats supérieurs à ceux de la bouillie bordelaise à l'huile de lin ou à la résine et à ceux de la bouillie bourguignonne ; la bouillie bordelaise est probablement efficace à 0,5 %.

MAYNE (587), 1932, étudiant la périodicité saisonnière de la maladie, indique que le développement maximum de la rouille a lieu avant la

fin de la mousson sud-ouest en Inde. Il mentionne que dans la plupart des régions caféières du Sud indien, deux traitements fongicides sont nécessaires pour le contrôle de la rouille, quoique dans certaines conditions un seul puisse donner des résultats satisfaisants.

MAYNE, NARASIMHAN et SREENIVASAN (593), 1933, soulignent l'importance des traitements dans la lutte contre l'*Hemileia vastatrix* ; entre autres, ils décrivent une série d'expériences faites à Mysore avec des bouillies variées contre la rouille, et mentionnent que les résultats obtenus avec la bouillie bordelaise additionnée de caséinate de chaux ont été supérieurs à ceux observés avec la bouillie bourguignonne.

WALLACE (1014), en 1933, au Tanganyika, indique que la lutte efficace contre la rouille a été entreprise en 1933, avec deux applications de bouillie bordelaise avant le commencement des fortes pluies de mars, suivies d'une autre à la fin des pluies.

MAYNE (594) en 1934, dans son rapport, indique que des essais de traitements contre *Corticium koleroga*, *H. vastatrix* et le die-back, confirment la supériorité de la bouillie bordelaise caséinée sur celle additionnée d'huile de lin et sur les autres fongicides.

X (1114), en 1934, indique que des essais effectués aux Indes avec la bouillie bordelaise additionnée d'huiles végétales locales, extraites du sésame, de l'arachide ou du *Pougamia glabra* (0,5-1 %) donnèrent de bons résultats.

BOURIQUET (185), 1934, à Madagascar, indique que la maladie est combattue soit avec la bouillie bourguignonne, soit avec la bouillie bordelaise.

L'application des engrais stables et des fertilisants minéraux ne semblait pas avoir d'influence sur l'effet des traitements, mais il en résultait un accroissement de la production de cerises de 1,76 à 12,5 %.

En 1935, le même auteur (191) mentionne que des traitements cupriques sur 100.000 caféiers Arabica, contre l'*Hemileia vastatrix*, ont été effectués par les autorités locales administratives d'Itasy en guise de propagande.

MAYNE (595), 1935, indique que les essais de lutte contre l'*H. vastatrix* avec Sulfanulsol à 2 % sont inefficaces et causent des brûlures du jeune feuillage. Le soufre, non plus, n'est pas un fongicide satisfaisant contre la rouille.

Le même auteur (596), en 1936, indique que les essais de lutte effectués depuis 1930 avec différents produits n'ont pas montré de différences définies entre l'efficacité de la bouillie bordelaise simple, de la bouillie bourguignonne avec de l'huile de poisson ou de la résine, de la bouillie bordelaise additionnée de résine, de la bouillie bordelaise additionnée d'huile de lin et de la bouillie borde-

laise caséinée. Aucune évidence de meilleure efficacité ne fut notée lors de l'addition des huiles végétales et l'auteur conclut que les adhésifs et les mouillants peuvent, sans dommage, ne pas être inclus dans la bouillie bordelaise. En ce qui concerne le nombre de traitements, l'auteur préconise l'application d'un traitement précédant la mousson, qui est le plus important, le deuxième traitement l'étant moins.

En 1937 (597) il effectue des traitements comparatifs contre la rouille, de 24 à 60 jours après la floraison. La même année (598), il étudie l'influence de l'hôte, du parasite et des conditions ambiantes sur l'incidence de la rouille dans le sud de l'Inde, et leurs relations avec le problème du traitement.

MARCHAL, MANIL et VANDERWALLE (568), 1937, étudiant le problème de la lutte contre la rouille, indiquent que certains traitements ont donné des résultats encourageants. Leur utilisation sera toutefois sous la dépendance des circonstances économiques du moment.

Les traitements cupriques donnent des résultats certains, ils sont en outre efficaces contre d'autres parasites des feuilles, *Corticium koleroga*, *Cercospora coffeicola*, *Colletotrichum coffeanum*, etc...

Tout dépend cependant des conditions économiques et de la facilité avec laquelle on peut se procurer de l'eau sur place.

Pour tourner cette difficulté, on a essayé les poudrages qui n'ont pas donné ce qu'on attendait, à cause du peu d'adhérence des produits à la face inférieure des feuilles qu'il s'agissait de protéger.

Les bouillies, dont on se servira, seront additionnées de colophane, de caséine ou de caséinate de calcium. Plusieurs aspersiones sont nécessaires pour obtenir de bons résultats. En ce qui concerne l'époque des pulvérisations, il est impossible de donner des indications précises. Tout dépend des conditions locales : époque du paroxysme de l'épiphytie, variations saisonnières, conditions météorologiques, etc... En tout cas, le début du traitement se placera un peu avant le moment où les premières taches apparaissent ordinairement sur les arbres ; ce premier traitement est le plus important et sera plus copieux ; son but est de tuer les spores dès leur germination et d'empêcher ainsi l'infection primaire.

MAYNE (599), en 1938, entreprit dans l'Etat de Mysore des essais de lutte contre la rouille avec deux oxydes de cuivre, A et B, à des dates d'applications différentes ; ils donnèrent des résultats prometteurs.

En 1939 (601), l'auteur donne un aperçu général des moyens de lutte utilisés et en 1940 (602), il précise que les traitements avec la bouillie bordelaise moins concentrée que 2-2-40 sont probablement préférables à l'absence de traitements,

et qu'ils constituent une meilleure solution que la réduction de la surface traitée.

WALLACE (1020), en 1938, indique que les essais de fongicides contre l'*H. vastatrix* ont été poursuivis sur *C. arabica* au Tanganyika, et que les résultats obtenus montraient que la bouillie bordelaise à 1 % et 0,5 % donnait de meilleurs résultats que l'hydroxyde de cuivre.

Le même auteur (1028), en 1941, tout en indiquant la présence de l'*H. vastatrix* dans les plantations de caféiers au Tanganyika, sauf à haute altitude, préconise le traitement des plantations européennes à la bouillie bordelaise ; il entreprend des essais pour déterminer l'époque et le nombre des traitements, et indique que la concentration de bouillie bordelaise à 0,25 % a donné des résultats satisfaisants. Parallèlement, il mentionne que les essais au perenox (250 g/145 litres d'eau) sont efficaces.

La même année (1027), il signale les essais entrepris depuis 1939 au Tanganyika pour lutter contre la rouille avec la bouillie bordelaise à 1 % et 0,5 %, et un hydroxyde de cuivre ; il précise que les deux premiers traitements sont également satisfaisants, le troisième meilleur. D'après cet auteur, la meilleure époque de traitement se situe fin février, si la seconde application se fait fin novembre.

LEPESME (546), 1942, tout en mentionnant la présence de la rouille en Afrique intertropicale, préconise comme moyens de lutte les traitements à la bouillie bordelaise au début et à la fin de la saison des pluies.

BOURIQUET (196), 1946, donne un aperçu général sur les moyens de lutte qui ont été préconisés par les différents auteurs à Madagascar et effectue en 1933 des essais (184) qui avaient pour but de préciser le rôle d'*Hemileia* et d'établir si dans les conditions locales, il est économiquement possible de préserver le caféier d'Arabie contre les attaques de ce cryptogame, en mettant l'arbuste dans les meilleures conditions de résistance (bon entretien, emploi de fumier à haute dose et d'engrais), et en luttant directement contre le parasite à l'aide des pulvérisations anticryptogamiques. Ces essais lui ont montré que dans l'Itasy :

« En dehors du voisinage des habitations, le bon entretien des arbustes, l'emploi de grosses quantités de fumier n'empêchent pas le caféier de souffrir des attaques de l'*Hemileia*. Il en est de même du chaulage et des engrais chimiques répandus à doses massives. Seuls, les engrais azotés ont une action assez favorable et il semble tout à fait recommandé de les utiliser pour remonter des sujets épuisés par la maladie.

Les sulfatages ont une action marquée sur la santé des arbustes, qu'ils préservent pratiquement de l'*Hemileia*. L'auteur indique qu'il est inutile

de commencer le traitement avant les premières pluies ; l'époque de la première pulvérisation doit varier entre la fin novembre et la fin décembre, suivant les régions ; les traitements doivent être effectués par beau temps, car la bouillie n'adhère d'une façon convenable que si elle a pu sécher sur les feuilles avant le retour de la pluie ; il est important d'utiliser des bouillies bien préparées ; le jet des pulvérisateurs doit être dirigé de bas en haut afin d'atteindre surtout la face inférieure des feuilles par laquelle se fait l'infection. Après le mois de mai, les sulfatages sont inutiles. Pour Madagascar, BOURIQUET conseille trois applications au total comme étant suffisantes. Il préconise deux bouillies, la bouillie bourguignonne à la colophane et la bouillie bordelaise caséinée, qui donnent sensiblement les mêmes résultats.»

Les formules indiquées sont les suivantes :

Bouillie bourguignonne à la colophane

Sulfate de cuivre.....	1,5 kg
Carbonate de soude.....	q s pour alcaliniser légèrement
Colophane solubilisée.....	0,375 kg
Eau.....	100 l

Bouillie bordelaise caséinée

Sulfate de cuivre.....	1,5 kg
Chaux.....	q s pour alcaliniser légèrement
Caséine.....	50 g
Eau.....	100 l

Les solutions de permanganate à 0,150 % sont sans action sur l'*Hemileia*. Certaines préparations à base de matière colorante ne semblent pas non plus recommandables. Le verdet a une action anticryptogamique certaine contre l'*Hemileia*, mais d'un prix plus élevé que les bouillies au sulfate de cuivre, il est à rejeter.

— Les appareils à pression préalable à dos d'homme donnent entière satisfaction.

— La quantité de bouillie employée est d'environ 25 hl par ha, pour les trois traitements.

— D'après cet auteur, le traitement cuprique augmente la production, la densité des fèves, la proportion des grosses graines et améliore l'aspect et la qualité du café.

THOMAS (926), 1948, indique que l'extension de la rouille au sud de l'Inde peut être arrêtée par des traitements périodiques avec la bouillie bordelaise (2-2-40) avant la pluie de la mousson, avec lesquels on a aussi obtenu des augmentations des récoltes de 50 à 100 %. Il préconise parallèlement l'utilisation de lignées d'*Arabica* résistantes aux quatre races d'*Hemileia*.

Le même auteur, en 1949 (927), fait un compte-rendu des résultats des essais de lutte contre la rouille avec la bouillie bordelaise, de 1945-1948.

D'après VIENNOT-BOURGIN (1000), 1949, la lutte contre l'*Hemileia* fut envisagée suivant

deux méthodes : recherche d'espèces et de variétés résistantes, et lutte chimique. La lutte chimique peut être réalisée à l'aide de la bouillie bordelaise, dont la première application aura lieu avant la saison des pluies. Il cite les résultats obtenus aux Indes par MUNRO et SUNDERARAMAN (672), au Kenya par DOWSON (361) et à Madagascar par BOURIQUET (188).

En 1950, THOMAS (928) indique les essais de lutte contre l'*H. vastatrix*, entrepris aux Indes, avec la bouillie bordelaise et le Perenox, leur influence, les lieux de leur application, ainsi que l'époque de cette application.

NARASIMHASWAMY (678), 1952, fait un compte-rendu des travaux de lutte contre *H. vastatrix*, réalisés dans le sud de l'Inde, et conclut que les traitements à la bouillie bordelaise peuvent augmenter la production de 100 %, mais présentent des difficultés d'ordre économique.

THOMAS (929) mentionne que dans les essais conduits à Chethalli en 1953 pour le contrôle d'*H. vastatrix*, le cuivre Sandoz (900 g pour 455 l), la bouillie bordelaise (2-2-40) n'augmentaient pas le nombre de feuilles, mais le dernier produit donnait de meilleures récoltes. L'analyse des feuilles montrait que la chute anormale était due à ce que les hydrates de carbone et l'azote quittent les plus vieilles feuilles pour alimenter les nouvelles. Il y a donc une accumulation des matières nutritives dans le pétiole des feuilles tombées.

SANDERS (808), 1954, indique que des attaques graves d'*H. vastatrix*, observées au Tanganyika pendant le 1^{er} semestre 1952, ont été arrêtées par traitements au Perenox en juillet-août, après la mousson.

NARAYANAN (681), 1955, dans le premier de ses rapports (p. 64-67), précise que dans les essais de traitements contre la rouille, la bouillie bordelaise 2-2-40 additionnée de « stanvac detergent » (170 g pour 180 l) donnait le meilleur rendement de cerises. Les spécialités à base de fongicides cupriques étaient en général moins efficaces. Dans un autre essai cependant, le Clitox (1 lb/40 gals) donnait une récolte de 1.459 lbs contre 924 lbs avec la bouillie bordelaise.

MEIFFREN (643), 1955, décrivant le parasite, ses symptômes, ses dégâts, les moyens de lutte, le pourcentage d'attaque des espèces et variétés cultivées en Côte d'Ivoire, préconise comme moyens de lutte : l'hygiène, la taille, la fumure ainsi que des traitements chimiques avec la bouillie bordelaise caséinée à 1 % avant et après la saison des pluies, ou encore l'oxyde cuivreux à 0,8 %, ou l'oxychlorure de cuivre à 1,5 %. Il faudrait 2.000 l de bouillie pour trois traitements, ce qui correspond à 10 kg d'oxychlorure de cuivre et à 16 et 5,5 d'oxyde cuivreux.

SILVA (834), 1958, à São Tomé, indique comme moyens de lutte contre *H. vastatrix* des traitements avec la bouillie bordelaise (0,4 %) ou des préparations telles que le cuivre Sandoz, le Perenox, etc... La première application doit être faite en octobre-novembre ; la deuxième en janvier-février et la troisième en avril-mai.

En 1958, au Kenya, X (1138) indique que dans un essai en champ avec la bouillie bourguignonne à 0,25 %, 0,50 %, 1 % et 2 %, et le perenox aux mêmes doses de cuivre, la bouillie bourguignonne donnait de meilleurs résultats et était efficace sur les deux faces des feuilles. Le Captan, le Fermate et l'oléocuvire à 0,5 % donnaient à peu près le même résultat que la bouillie bourguignonne à 0,5 %.

Bock (166), en 1959, indique que les résultats obtenus pour le « coffee berry disease » au Kenya, montrent que le Captan appliqué en février, mars et avril contrôle efficacement la rouille du caféier. Le Captan a aussi un effet généralement stimulant sur les caféiers. Le cuivre appliqué en octobre et novembre paraît être également efficace.

GEORGE (430), 1959, rapporte les résultats d'une série d'expériences et indique que les pulvérisations à la bouillie bordelaise à 0,5 % contre l'*H. vastatrix* ont donné des résultats significativement supérieurs à des concentrations plus basses.

La même année (431), l'auteur donne des résultats comparatifs d'essais de traitements avec différents fongicides organiques et d'autres à base de cuivre, de mercure et de soufre contre la rouille. La bouillie bordelaise était aussi efficace, et dans quelques cas meilleure, que ces spécialités.

Bock (167), 1960, au Kenya, indique que les traitements de février-mars à la bouillie bordelaise ou avec une spécialité cuprique à 50 % de cuivre contrôlent également la rouille. Le prix/acre de six applications des spécialités à 50 % Cu, comprenant le travail, l'amortissement du matériel et le transport de l'eau, est 352/8 sh.

La même année, l'auteur (168) décrit les résultats d'études des cycles épidémiques saisonniers de la rouille (169) au Kenya (où l'augmentation saisonnière de l'infection dépend de la chute des pluies). La dispersion de la rouille dans les champs, et les dispositions des traitements (412) sont présentés et discutés, et des recommandations provisoires de lutte, basées sur ceux-ci, sont faites, suivant les régions climatiques. Les traitements faits à de mauvais moments, ou inadéquats, augmentent d'une façon très marquée la gravité de l'épidémie suivante.

RAYNER (759), 1960, préconise dans la lutte contre la rouille au Kenya, la bouillie bordelaise au sulfate de cuivre à 1 %.

WALLIS et FIRMAN (1034), 1960, indiquent que dans un essai effectué en plantation, lorsqu'environ

1/5 des feuilles portaient une à plusieurs taches de rouille, les arbres recevaient en pulvérisation des volumes croissants de Perenox (50 % cuivre métal). Les déterminations faites immédiatement après sur les arbres traités montraient que la chute des feuilles était très réduite et vraisemblablement non due à la rouille.

Ces résultats permirent aux auteurs de conclure qu'il est possible de contrôler la maladie avec une pulvérisation à moins de 10 gal/acre, quand il n'est pas possible de recommander entièrement l'équipement convenable de ce traitement.

NUTMAN, ROBERTS et BOCK (691), 1960, font un compte rendu plus détaillé et concluent que l'épidémie périodique de la rouille est due au fait que les spores emportées adhèrent les unes aux autres. Celles-ci sont ensuite dispersées par les éclaboussures de pluie plutôt que par le vent. Ils suggèrent que l'agent pathogène pourrait être contrôlé plus économiquement et avec plus de succès, par l'élimination de l'inoculum à une époque spécifique (pendant la période de faible infection), plutôt qu'en essayant de prévenir l'infection sur une longue période.

BURDEKIN (226), 1961, indique que les expériences effectuées au Kenya ont montré que le Captan peut donner de bons résultats dans la lutte contre l'*H. vastatrix*, quoique des essais préliminaires au Tanganyika aient été moins satisfaisants. Un autre essai fut fait à Tengera, dans lequel le caféier était traité avec du Captan à deux concentrations ou avec 2,300 kg d'une formule à 50 % Cu métal dans 454 l/4.000 m², appliquée tous les deux mois.

Les résultats de la première année montrent que le Captan est le meilleur, appliqué à raison de 2 kg/725 l/4.000 m², à quatre reprises en février-mars. Les applications de cuivre, recommandées actuellement pour l'emploi local, peuvent donner une meilleure rétention, mais ne contrôlent pas bien la rouille, probablement à cause des fortes pluies, et le Captan employé comme indiqué ci-dessus donne les meilleurs résultats.

FIRMAN (409), en 1961, tout en indiquant que la rouille (*H. vastatrix*) avait été trouvée sur *C. robusta* pour la première fois au Kenya, indique aussi que, selon lui, la bouillie bordelaise à 50 % de cuivre est encore la formule la plus active.

GEORGE (432), 1961, aux Indes, mentionne qu'une économie considérable dans le volume de la bouillie de traitement a été réalisée dans les essais avec la pulvérisation micronisée pour le contrôle de la rouille, mais en pratique ce système ne convenait pas pour couvrir toute la surface des feuilles.

X (1144), 1962, dans son rapport, indique que le Captan à raison de 2 kg/725 l d'eau, appliqué quatre fois en février-mars, et deux fois en octobre-novembre, donnait le meilleur contrôle de la rouille des feuilles (*H. vastatrix*).

Les expériences préliminaires effectuées par EVANS et SAGGERS (382), 1962, contre l'*Hemileia vastatrix* sur caféiers Arabica en Inde du Sud, avec NC 918, ont donné des résultats encourageants.

RAYNER (765), en 1962, mentionne que dans quatre essais en champ, au Kenya, on a trouvé que le contrôle d'*Hemileia vastatrix* par les fongicides cupriques augmentait en relation linéaire selon le logarithme de la concentration. La pratique commerciale devait être déterminée par les facteurs économiques et les effets phytotoxiques possibles. Le contrôle augmentait aussi avec le volume/acre, mais l'ajustement de la quantité du résidu de pulvérisation par rapport à la concentration était meilleur, et il y avait moins de perte par rapport au volume. Le résultat le plus important fut que l'application sur la face supérieure était aussi efficace que celle sur la face inférieure, pour toutes les concentrations.

Avec la même concentration de cuivre, la bouillie bourguignonne, le Perenox et le Clitox étaient aussi efficaces. Le Captan n'augmentait pas la densité du feuillage, mais le cuivre l'augmentait. Pour réduire la quantité, mais non le pourcentage d'attaque par la rouille, les pulvérisations de mars et avril étaient les plus efficaces, celles de janvier beaucoup moins, celles d'octobre intermédiaires.

La réduction de l'inoculum, en janvier et mars, ne diminuait pas l'infection de juillet et d'août, et il semble que l'accumulation de l'inoculum sur un arbre dépende largement des contaminations extérieures.

WALLIS et FIRMAN (1035), 1962, indiquent que quatre essais, effectués dans la Station de Ruiru au Kenya, dans lesquels différentes combinaisons de taux de fongicide et de volume/acre étaient comparées, ont montré que le contrôle d'*H. vastatrix* était équivalent, qu'il s'agisse de pulvérisations à grand volume, à basses concentrations 60/70 ml/acre (c. 10 gal/acre), ou de pulvérisations pneumatiques. Dans les deux cas, on avait besoin de la même quantité de fongicide cuprique.

Des études détaillées du dépôt de cuivre obtenu indiquaient qu'un dépôt moyen initial de 60 mg Cu/m² de surface de feuille était nécessaire. La phytotoxicité n'a pas été observée, à aucune concentration, jusqu'à 40 % (poids/poids). Une méthode biologique d'essais est décrite ; elle comprend l'inoculation de disques de feuilles découpés et l'observation du développement de la lésion subséquente. Cela a permis d'établir un lien utile entre les recherches en champs et en laboratoire. Un procédé expérimental et les méthodes pour estimer les dépôts de pulvérisation et l'attaque de la rouille sont discutés.

Bock (170), 1962, au Kenya, indique qu'à partir de 27 champs d'essais à 1.500 m-1.970 m au-dessus du niveau de la mer à l'est et à l'ouest de la vallée

du Rift, on a conclu que le contrôle maximum d'*H. vastatrix* était obtenu avec les pulvérisations de Cu appliquées juste avant et pendant la première partie de la saison humide, que l'efficacité de Cu diminuait avec l'augmentation du laps de temps s'écoulant entre son application et les premières pluies.

Les pulvérisations agissent en réduisant le résidu d'inoculum et en donnant une courte période de protection, empêchant ainsi l'accumulation.

L'arrêt des mesures de contrôle favorise l'apparition de la maladie, car les pulvérisations ayant retardé la chute des feuilles, de plus nombreuses feuilles malades sont transportées pendant la saison sèche et donnent ainsi un inoculum initial plus grand au début des pluies.

X (1144), 1962, dans son rapport, indique que le Captan à raison de 2 kg/725 l d'eau appliqué quatre fois en février-mars et deux fois en octobre-novembre, donnait un meilleur contrôle sur la rouille des feuilles (*H. vastatrix*).

X, 1964, (1149), dans son rapport annuel 1963/64, indique que les résultats d'autres pulvérisations contre la chute des feuilles, effectuées sur les nœuds terminaux des branches secondaires, réduisaient la rouille (*H. vastatrix*), les lésions sur les feuilles et augmentaient les rendements.

Des pulvérisations mensuelles donnaient de meilleurs résultats que celles ayant lieu cinq à six fois par an, bien que la quantité de cuivre soit la même. Les additions d'urée, de SO₄Mg n'avaient pas d'effet sur la chute des feuilles et le rendement.

A la Station de Kisi, une pulvérisation stimulante en mai de 900-1.350 g de cuivre/acre donnait de meilleurs résultats que les applications de septembre et réduisait la chute des feuilles en octobre-décembre, et d'une façon moindre en mars-mai, mais on notait une augmentation en juin. Les meilleures combinaisons étaient l'application en janvier-février-mars et octobre de pulvérisations de fongicide à base de cuivre, de 1.800 g et 1.200 g à l'aide d'un pulvérisateur à moteur ; dans le Kiamba supérieur, ces pulvérisations étaient plus efficaces que 3,800 kg appliqués avec un pulvérisateur à main.

BURDEKIN (227), en 1964, indique que *H. vastatrix* était aussi bien contrôlé par le Zinèbe et le Ziram à raison de 2 kg dans 725 l/4.000 m², que par les fongicides cupriques (oxyde cuivreux et oxychlorure de cuivre, tous deux au taux de 2,300 kg dans 454 l), mais les premiers étaient moins efficaces pour empêcher la chute des feuilles et donnaient une augmentation moindre du rendement. La rétention des feuilles était bonne, après traitement avec 1.300 g de fongicide Cu/acre, mais cette dose n'était pas suffisante pour donner un bon contrôle de la rouille. On observait une bonne corrélation entre le nombre de feuilles présentes et le rende-

ment de la grosse récolte de 1962. Aucune corrélation n'était notée entre le degré de rouille et le rendement.

PARK et BURDEKIN (708), en 1964, au Tanganyika, indiquent que la quantité de fongicide cuprique utilisée contre *H. vastatrix* dure moins longtemps que la durée qu'on peut déterminer chimiquement : les quantités de cuivre dissoutes par trois solvants (eau distillée, 0,001 N, H₂SO₄), venant des dépôts d'une formulation d'oxyde cuivreux, d'un oxychlorure de Cu et de bouillie bordelaise, étaient déterminées à intervalles réguliers après la pulvérisation, ainsi que les quantités de cuivre enlevées par action physique. On notait l'étendue de l'infection de la rouille dans les champs après l'application d'une seule pulvérisation qui avait subi les intempéries pendant un certain temps avant l'infection. La perte initiale du dépôt de pulvérisation était rapide, indiquant que dans les conditions naturelles le dépôt de fongicide était devenu trop faible pour être efficace. Il n'était pas prouvé que cela était dû à une détérioration chimique, mais l'action des intempéries peut réduire le dépôt total de Cu s. p. m. jusqu'à 50-60 mg en l'espace de quelques semaines. Les « cuivres fixés » semblent être enlevés par action physique alors que la bouillie bordelaise est dissoute. Il ne semble pas cependant que les programmes présents de pulvérisations puissent être modifiés si le cuivre se maintient sur la feuille, mais la date précise de l'application immédiatement avant la période d'infection peut ne pas être aussi importante.

FIRMAN et WALLIS (411), en 1965, au Kenya, dans leurs expériences, indiquent que le caféier *Arabica* recevait en pulvérisation un fongicide à l'oxyde cuivreux cinq fois par an, à raison de 45 l/acre contre l'*H. vastatrix*. Une application supplémentaire en mai augmentait le rendement de 100 kg/acre. La chute des feuilles était moindre sur les arbres ayant reçu la pulvérisation de concentration plus forte, mais ceux ayant reçu de faibles concentrations produisaient de nouvelles feuilles pour compenser le taux élevé de perte de feuilles.

VENKATARAMAIAH (995), 1965, dans les expériences conduites en Inde, indique que la germination des urédospores d'*H. vastatrix* était complètement inhibée par l'acide chromique (4.000-250 ppm Cr), Co(NO₃)₂ (500 ppm), NiCl (500 ppm), LiCl (1.000 ppm) et AgNO₃ (1.000 ppm), mais pas par 0-3818 B (dithiocarbamate de Ni), Nc-918 (30 % poudre mouillable de N-phényl-N-3 sulpholanhydrazine). Les composés inorganiques détruisaient les lésions de la rouille au stade « taches » quand on pulvérisait 1.000 à 4.000 ppm et 500 ppm pour l'acide chromique et AgNO₃, mais étaient phytotoxiques. Ceci était réduit par l'addition de bouillie bordelaise, mais en même temps l'effet thérapeutique était réduit. Les composés organiques n'étaient ni

phytotoxiques ni thérapeutiques en essais dans les champs et en laboratoire.

HOCKING et WHITE (488), 1965, en Tanzanie, effectuèrent des tests pour évaluer l'activité du fongicide, en pulvérisant une suspension de spores sur des disques de feuilles, précédemment traités avec le fongicide en expérimentation à un taux connu de dépôt, en utilisant un compte-pollen modifié. Après vingt et un, vingt-huit jours d'incubation, le nombre de lésions de rouille par disque était compté.

Des quatorze fongicides mis à l'épreuve quelques-uns étaient aussi efficaces que le cuivre et à des taux de dépôt moindres ; le cycloheximide (Actidione), par exemple, permettait la germination, mais réduisait l'infection.

Tous les fongicides essayés, y compris le cuivre, montraient une activité curative quand ils étaient appliqués une semaine après l'inoculation et le cycloheximide était remarquable, car il réduisait la sporulation quand on l'appliquait trois semaines après l'inoculation.

BURDEKIN (228), 1965, effectuant des expériences sur les fongicides à la station de Lyamungu au Tanganyika, indique que des dépôts de cuivre sur des feuilles de caféier restèrent toxiques en essais de laboratoire sur *Hemileia vastatrix* jusqu'à six semaines après l'application, bien que la rouille de la feuille soit contrôlée pendant trois semaines seulement. NC 918, Actidione et Blastidin montrèrent tous une action thérapeutique active sur les disques de feuilles infectés. L'Actidione fut le meilleur, mais avait tendance à être phytotoxique.

ANON (113), 1966, en Inde, mentionne que dans des expériences avec dix-huit autres formulations contre *H. vastatrix*, la bouillie bordelaise à 0,5 % donnait un pourcentage maximum de feuilles saines.

HOCKING (492), 1967, dans des essais de fongicides en Tanzanie, sur *C. arabica*, contre l'*H. vastatrix*, rapporte les résultats obtenus avec sept fongicides parmi lesquels trois furent d'une grande efficacité de contrôle de la rouille des feuilles et cinq maintinrent mieux la longévité des feuilles que si elles n'avaient pas été traitées ; il apparut que les derniers résultats étaient dus non pas au contrôle de la rouille ni à l'effet stimulant de certains produits chimiques, mais probablement à la réduction de l'attaque intense du *Colletotrichum coffeanum*, qui avait provoqué une chute prématurée des feuilles.

HOCKING et FREEMAN (490), 1967, en Tanzanie, indiquent qu'aucun des sept fongicides mis à l'épreuve ne fut meilleur que le cuivre pour contrôler l'*Hemileia vastatrix*. La plupart des traitements retardèrent l'excision aussi bien des feuilles malades que des bien portantes, faisant naître une cause

supplémentaire de développement de la rouille et de chute prématurée des feuilles.

Aucun des nouveaux fongicides éprouvés ne fut supérieur au Colloïdox dans la prévention de l'infection de la rouille. Depuis lors, le Difolatan et le NC 1584 se montrèrent aussi prometteurs contre l'antracnose des baies (*Colletotrichum coffeanum*) et purent être utilisés dans plusieurs tests en champs.

SRIDHAR et SUBRAMANIAN (843), 1968, en Inde, indiquent que les essais de six produits organiques et trois cupriques, Cuman, Niacide-Z (à 0,5 l et 1 à 5 %) et cuivre bleu 50 (0,67 kg/200 l d'eau), étaient effectués en comparaison avec la bouillie bordelaise à 0,5 % contre *H. vastatrix*.

ANON (115), 1968, aux Indes, rapporte que sur sept antibiotiques essayés aucun n'a donné de bons résultats contre *Cercospora coffeicola*, de même qu'aucun des quatre essayés contre l'*Hemileia vastatrix* ne fut efficace.

ANANTH (11), 1969, en Inde, mentionne des essais de pulvérisation contre l'*Hemileia vastatrix* sur caféier d'Arabie à Mysore, en utilisant la bouillie bordelaise et montra que trois ou quatre pulvérisations au début de saison et deux au milieu donnaient un contrôle raisonnable, et une grande proportion de feuilles infectées était maintenue sur les arbustes. L'infection commençait par temps chaud après des averses. Le nombre de feuilles

infectées semblait plus important que la moyenne des taches des feuilles. Le contrôle de la maladie jusqu'en décembre, dont les effets persistaient en janvier, ne put néanmoins affecter les perspectives de récolte.

Des essais comparatifs de traitements préventifs contre l'*Hemileia vastatrix* ont été entrepris depuis 1958 et poursuivis pendant dix ans au **Centre de Recherches Agronomiques de Boukoko**, sur deux hectares de *Coffea robusta* afin d'étudier comparativement l'efficacité de quatre produits cupriques couramment employés : la bouillie bordelaise à 1 % de sulfate de cuivre neutralisé à la chaux ; le Perenox (oxyde cuivreux à 50 % de cuivre métal) à la dose de 1 % du produit commercial ; le Viricuire (oxychlorure de cuivre à 50 % de cuivre métal) à la dose de 1 % du produit commercial ; l'Oxychlor 50 (oxychlorure tétracuprique à 50 % de cuivre métal) à la dose de 1 % de produit commercial, ainsi que deux produits organiques : le Dithane Z 78 (à 65 % d'éthylène bis-dithiocarbamate de zinc) à la dose de 0,300 kg, par hectolitre d'eau et l'Esso 406 (à 50 % N-dichlorométhyl-thiotetrahydrophthalimide) à 0,250 kg par hectolitre d'eau.

Le protocole d'essai a été établi par le chef du laboratoire d'agronomie avec trois répétitions par produit, plus trois témoins choisis au hasard.

Moyennes des résultats des essais de traitements préventifs menés en R C A

Produit anticryptogamique employé	% attaque avant 1 ^{er} traitement Moy. sur 10 ans	% attaque après 4 ^e traitement Moy. sur 10 ans	% réduction d'attaque après 4 ^e traitement Moy. sur 10 ans	% réduction d'attaque par rapport au témoin Moy. sur 10 ans
Bouillie bordelaise SO ₄ Cu, 5H ₂ O + chaux à 1 %	38,7	11,43	— 27,34	— 38,85
Perenox (oxyde cuivreux à 50 % cuivre métal) à 1 % produit commercial	28,84	11,78	— 17,06	— 38,50
Viricuire (oxychlorure de cuivre à 50 % de cuivre métal) à 1 % produit commercial	31,98	11,09	— 20,89	— 39,19
Oxychlor 50 (oxychlorure tétracuprique à 50 % de cuivre métal) à 1 % de produit commercial	32,15	10,9	— 21,25	— 39,38
Dithane Z 78 (à 65 % d'éthylène bis-dithiocarbamate de zinc) 0,300 kg de produit commercial/100 l	33,25	24,55	— 8,7	— 25,73
Esso 406 (à 50 % N-dichlorométhyl-thiotetrahydrophthalimide) 0,200 kg du produit commercial/100 l	29,24	23,44	— 5,8	— 26,84
Témoins	31,14	50,28	+ 19,14	—

Chaque parcelle élémentaire comportait quatre lignes de caféiers, soit au total soixante arbustes par parcelle et deux cent quatre-vingt caféiers au total pour les trois parcelles et par produit, plus les trois parcelles élémentaires des trois témoins.

Le contrôle de la rouille de chaque parcelle élémentaire a été effectué uniquement sur les deux lignes du milieu.

Quatre traitements ont été effectués et répartis comme suit :

1 ^{er} traitement :	1 ^{re} quinzaine d'avril,
2 ^e — :	1 ^{re} — de juin,
3 ^e — :	1 ^{re} — d'août,
4 ^e — :	1 ^{re} — d'octobre.

Le contrôle de la rouille et le pourcentage d'attaques, par comptage des feuilles de chaque arbuste des deux lignes des parcelles élémentaires des trois répétitions de chacun des produits, y compris les témoins, ont été effectués avant chaque traitement et un mois après le quatrième traitement.

Les moyennes des résultats obtenus pendant les dix années d'essais figurent dans le tableau récapitulatif ci-contre.

Ces résultats montrent que :

— Tous les produits mis à l'épreuve sont supérieurs au témoin.

- Produits anticryptogamiques : réduction d'attaque de 27,34 à 5,8 % après le quatrième traitement.

- Témoins : augmentation d'attaque de 19,14 %.

— Dans l'ensemble, tous les produits cupriques sont supérieurs aux produits organiques au point de vue efficacité.

- Produits cupriques : réduction d'attaque de 17,06 à 27,34 % après le quatrième traitement.

- Produits organiques : réduction d'attaque de 5,8 à 8,7 % après le quatrième traitement.

— Tous les produits cupriques sont plus ou moins équivalents avec une supériorité de la bouillie bordelaise au point de vue action préventive contre l'*Hemileia vastatrix*, par contre, les deux produits organiques essayés, vu leur faible efficacité, doivent être éliminés.

Tous les produits cupriques employés à la dose de 3,5 kg de cuivre métal/hectare et à raison de quatre traitements par an, répartis entre avril et octobre, d'une part réduisent sensiblement les attaques existantes et, d'autre part, protègent en grande partie les feuilles des nouvelles affections, si les traitements sont appliqués méthodiquement et si l'on utilise un adhésif (adhésol, caséinate de chaux, etc). Cependant, sous ces climats et dans la pratique, la protection de toutes les surfaces foliaires par la pellicule protectrice de cuivre est toujours incomplète d'une part, et d'autre part il y a for-

mation de nouvelles feuilles durant la croissance des rameaux entre deux traitements. Pour que les traitements soient efficaces, il faudra augmenter leur nombre, opération onéreuse ne se justifiant que lorsque les attaques sont très fortes et généralisées, mais de telles attaques sont généralement rares jusqu'à ce jour dans les plantations de Robusta en République Centrafricaine.

En outre, ces essais montrent que les traitements réduisent sensiblement les attaques, mais n'éliminent pas complètement la maladie.

Le meilleur procédé pour lutter efficacement contre la rouille est l'utilisation des variétés, lignées et clones résistants à la maladie.

Sélection de variétés, clones et hybrides résistants

Les traitements chimiques ont donné des résultats très satisfaisants pour la lutte contre l'*Hemileia vastatrix* dans tous les pays où ils ont été appliqués méthodiquement, et en particulier aux Indes, au Kenya et dans tous les pays où la maladie sévit avec intensité.

Cependant, leur application est onéreuse et leur action n'est jamais totale, surtout sur les variétés de *Coffea arabica* très sensibles à la rouille, ce qui rend son éradication improbable, car les traitements ne sont jamais parfaits et souvent la surface foliaire n'est pas complètement couverte par la pellicule protectrice du produit ; beaucoup de feuilles ou portions de feuilles y échappent. En outre, les précipitations violentes et la fréquence des pluies durant la saison humide obligent les planteurs à appliquer plusieurs traitements à cause de l'entraînement des produits, malgré l'utilisation des adhésifs et des mouillants. Dans certains pays, leur application s'avère difficile sur les petites plantations dispersées, ainsi que sur les terrains accidentés, difficilement accessibles pour les gros appareils tractés de traitements (atomiseurs).

Il apparaît que l'utilisation des variétés, lignées, clones et hybrides résistants ou tolérants à l'*Hemileia* constitue la solution idéale et la plus économique pour résoudre le problème de la rouille ; cette dernière et l'anthracnose (*Colletotrichum coffeanum*) constituent les maladies les plus graves du caféier et en particulier du *Coffea arabica*.

Des recherches dans ce sens ont été déjà entreprises depuis longtemps dans les différents pays où la maladie sévit et en particulier aux Indes, aux Philippines, au Kenya, en Ouganda et au Tanganyika (Tanzanie).

Déjà de nombreux spécialistes étudiant la rouille ont constaté que le comportement des diverses

espèces et variétés à l'égard de l'*Hemileia vastatrix* était différent, et que les espèces ou variétés qui étaient résistantes devenaient, au bout d'un certain temps, sensibles, en particulier quand elles étaient cultivées dans des pays différents de leur pays d'origine ; même dans ce dernier, les caféiers indemnes perdent leur immunité après deux ou trois ans de culture [WALLACE (1008), 1928]. Ce phénomène, au début inexplicable, a permis par la suite, grâce aux recherches effectuées, de constater que l'*H. vastatrix* possédait des races physiologiques et biologiques dont le degré de virulence variait suivant les espèces, variétés, lignées et clones et que de nouvelles races plus virulentes étaient susceptibles d'apparaître.

C'est MAYNE (589) qui pour la première fois, en 1932, travaillant en Inde sur la réaction de nombreux hybrides et sélections de *C. arabica*, mentionnait l'existence de deux races physiologiques dans le sud de l'Inde et, en 1933 (591), à la suite des résultats obtenus, montrait que la résistance dominait la réceptivité. En 1935, l'auteur pensait que la résistance des caféiers à la race I d'*H. vastatrix* était transmise par un simple facteur dominant mendélien et que la résistance à la race II n'avait été trouvée que sur les plants d'origine hybride. D'ailleurs, la transmission de la résistance par un simple caractère mendélien a été confirmée par le même auteur (616) en 1946, par NARASIMHASWAMY (678), 1952, par THOMAS ainsi que par ORILLO et VALDEZ (702), 1961, aux Philippines, qui s'accordent sur le caractère mendélien dominant simple de la résistance à la rouille et leurs travaux ont été confirmés au Kenya par le Laboratoire de Scott à Nairobi et la station de Ruiru, par WELLMAN (1060), en 1954.

MAYNE (595), en 1935, constate des réactions différentes à l'*H. vastatrix* des variétés Kent et Coorg, la première plus résistante que la seconde, qui sont la conséquence de l'existence des races physiologiques. Leur existence a été démontrée également par les travaux de WELLMAN en 1952 et 1953 (1058, 1059). En 1948, THOMAS (926) avait identifié sur *Coffea arabica*, aux Indes, quatre races physiologiques et préconisait le développement et la multiplication des lignées résistantes aux quatre races.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (696), en 1957, indiquait qu'un travail sur *Hemileia vastatrix* et *coffeicola* a été commencé en 1951 à Sacavem au Portugal et continue au Centre d'investigation de Ferry Cap, environ depuis 1955, où ont été étudiées 1.000 sortes de caféiers et variétés, et 20 races d'*H. vastatrix* provenant des différentes régions caféières.

FIRMAN (409), en 1961, indique qu'il avait observé pour la première fois l'*H. vastatrix* sur *Coffea robusta* et pense qu'il vient de l'extension de la race IV

de l'Ouganda. En 1963, FIRMAN et HANGER (410), dans leur compte rendu sur la distribution de l'*Hemileia*, indiquent l'apparition des races XV sur Arabica et de la race IV sur Robusta.

En ce qui concerne la sensibilité des différentes espèces, variétés, lignées et clones des *Coffea*, RODRIGUES (787), en 1956, mentionne que toutes les espèces de caféier se sont révélées sensibles, mais leurs réactions vis-à-vis de l'*H. vastatrix* sont plus ou moins intenses.

DAVID (330), en 1928, indiquait qu'aux Philippines le type Arabica était le plus sensible à l'*H. vastatrix* et sérieusement attaqué, tandis que les Liberica pouvaient résister pendant plusieurs années, mais finalement devenaient sensibles. Le Robusta est intermédiaire.

THOMAS (925), en 1930, indique que *C. arabica*, très cultivé au sud de l'Inde, est très sensible à la rouille, et l'auteur, en pratiquant des coupes anatomiques sur les feuilles de certaines variétés résistantes à la rouille, a observé sur toutes la présence de globules huileux et cireux dans les cellules épidermiques de la face inférieure des feuilles et dans celles du parenchyme. Dans les feuilles jeunes, les globules sont petits et nombreux et fusionnent au fur et à mesure que les feuilles deviennent adultes. Deux globules se trouvent généralement dans chaque cellule stomatique ; chez les variétés les plus résistantes, les globules sont plus nombreux et la coalescence se fait plus tard que chez les variétés plus sensibles.

Des études comparables faites également par TASCHDJIAN (898) en 1934 et WELLMAN (1059), en 1953, permirent de constater qu'une corrélation existait entre le degré de résistance à la rouille et le nombre, la distribution et la période de coalescence des globules dans l'épiderme des feuilles ; le taux d'huile paraît être un facteur déterminant du degré de résistance ; son mode d'action reste indéterminé ; peut-être l'huile rend-elle la feuille imperméable à l'eau et peut-être fonctionne-t-elle comme un toxique pour le tube germinatif de l'urédospore dans ses efforts pour pénétrer dans la feuille, surtout durant les premiers stades de développement de celle-ci.

Des croisements des variétés d'Arabica sensible et de Liberica tolérant faits par FAUCHÈRE (393), 1906, WELLMAN, en 1952, 1953, 1954, 1955 et 1956 (1058, 1059, 1060, 1061, 1062) ont donné des résultats satisfaisants dans beaucoup de cas. Les croisements entre Arabica et Congensis donnent des résultats semblables.

MAYNE (616), 1946, indique en Inde de nombreuses sélections de variétés résistantes à la rouille ou plutôt aux races physiologiques actuelles, mais ces sélections sont sensibles à d'autres races qui peuvent devenir communes.

NARASIMHASWAMY (678), 1952, indique qu'aux

Indes, de toutes les variétés et lignées mises à l'épreuve, le *C. robusta* est la seule acceptable par sa résistance relativement élevée.

THOMAS (929), 1953, mentionne qu'il a trouvé que la variété S 446 de *C. arabica* à Chethalli résistait à la rouille et que les sélections 1, 2, 3 et 4 des hybrides de *C. arabica* de Kurvenmythy étaient résistantes et à végétation vigoureuse. Les croisements entre *C. robusta* lignées 53-31 et 58-31 poussaient bien et indemnes de maladie. Les pieds-mères de 53-28 et 49-28 à Chattedhula sont sensibles à l'*H. vastatrix*, mais les croisements entre ces plants restaient sains.

SUNDARAN (878), 1949, et NARASIMHASWAMY (678), 1952, ont obtenu l'hybride S 288 qui résiste aux races de rouille infectant les variétés Kent et Coorg.

D'après FINKER, ATKINS et MURPHY (408), 1953, beaucoup de types sauvages de *C. arabica* se sont montrés expérimentalement très résistants à l'*Hemileia*.

SANDERS (809), 1955, résumant les travaux sur la sélection de la station de Lyamungu au Tanganyika, rapporte une intensification de la rouille et d'OLIVEIRA, du centre de recherches pour la rouille de Sacavem (Portugal), a isolé plusieurs races du champignon des caféiers de l'hémisphère Est. Il indique parallèlement que les sélections H 66, KP 423, KP 532 sont immunisées à toutes les races sauf à une, la plus virulente découverte jusqu'ici.

Dans un rapport, X (1138), en 1958, indique que les recherches faites au Kenya montraient que les attaques de rouille sur un groupe de sélection K 7 étaient dues à la ségrégation des types sensibles. Un autre groupe était attaqué par la race I d'OLIVEIRA. Les observations dans les champs font penser que quoique cette race soit une menace grave pour les basses régions de Nyanga, K 7 reste encore moins affectée par la rouille que les autres variétés. Sa sensibilité à la race I semble varier avec le climat.

FERNIE (401), 1961, au Tanganyika, indique que l'examen, au centre de recherches sur la rouille du caféier au Portugal, du matériel provenant de la série N des sélections d'Arabica produites à la station de Lyamungu montrait que cette série manifeste la réaction typique des Bourbon à l'*H. vastatrix* et est sensible aux races I et II.

L'emploi de N 39 dans un programme limité de sélection résultait en quelques hybrides, comprenant N 39, XVC 496, qui révélaient une vigueur d'hybride et une haute résistance à la rouille donnant de belles plantations pendant la première des trois années de récolte.

HANGER (456), 1961, au Kenya, indique que bien que quelques variétés indiennes de caféier

soient connues pour être immunisées contre les races I et II d'*H. vastatrix*, elles ne peuvent être recommandées pour être plantées commercialement avant que l'on ne soit plus informé sur leur valeur.

ORILLO et VALDEZ (702), 1961, aux Philippines, indiquent qu'à la station expérimentale de Los Baños Laguna, des graines de *Coffea* spp. des variétés de la collection mondiale du département de l'agriculture des Etats-Unis à Beltsville et d'autres origines, ont été plantées et expérimentées pour leur résistance à l'*H. vastatrix*. D'après les essais d'inoculations artificielles, les résultats étaient :

De treize sélections résistantes d'Arabica, neuf venaient de l'Afrique : K 7, H 66, KP 228, H 1, KP 423, F 840, KP 263, Geisha ; les autres : S 333, S 446 et S 795, de l'Inde.

Des inoculations des descendance montraient que le caractère résistance était dominant. L'hétérozygotie était détectée. Les descendance de *C. arabica* × *C. dewevrei* du Brésil et le Rauvisari B (*C. arabica* × *C. liberica*) de Java étaient très résistants par comparaison avec les espèces comprenant *C. eugenioides*, *C. stenophylla*, *C. canephora* et *C. liberica*, mais on ne trouvait aucune résistance sur l'Arabica local et dans les collections d'Amérique centrale. On voit souvent en culture des Robusta et Excelsa, variétés très sensibles.

FERNIE (402), 1962, indique que les descendance F 1 provenant des croisements d'une sélection Geisha (UC 496) et des sélections de caféiers Kent, Bourbon et Amphilo (H 66, KP 423, N 39 et CC 541) montrent une résistance marquée dans les champs à la rouille des feuilles (*H. vastatrix*), au Tanganyika, et ont un haut rendement résultant de la vigueur de l'hybride.

HANGER (457), 1962, au Kenya, mentionne que dans les essais sur la rouille des feuilles, les variétés de caféier S 288, S 333 et S 795 de la station de Balehonnur en Inde montraient une immunité continue aux races I et II d'*H. vastatrix*, mais leur qualité gustative est très faible et les rendements bas. SL 28 et SL 34 sont les meilleures variétés sur lesquelles la rouille des feuilles et la maladie des cerises, *Glomerella cingulata*, sont peu importantes. Lorsque la race II d'*H. vastatrix* est présente, SL et K 7 ne sont pas atteints.

ORILLO et VALDEZ (703), 1963, indiquent que sur les 240 sélections de caféier, pour la plupart des *C. arabica*, introduites aux Philippines depuis 1954, et sur les quelques variétés locales expérimentées à la station de Los Baños Laguna, toutes les sélections d'Amérique centrale ainsi que les sélections locales de *C. arabica* se sont révélées sensibles à l'*H. vastatrix*, tandis que les huit sélections africaines et les quatre indiennes étaient très résistantes.

Le clone indien S 288 plus résistant à la sécheresse

que les clones africains, avait une descendance entièrement résistante. L'hybride brésilien 387 (*C. arabica* × *C. dewevrei*) était aussi résistant que le Japonais Kouvisart B (*C. arabica* × *C. liberica*).

FIRMAN et HANGER (410), 1963, indiquent que les essais sur la résistance à la rouille sont largement répandus au Kenya et ils les décrivent avec un tableau des variétés expérimentées, la race de la rouille qui les attaque et le degré de ségrégation par la résistance à la rouille. Ils notent les rendements des principales variétés résistantes K 7, KP 532, S 333, S 795 et S 288 en 1960 et 1961.

NARASIMHASWAMY, NAMBIAR et SREENIVASAN (679) 1963, donnent quelques résultats du programme pour améliorer la vigueur et la résistance à l'*H. vastatrix* et ils espèrent obtenir des variétés résistantes aux quatre races du champignon rencontrées en Inde ; celles-ci seront inestimables si les races III et IV pour lesquelles la variété S 795 est sensible (bien que résistante aux races I et II) gagnent de l'importance.

BRANQUINHO d'OLIVEIRA (700), 1965, donne des détails sur *H. vastatrix* et sur les nouvelles variétés de caféiers ainsi que sur la distribution géographique de vingt et une races physiologiques d'*H. vastatrix*. Les nouveaux caféiers sont classés selon la réaction aux races de rouille, en onze groupes d'Arabica pur ou hybride, six d'autres espèces et un groupe d'Arabica et autres espèces complètement résistants.

NORONHA-WAGNER et BETTENCOURT (687), 1967, indiquent que les réactions de cinq clones différents à douze races physiologiques d'*H. vastatrix* permirent à quatre différents facteurs d'être distingués sur *C. arabica*. L'existence de quatre races supplémentaires, jusqu'à maintenant inconnues, est prévue. Ces résultats fournissent la base d'un programme de reproduction pour améliorer la résistance à la rouille du caféier.

SREENIVASAN (841), 1968, en Inde, indique que les résultats d'essais de protection contre les races physiologiques d'*H. vastatrix* montrent que S 795 était prédisposée à la race VIII ; S 755 croisée avec Cioccie, Agaro, Dilla et Alghe montraient une résistance aux races I et XXIII. L'hybride de Timor était résistant à toutes les races.

SREENIVASAN et CHINAPPA (842), en 1968, signalent aux Indes l'existence d'une nouvelle race d'*H. vastatrix*, la race XXIV comparable, au point de vue réaction, à la race I.

En République Centrafricaine, quatre races d'*H. vastatrix* ont été identifiées en 1960 par le centre de recherches pour la rouille à Sacavem (Portugal) sur *C. robusta* : ce sont les races II et IV, et deux sur *Coffea dewevrei* var. *excelsa* : les races IV et XIX ; il est probable que d'autres races

ont été créées depuis 1960, plus virulentes que les précédentes. Parmi les quarante-six clones d'élite de *C. robusta* sélectionnés pour leur productivité par les tests de résistance effectués en 1966 et 1967, neuf seulement se sont révélés résistants à l'*H. vastatrix*, ce sont : VII-35, VII-91, VII-138, XX-35, XX-141, XX-682, XX-638, VII-135 et A-495 ; de nouveaux essais seront entrepris en 1970 pour vérifier à nouveau leur comportement.

Lutte biologique *

Les urédospores d'*Hemileia vastatrix* sont souvent parasitées par trois hyperparasites : le mycélium de ces derniers, pénétrant ou non dans le protoplasme, provoque la plasmolyse des urédospores et en cause la mort.

Les hyperparasites connus jusqu'à ce jour sur cette Urédinale hemileiacée sont par ordre de fréquence :

— *Verticillium hemileiae* BOURIQUET (196), observé et décrit pour la première fois à Madagascar en 1946 comme parasite des urédospores d'*Hemileia vastatrix* sur feuilles de *Coffea arabica* et *robusta*.

— *Cladosporium hemileiae* STEYAERT (859), observé et décrit pour la première fois au Congo Kinshasa, en 1933, comme parasite des urédospores d'*Hemileia vastatrix* sur feuilles de *Coffea robusta*.

— *Paranectria hemileiae* HANSFORD (460), observé et décrit pour la première fois en 1941 en Ouganda, comme parasite des sores et urédospores d'*H. vastatrix* des feuilles du *Coffea arabica*.

Parmi ces trois hyperparasites, *Verticillium hemileiae* semble être le plus fréquent et le plus répandu comme parasite des urédospores d'*Hemileia vastatrix*. Il a été signalé par plusieurs auteurs dans différents pays où la culture du caféier est pratiquée, et en particulier par BOURIQUET à Madagascar, en 1946, sur feuilles des *Coffea arabica* et *robusta* ; le même auteur signale qu'il a observé également le même champignon à la Réunion et il pense qu'il existerait à Java et aux Indes ; au Congo Kinshasa, par HENDRICKX (469), en 1939, comme parasite des lésions de rouille des feuilles de *C. arabica* au Kivu ; par BUGNICOURT, COHIC et DADANT (213), en 1951, en Nouvelle-Calédonie, sur feuilles des *Coffea arabica* et *robusta*, puis dans la même île par DADANT (325), en 1954, qui pense que cet hyperparasite ne semble pas avoir une influence notable sur l'évolution de la rouille sur les caféiers de l'île ; par ROGER (791), en 1951, qui signale sa présence au Tonkin dans les moyennes régions pendant les automnes frais et humides et indique que des *Verticillium* ont été signalés dans

* (fig. 24-A et 25-A, planche II p. 25 ; fig. 24-B, C et 25-B).

divers pays et notamment aux Indes et à Java ; par MEIFFREN (643), en 1955, et CHEVAUGEON (268), en 1956, en Côte d'Ivoire, sur différentes espèces de *Coffea* ; par NARASIMHASWAMY (680), en 1965, aux Indes, qui signale la présence des hyperparasites de l'*Hemileia* sur feuilles de *Coffea arabica* ; par d'OLIVEIRA (700), en 1965, au Portugal, qui indique qu'une grande série de rouilles a été infectée par *Verticillium hemileiae* ; et en 1966, en Ethiopie, par FERNIE (403), qui avait signalé la présence du *Verticillium* sur feuilles de *Coffea arabica* en 1944.

LEAL et VILLANUEVA (539 bis), 1962, en Espagne, indiquent qu'un *Verticillium* isolé sur café, arrêta le développement du champignon par sécrétions extra-cellulaires sur milieu agar. L'agent lytique dans les filtrats de cultures était actif « *in vitro* » contre les spores de *Puccinia* ; les auteurs pensent qu'il se peut que l'agent lytique soit un enzyme.

ACHA, ISABEL, LEAL et VILLANUEVA (2 bis), 1965, en Espagne, indiquent que dans les études de quarante souches isolées de *Verticillium* spp., seules trois de *Verticillium hemileiae*, saprophyte souvent associé à l'*H. vastatrix* sur les feuilles des caféiers, montraient une activité lytique contre *Puccinia* et autres rouilles. Les tubes germinatifs des urédospores étaient lysés, par les cultures et par les filtrats des cultures, peut-être par l'activité d'un enzyme. Les auteurs pensent que *Verticillium hemileiae* peut aussi être utile pour le contrôle des infections par les rouilles.

Le *Cladosporium hemileiae* STEYAERT semble être moins répandu et il a été très peu signalé comme parasite des urédospores d'*Hemileia vastatrix* de même que *Paranectria hemileiae* HANSFORD.

Ces trois hyperparasites, et en particulier *Verticillium hemileiae*, sont très répandus dans les plantations de caféiers de la République Centrafricaine sur les feuilles des caféiers atteints par l'*Hemileia vastatrix*. *V. hemileiae* constitue un parasite sérieux se développant sur les taches urédosporées de cette rouille, parasitant les urédospores dont le contenu protoplasmique est lysé, provoquant leur mort. Les sores sont couverts d'une couche blanche d'aspect poudreux, formée par le mycélium et les fructifications du champignon. Ce parasite entrave le développement du champignon sur les feuilles et réduit sensiblement son potentiel d'infection. Des comptages effectués à plusieurs reprises sur feuilles atteintes par cette rouille ont révélé que plus de 80 % des urédospores étaient parasitées par cette Moniliacée. Les taches parasitées évoluent moins rapidement que celles non parasitées et les nécroses produites sur les limbes des feuilles par le mycélium interne de

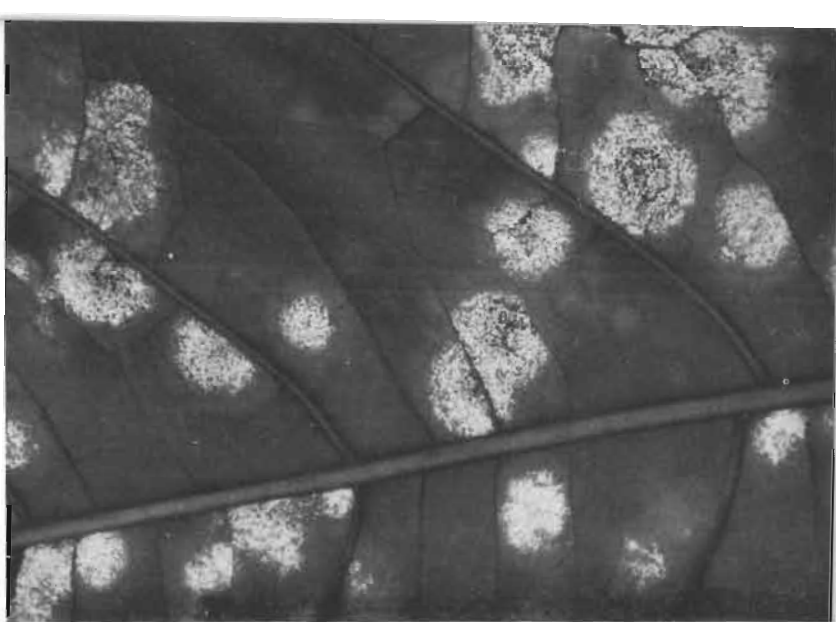


Fig. 24 - B

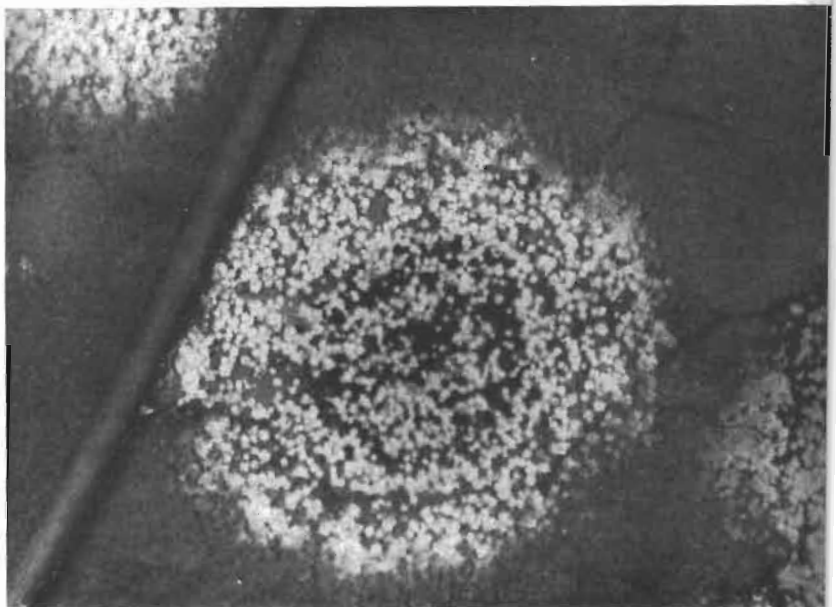


Fig. 24 - C

Fig. 24. — Taches urédosporées d'*Hemileia vastatrix* fortement parasitées par *Verticillium hemileiae* Bour.

B : Fragment de feuille de *C. robusta* montrant de nombreuses taches urédosporées parasitées par *Verticillium hemileiae*

C : Une tache urédosporée fortement grossie couverte par le mycélium et les fructifications du *Verticillium*

(Cl. Boulard)

l'*Hemileia* s'étendent moins rapidement que celles provoquées par les sores non parasités.

En outre, dans des essais de germination des urédospores placées en goutte pendant 18 h à 24 °C, prélevées sur des urédosores parasités, la germination ne dépassait pas 15 à 34 % et seules les urédospores non parasitées, ni lysées germaient.

Les résultats de ces essais permettent de constater que la mortalité des urédospores prélevées sur des sores parasités par *V. hemileiae* est très élevée, ce qui permet de penser que cet hyperparasite réduit très sensiblement le potentiel infectant de la rouille pendant les périodes où il se développe et se généralise. Ceci permet d'expliquer la grande variabilité qu'on observe pendant certaines années quant à l'intensité des attaques de la rouille sur les caféiers Robusta, cette intensité étant certainement liée, d'une part, aux conditions climatiques et, d'autre part, à l'intensité du parasitisme du *Verticillium hemileiae*.

Le *Cladosporium hemileiae* sévit également en République Centrafricaine, dans les plantations de *C. robusta*, dont les feuilles sont atteintes par la rouille ; c'est là que nous l'avons observé pour la première fois en 1957. Cet hyperparasite couvre la surface des sores d'un feutrage brun olivacé à noir, d'aspect poudreux, formé du mycélium superficiel et des conidiophores dressés verticalement. Cependant, cette Dématinée hyperparasite est moins fréquente que le *Verticillium* et d'après les contrôles effectués sur les feuilles atteintes par la rouille, on trouve en général 30 à 50 % des sores parasités par le *Cladosporium* tandis que ceux parasités par le *Verticillium* varient de 60 à 80 %.

Les hyphes du *Cladosporium hemileiae*, très abondantes, couvrent la surface des sores et se fixent sur les urédospores par des pseudopodes ; elles pénètrent rarement dans le protoplasme.

Dans des essais de germination effectués en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem avec des urédospores prélevées sur des sores parasités par ce champignon, placées dans des conditions de température favorables (24 °C), le pourcentage obtenu au bout de 18 h était faible et variait suivant les proportions de 22 à 45 %, tandis que le pourcentage de germination des urédospores prélevées sur des sores non contaminés était de 75 à 88 %. Bien qu'en général le mycélium de cet hyperparasite ne pénètre pas dans le protoplasme des urédospores, nous avons constaté dans les essais de germination la présence d'hyphes dans certaines urédospores vidées de leur contenu protoplasmique, mais le nombre était réduit et ne dépassait pas 7 à 15 % des urédospores. Le plus souvent, comme nous l'avons indiqué plus haut, le mycélium se fixe sur les urédospores par des pseudopodes et les urédospores affectées sont tuées. Il est probable que le champignon secrète des toxines qui provoquent la plasmolyse des urédospores parasités.

Cet hyperparasite a été trouvé sur feuilles parasitées par l'*H. vastatrix* des *Coffea robusta*, *canephora* var. de la Nana et *arabica*, mais jamais sur feuilles de *Coffea dewewrei* var. *excelsa* dont les urédospores sont uniquement parasités par *Paranectria hemileiae* HANSFORD. Ce dernier hyperparasite qui pénètre dans les urédospores en provoquant leur mort n'est ni très répandu, ni très fréquent, et dans la littérature concernant les hyperparasites d'*H. vastatrix*, il est très peu cité. En République Centrafricaine, on l'observe très souvent sur les feuilles de *C. excelsa* atteintes par *H. vastatrix*, mais il n'a jamais été observé sur les feuilles des autres espèces et variétés de *Coffea* ; par contre, il constitue le seul hyperparasite d'*Hemileia coffeicola* qui s'attaque aux feuilles de *C. robusta*, *C. arabica* et *C. canephora* var. de la Nana.

Sur feuilles de *Coffea excelsa*, *Paranectria hemileiae* constitue un parasite important des urédospores. Le pourcentage de mortalité dans les sores parasités par cette Nectriacée varie, d'après les essais de germination, de 40 à 50 % et parfois jusqu'à 80 %.

Certains auteurs, et en particulier BOURIQUET (196) et DADANT (325), pensent que *Verticillium hemileiae*, bien que fréquent sur feuilles des caféiers, ne semble pas avoir une influence notable sur l'évolution de la rouille. En Afrique équatoriale, par contre, ces trois hyperparasites sont très répandus sur les feuilles atteintes par la rouille et jouent un rôle important sur l'évolution et la propagation de la maladie. La destruction de plus de 50 % des urédospores réduit très sensiblement le potentiel infectant en diminuant de ce fait l'intensité des attaques. Ces hyperparasites constituent des auxiliaires précieux pour la lutte biologique.

Fig. 25. — Taches urédosporées d'*Hemileia vastatrix* parasitées par *Cladosporium hemileiae* Stey.

B : Taches d'urédospores envahies par *Cladosporium*

(Cl. Boulard)



RÉSUMÉ

La rouille des caféiers, due à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., sévit sur toutes les espèces cultivées de caféiers et en particulier sur *C. arabica*.

Elle s'attaque également aux *Coffea robusta*, *liberica*, *abeokutae*, *congensis* et *dewevrei* var. *excelsa*, et plusieurs auteurs signalent de fortes attaques dans certains pays, en particulier sur *C. robusta*, *liberica* et *C. dewevrei* var. *excelsa*. RODRIGUES, en 1956, indique parallèlement que toutes les espèces de *Coffea* sont attaquées par *H. vastatrix* et leurs réactions sont plus ou moins intenses. En République Centrafricaine elle a été observée pour la première fois en 1949 sur *C. robusta dewevrei* var. *excelsa*, *canephora* et *arabica*. Depuis son apparition à Ceylan, en 1868, ce parasite a pris une extension considérable et très rapidement a envahi tous les pays du continent asiatique, l'Océanie, Madagascar et depuis le début du siècle, le continent africain. Depuis le mois de janvier 1970, il a fait son apparition au Brésil dans l'Etat de Bahia. Jusqu'à présent, les seuls pays épargnés par cette redoutable maladie sont le territoire de l'Angola, les îles du Cap-Vert, la Guinée Portugaise, l'Australie, les îles Hawaii et les pays de l'Amérique Centrale et du Sud, sauf le Brésil.

La présence de l'*H. vastatrix* dans les plantations de *Coffea robusta* et *excelsa* en République Centrafricaine, et surtout l'intensification de ses attaques, nous a incité à entreprendre une étude complète, morphologique, biologique et expérimentale, dont nous donnons ci-dessous un résumé et les conclusions des résultats obtenus.

Hemileia vastatrix a été décrit pour la première fois par BERKELEY et BROOME en 1869, sur feuilles de *Coffea arabica* provenant de Ceylan ; depuis il a été étudié et décrit par de nombreux auteurs dans tous les pays où la maladie sévit.

L'origine d'*Hemileia vastatrix* des caféiers n'a jamais été exactement connue ; son apparition brusque à Ceylan, puis son extension rapide dans les continents asiatique et africain, à Madagascar, en Océanie et dans les îles de Polynésie sont demeurées et demeurent encore aujourd'hui inexplicables. De nombreux auteurs ont essayé de découvrir son origine en relatant des observations et en émettant des hypothèses suivant certaines données, mais rien n'a prouvé jusqu'ici son origine exacte. On admet généralement aujourd'hui qu'*H.*

vastatrix est originaire du Centre et de l'Est africains, pays d'origine du *C. arabica*.

Les symptômes de la maladie ont été décrits en détail aussi bien sur les feuilles de *Coffea robusta* que sur celles de *C. excelsa*. On observe des différences assez marquées dans l'aspect des taches urédosporées sur les feuilles de ces deux espèces.

Sur celles de *Coffea robusta*, les premières taches jaunâtres à peine formées ne sont visibles que sur la face inférieure du limbe. Sur les taches âgées, il y a presque toujours une tache nécrotique brunâtre qui se forme au centre de la tache urédosporée, entourée d'une couronne jaune d'or qui correspond aux fructifications du champignon qui se forment sur le tissu encore vivant. Les taches nécrotiques, suivant la sensibilité du caféier, peuvent atteindre de grandes dimensions et provoquer la chute des feuilles.

Par contre, sur les feuilles de *Coffea excelsa*, les premières taches jaunâtres à peine formées sont visibles sur les deux faces du limbe. Les urédosores, en s'agrandissant, peuvent devenir confluent et occuper une grande surface du limbe, tandis que la face supérieure du limbe prend une coloration jaune d'or bien caractéristique, de mêmes dimensions et forme que les taches urédosporées de la face inférieure, sans qu'il y ait formation de taches nécrotiques des tissus envahis. On n'observe des nécroses du limbe sur les feuilles de cette espèce que dans le cas où les attaques sont très intenses et sur les variétés très sensibles. La chute des feuilles se produit lorsque les trois quarts ou la totalité de la surface du limbe devient jaune d'or. Il est à noter aussi des différences dans la coloration des urédosores. Sur feuilles de *C. robusta*, la coloration jaune d'or est plus fréquente que la coloration jaune clair, tandis que sur *C. excelsa* les urédosores sont le plus souvent de coloration jaune clair.

Les caractères microscopiques du champignon ont été étudiés sur les feuilles de deux espèces.

Les coupes transversales mettent en évidence la présence du mycélium toujours intercellulaire, continu ou peu cloisonné, incolore, à contour irrégulier atteignant 5 à 8 μ de diamètre, dont le protoplasme renferme de nombreuses gouttelettes lipidiques jaune d'or (lipochromes). Toujours intercellulaire, il envoie à l'intérieur des cellules

un à deux suçoirs sphériques, ovales, réniformes ou parfois à contour irrégulier, en perçant leur membrane au moyen d'un pédicelle filiforme qui relie le mycélium aux suçoirs ; les dimensions de ces derniers varient de 5 à 7×4 à 5μ .

Sur les feuilles de *C. robusta*, le mycélium envahit progressivement toute l'épaisseur du tissu lacuneux et sur les taches âgées celui du tissu palissadique, en partie ; son expansion dans les tissus varie suivant le degré de leur sensibilité.

Sur feuilles de *C. excelsa*, quel que soit leur degré de sensibilité, le mycélium évoluant rapidement envahit toujours les tissus lacuneux et palissadique jusqu'au niveau de la cuticule, en s'insinuant entre les cellules par clivage dans le tissu.

Les hyphes mycéliennes se rassemblent en masses pelotonnées très denses dans les chambres sous-stomatiques et envoient par les stomates de nombreux stérigmates en bouquets (10 à 40 environ), aux extrémités desquels naissent les urédospores. Plus nombreux sur *C. excelsa* que sur *C. robusta*, ils mesurent $25-60 \times 2-3 \mu$. Elles sont légèrement enflées à leurs extrémités. Les urédospores, au début de leur formation, se présentent sous forme de petits renflements hyalins, sphériques à ovoïdes, à membrane lisse, qui s'allongent par la suite en devenant fortement arqués, séparés des stérigmates par une cloison transversale qui persiste jusqu'à leur maturité et la séparation des urédospores mûres se fait par gélicification de la cloison.

Toujours unicellulaires, les urédospores sont percées de plusieurs pores germinatifs, généralement quatre à cinq, difficilement perceptibles. Leur forme est très variable suivant la position qu'elles occupent dans les urédosores où elles sont généralement très serrées et comprimées les unes contre les autres ; elles sont tronç-pyramidales, piriformes, triangulaires droites ou légèrement courbes, parfois réniformes ou en tranches d'orange. Leurs parois latérales en contact avec les spores voisines restent lisses et planes, tandis que leurs parties libres sont convexes et ornées de petites verrucosités aiguës à tronquées droites de $3-4 \mu$ de long, très denses, mais irrégulièrement réparties ; la limite séparant les parties lisses et ornées est marquée par une bande d'aiguillons plus serrés et souvent contigus.

Leurs dimensions sont variables ; les mesures biométriques effectuées sur 1.000 urédospores prélevées sur feuilles de *C. robusta*, *C. excelsa*, *C. arabica* et *C. canephora* var. de la Nana donnèrent les résultats ci-dessous :

<i>Coffea robusta</i> :	Moyenne	$35,7 \times 21,2 \mu$
<i>Coffea excelsa</i> :	—	$31,5 \times 22,7 \mu$
<i>Coffea arabica</i> :	—	$30,2 \times 22,5 \mu$
<i>Coffea canephora</i> var. de la Nana :	—	$30,5 \times 22 \mu$

Il existe peu d'écart entre les dimensions des urédospores permettant de différencier les races ou les formes morphologiques d'*H. vastatrix* qui sévissent en République Centrafricaine.

Les téléospores sont plus rares que les urédospores, mais fréquentes sur taches âgées de *C. robusta*, *C. arabica*, *C. excelsa* et *C. canephora* var. de la Nana et s'observent généralement de novembre à mai ; exceptionnellement, durant la période des grosses pluies de juin à octobre.

Leurs dimensions sont variables ; sur 50 téléospores mesurées, les dimensions sont :

sur feuilles de <i>C. robusta</i> :	$17-24 \times 16-25 \mu$
— — <i>C. excelsa</i> :	$18-29 \times 15-26 \mu$
— — <i>C. arabica</i> :	$15-23 \times 17-25 \mu$

Les téléospores, en présence des conditions favorables d'humidité et de température, peuvent germer sur la surface des feuilles et également en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem. Elles émettent un tube cylindrique de dimensions limitées, le promycélium ou baside, dans lequel le protoplasme et les globules graisseuses de la téléospore émigrent. Leurs dimensions varient de $55-60 \times 10-12 \mu$; celles germées au contact de l'eau peuvent atteindre 100 à 150 μ de long. A maturité, elles portent trois cloisons transversales les divisant en quatre cellules ; la cellule terminale s'amincit progressivement vers le sommet pour donner une basidiospore portée sur un stérigmate grêle. Trois autres basidiospores naissent à proximité de chaque cloison transversale, portées à l'extrémité d'un filament grêle. Les basidiospores sont petites, hyalines, ovales, mesurant 5 à 6×4 à 5μ , pouvant parfois atteindre 10 à 15×8 à 10μ . Elles germent au contact des fines gouttelettes d'eau donnant naissance à un filament incolore grêle, pouvant atteindre 15 à 20 μ de long.

La biologie d'*Hemileia vastatrix* et en particulier l'action de la température, de l'humidité et de la lumière sur la germination des urédospores ont été étudiées « *in vitro* » au laboratoire.

L'aspect morphologique de la germination des urédospores a été étudié en plaçant les spores en goutte pendante d'eau stérile et au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre, soumises à une température de 24 °C et contrôlées au bout de trois, six, douze, dix-huit et vingt-quatre heures. A la température de 24 °C, la germination se déclenche au bout de trois à quatre heures (10 à 15 %) et à six heures elle atteint 60 à 85 %. Chaque urédospore émet le plus souvent un tube germinatif, moins souvent deux et rarement trois. Ils prennent naissance, suivant la forme des urédospores, sur les parties anguleuses ou aux extrémités quand elles sont réniformes, rarement à n'importe quel

point de la spore. La germination débute par l'apparition d'une petite protubérance cylindrique, incolore, entourée d'une membrane mince qui fait saillie à travers l'exospore déchirée, évoluant rapidement en un tube cylindrique. Ce tube prend naissance à partir de la membrane interne, tandis que l'exospore se déchire à cet endroit en s'aminissant. Les tubes sont cylindriques, continus et leur protoplasme porte de nombreuses gouttelettes lipidiques de coloration jaune d'or. Ils atteignent au bout de trois à quatre heures, 14 à 140 μ de long sur 6 à 8 μ de large et au bout de douze heures, ils atteignent 85-250 μ de long en se ramifiant le long de leur parcours et leur contour devient irrégulier. Au bout de dix-huit à vingt-quatre heures, ils mesurent 120 à 450 μ de long et les ramifications d'ordre secondaire et tertiaire se forment sur leur parcours. Souvent on observe sur les extrémités des tubes germinatifs ou de leurs ramifications, la formation d'appressoria en nombre réduit, claviformes à ovoïdes, de coloration brunâtre, à parois épaisses et à protoplasme dense mesurant 15 à 18 \times 8 à 14 μ .

L'action de la température sur la germination des conidies placées en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem et au contact de fines gouttelettes d'eau sur lames de verre a été étudiée ; les résultats obtenus se résument comme suit :

Les urédospores d'*H. vastatrix* placées en suspension en goutte pendante ainsi qu'au contact de fines gouttelettes d'eau germent à des températures de 20 à 28 °C. La vitesse de leur germination ainsi que la croissance des tubes germinatifs varient en fonction de la température.

En fonction du temps, les températures les plus favorables se situent entre 20 et 25 °C, mais le maximum de germination au bout de six heures s'observe à 23 et 24 °C, atteignant respectivement en goutte pendante 58 et 62 %, et au contact des fines gouttelettes d'eau 87 et 83 %, alors qu'au bout de trois heures le pourcentage de germination atteint respectivement dans le premier cas 31 et 28 % et dans le second 47 et 41 %.

En prenant en considération le pourcentage de germination, les températures de 23° et 24 °C sont les plus favorables ; la germination paraît normale et les tubes germinatifs trapus se développent normalement. La température de 22 °C est presque aussi favorable et il y a peu de différences dans le pourcentage de germination, la longueur et la vigueur des tubes germinatifs.

On peut considérer que les températures de 22 à 24 °C sont les plus favorables pour la germination dans les conditions de ces essais.

En fonction de la longueur des tubes germinatifs (graph. II, p. 47), la température la plus favorable serait 25 °C, mais la germination paraît anormale et à partir de douze heures la croissance des tubes s'arrête.

A 20 °C le pourcentage de germination au bout de trois heures ne dépasse pas 4 % en goutte pendante et 11 % au contact de fines gouttelettes d'eau ; au bout de six heures, 14 % dans le premier cas et 31 % dans le second ; mais au bout de douze heures, la germination atteint respectivement 51 et 88 %.

A 25 °C le pourcentage de germination est plus élevé au bout de trois et six heures, mais à partir de douze heures la germination s'arrête et la croissance des tubes germinatifs est très lente.

A 30°, 35° et 40 °C, la germination est nulle au bout de trois, six et douze heures.

A 35 °C les urédospores sont tuées dans un pourcentage de 60 à 45 au bout de dix-huit heures et au bout de vingt-quatre heures aucune germination n'a été observée en plaçant les préparations dans l'étuve à 23 °C.

A 40 °C elles sont tuées au bout de douze heures en goutte pendante et au bout de seize heures au contact de fines gouttelettes d'eau.

L'action de l'humidité sur la germination des urédospores a été également étudiée. Les essais ont montré que :

A une température optimum, la germination des urédospores est d'autant plus rapide qu'elles sont au contact de fines gouttelettes d'eau. Au contact de très fines gouttelettes, le pourcentage de germination est beaucoup plus élevé au bout de trois heures : 49 %, qu'en goutte pendante dans les cellules de Van Tieghem : 19 % ; au bout de six heures il atteint 88 % dans le premier cas et 62 % dans le second. Ces résultats apparaissent dans tous les essais. En outre nous avons constaté qu'en goutte pendante la croissance des tubes germinatifs est lente, tandis qu'au contact de fines gouttelettes d'eau la longueur des tubes germinatifs est presque le double de celle des urédospores ayant germé dans une goutte pendante.

En atmosphère saturée de vapeur d'eau, la germination se produit également, mais elle est très lente et elle ne se déclenche qu'au bout de douze heures à un pourcentage de 10 à 15 %, et au bout de vingt-quatre heures elle ne dépasse pas 37 % et les tubes germinatifs restent courts et ne dépassent pas 40 μ de long.

En atmosphère d'humidité relative de 95 %, aucune germination n'a été obtenue au bout de vingt-quatre heures, de même que dans les préparations soumises aux degrés hygrométriques de 92, 86,3 et 63,3.

L'action de la lumière sur la germination des urédospores a été également étudiée aussi bien au laboratoire « *in vitro* » que dans les essais de contamination des fragments de disques flottants de feuilles, que sur plantules contaminées artificiellement. Ces essais ont montré que :

Les urédospores placées dans les conditions optimales de température et d'humidité ne germent pas en présence de la lumière qui a une action inhibitrice sur la germination. Par contre l'obscurité a une action favorable sur leur germination.

Les urédospores, dans les mêmes conditions d'humidité et de température, placées alternativement à l'action de l'obscurité et de la lumière, germent seulement à l'obscurité et l'action de la lumière non seulement arrête la germination, mais inhibe la croissance des tubes germinatifs des urédospores germées.

Les mêmes résultats ont été obtenus lors des **essais d'inoculations artificielles** des plantules des clones de *C. robusta* ainsi que lors des essais sur disques de feuilles flottant dans des boîtes de Pétri. Ces résultats confirment ceux obtenus par les différents auteurs, et en particulier par MAYNE, RAYNER, NUTMAN et ROBERTS, et HOCKING.

Les essais de contaminations artificielles effectués sur disques de feuilles flottant dans des boîtes de Pétri et sur des clones de *Coffea robusta* en vue de déterminer le degré de leur résistance à l'égard de l'*H. vastatrix*, permirent d'étudier le processus d'infection, la durée d'incubation du parasite ainsi que l'apparition des premières taches urédosporées. Ces essais réalisés dans des conditions de température et d'humidité déterminées permirent de tirer les conclusions qui se résument comme suit :

La germination des urédospores à la surface des fragments de feuilles flottant dans des boîtes de Pétri, au contact de fines gouttelettes d'eau, commence au bout de trois à quatre heures (15 à 35 %) et atteint son maximum au bout de six à huit heures (50 à 85 %) à 24 °C.

Parmi les urédospores germées, un faible pourcentage (15 à 35 %) forme des appressoria pouvant pénétrer dans les ostioles des stomates et provoquer des infections. Le restant des urédospores germées donne un mycélium non cloisonné et ramifié, qui peut atteindre jusqu'à 600 μ de long, circulant sur la surface de la cuticule.

Dans les conditions des expériences, les premières infections s'observent au bout de six à huit heures (10 à 15 %) et le maximum au bout de douze à quatorze heures (20 à 30 % des conidies germées).

La germination des urédospores n'est jamais totale et un faible pourcentage (10 à 15 %) ne germe pas ; il s'agit probablement d'urédospores âgées ayant perdu leur pouvoir germinatif ou parasitées par les hyperparasites *Verticillium* et *Cladosporium hemileiae*.

Dans tous les cas, l'infection se produit uniquement par les stomates et jamais directement par la cuticule, l'hyphe d'infection issue d'un appressorium étant incapable de percer directement la cuticule des feuilles.

L'hyphe primaire d'infection ayant franchi

l'ostiole, gagne la chambre sous-stomatique où elle se ramifie abondamment ; elle devient nettement visible douze à quatorze heures après l'inoculation.

Les hyphes mycéliennes incolores et peu ou pas cloisonnées, à contour irrégulier et mesurant suivant leur position 6 à 8,5 μ de diamètre, sont toujours intercellulaires. Dans leur parcours, elles envoient dans les cellules des filaments grêles qui percent les parois des cellules pour donner naissance à des suçoirs de forme ovale, arrondie ou réniforme, mesurant 7 à 9 \times 5 à 8 μ .

L'envahissement des tissus lacuneux par le mycélium du champignon est progressif et ne se produit qu'au bout de six à huit jours ; celui du tissu en palissade au bout de huit à douze jours.

La période d'incubation du champignon qui se manifeste par l'apparition de toutes petites taches décolorées à légèrement jaunâtres, visibles à la face inférieure, varie de dix-huit à vingt-quatre jours et la sporulation se produit huit à douze jours après.

Les tests de résistance de quarante-six clones d'élite effectués en 1956 et 1957 par la méthode des inoculations artificielles effectuées dans des conditions de température et d'humidité déterminées et en l'absence de lumière donnèrent les résultats suivants :

Clones résistants ou tolérants : 9, soit 19,56 % des clones mis à l'épreuve

Clones sensibles : 14, soit 30,44 % des clones mis à l'épreuve

Clones très sensibles : 23, soit 50 % des clones mis à l'épreuve.

La durée d'incubation était variable suivant l'âge des feuilles et le degré de sensibilité des clones. Dans l'ensemble, la durée d'incubation est plus courte sur les très jeunes feuilles que sur celles ayant acquis leur développement normal. Sur les premières, elle varie de seize à dix-huit jours suivant la sensibilité des clones. Sur les clones sensibles, elle varie de seize à dix-huit jours, tandis que sur les feuilles des clones peu sensibles, les premières taches jaunâtres apparaissent au bout de vingt à vingt-deux jours. Sur les feuilles ayant acquis leur croissance normale, mais encore jeunes, la durée d'incubation varie de vingt-quatre à vingt-six jours, suivant la sensibilité des clones, tandis que sur les feuilles âgées la durée est plus longue et varie suivant la sensibilité des clones de vingt-huit à trente et un jours.

Quant à l'évolution des taches et à la formation des urédospores, elle est plus rapide sur les très jeunes feuilles (20 à 22 jours) que sur les feuilles développées et encore jeunes (25 à 28 jours), tandis que sur les feuilles âgées elles apparaissent au bout de trente à trente-cinq jours.

Le cycle de reproduction d'*Hemileia vastatrix* a fait l'objet de nombreuses études. Plusieurs auteurs pensent qu'il s'agit d'une espèce hétéroïque, mais la plante hôte sur laquelle se forment l'écidie et les spermogonies n'est pas encore connue, et si elle existe, cette plante sera d'une autre famille que celle des Rubiacées.

Seules les urédospores qui persistent sur les urédosores des feuilles pendant la saison sèche, ainsi que le mycélium qui se trouve dans leurs tissus, assurent la pérennité de l'espèce et sa vie prolongée et assurent le cycle de reproduction de la maladie d'une saison à l'autre.

Quant à la dissémination et à la propagation de la maladie, de nombreux travaux et expériences ont été réalisés durant les dix dernières années au Kenya et également aux Indes. D'après les expérimentateurs du Kenya, la pluie constitue le principal facteur de la dispersion des urédospores tandis que le vent ne joue qu'un rôle secondaire et très réduit, propageant la maladie à de faibles distances, intéressant les plants voisins et parfois les plants d'une seule plantation quand le vent suit immédiatement la pluie. Par contre, les expériences faites aux Indes montrent que le vent joue un rôle important, car il est capable de transporter les spores à des distances allant de 180 à 400 m.

En République Centrafricaine où les vents sont souvent violents durant les tornades et les fortes pluies, ils transportent les urédospores à de grandes distances à l'intérieur des grandes plantations, propageant ainsi la maladie. La contamination des feuilles des branches les plus proches du sol se fait également par les éclaboussures qui projettent les spores ainsi que par la pluie frappant les feuilles dont l'écoulement entraîne les spores par l'extrémité à la face inférieure du limbe et c'est pour cette raison qu'on observe des taches de rouille sur les bordures du limbe de la face inférieure.

La dissémination de la maladie à de grandes distances se fait essentiellement par l'homme, en transportant les plants contaminés et à la période d'incubation, qui dure, suivant les espèces de caféier et les conditions climatiques, douze à vingt-cinq jours d'une région à l'autre, ne présentant pas encore les signes extérieurs de la maladie.

Les travaux et observations effectués par les spécialistes dans les différents pays et en particulier au Kenya, en Tanzanie, en Indonésie, aux Indes, en Indochine et ailleurs, montrent que le développement de la rouille des caféiers, son évolution et sa propagation se trouvent sous la dépendance étroite de différents facteurs et en particulier de l'altitude, de l'humidité, de la température, de l'ombrage, de l'éclaircissement et du vent, qui, suivant les conditions, peuvent jouer un rôle sur l'importance du développement et de l'intensité des attaques de ce parasite.

Toutefois, **le rôle de ces facteurs météorologiques et ambiants** est, d'une façon générale, plus complexe et plus nuancé que ne le font supposer les différentes données et observations classiques, car si dans l'ensemble ces facteurs restent dans la plupart des cas valables, il se trouve souvent que suivant les pays ils soient modifiés par une infinité de conditions locales et dans certaines situations spéciales, l'apparition de l'*Hemileia vastatrix* paraît être liée à des conditions de nature inverse à celle des conditions habituelles.

Ainsi donc, en résumant l'influence de tous les facteurs écoclimatiques que nous avons passés en revue, nous pouvons conclure que, comme pour toutes les maladies cryptogamiques, le développement et l'extension de la rouille dépendent de l'action du milieu, à la fois sur l'hôte et sur le parasite. Tous les facteurs ont une influence sur la biologie du parasite et celle de l'hôte. Il est impossible de considérer l'un sans l'autre ; la virulence de la maladie dépend à la fois de l'état de l'hôte et de celui du parasite. Il est de toute évidence que l'action de ces facteurs varie d'un pays à l'autre suivant sa latitude ; l'humidité, par exemple, est le facteur prépondérant dans les régions intertropicales ; par contre, dans les régions tropicales et équatoriales, elle est plutôt défavorable et la température au contraire jouerait un rôle prépondérant. En Inde, par contre, la mousson commande essentiellement la répartition et l'intensité de la maladie dans le temps et dans l'espace ; l'ombrage, en ce qui concerne *C. arabica*, est un facteur prépondérant qui crée un microclimat favorable pour le développement de la plante, et défavorable pour le parasite, quand il est bien étudié, restituant ainsi artificiellement aux caféiers un microclimat se rapprochant de celui de leur pays d'origine.

Les données biologiques sur l'étude de l'*H. vastatrix* mettent en évidence de grandes variations concernant le degré de virulence de la rouille sur les différentes espèces, variétés, lignées, clones et hybrides. Certaines espèces et variétés initialement résistantes se sont révélées par la suite sensibles au parasite et ce phénomène demeurait au début inexplicable, mais des études et recherches effectuées par la suite ont montré que l'*Hemileia vastatrix* possédait des **racés physiologiques et biologiques**. C'est aux Indes que pour la première fois, MAYNE, en 1932, mentionnait la présence de deux races physiologiques sur le *C. arabica* dans le sud de l'Inde. Depuis, les remarquables travaux réalisés par les spécialistes dans les différents pays et en particulier aux Indes à la station de Recherches de Balehonnur, au Kenya aux Stations de Scott de Nairobi et de Ruiru, au Tanganyika à la Station de Lyamungu, aux Philippines à la Station expéri-

mentale de Los Baños et surtout au Centre de Recherches pour la rouille de Sacavem au Portugal ont mis en évidence l'existence de plus de vingt-cinq races physiologiques d'*Hemileia vastatrix* dont le degré de virulence est variable suivant les espèces, variétés et hybrides. Il est probable que d'autres races seront découvertes.

En République Centrafricaine, jusqu'en 1960, deux races physiologiques ont été identifiées sur *Coffea robusta*, les races II et IV, ainsi que deux autres sur *Coffea excelsa*, les races IV et XIX. Il est probable que depuis d'autres races ont été créées.

Les dégâts désastreux que la rouille des caféiers a provoqués à Ceylan à partir de son apparition en 1868, causant la perte de la production pendant les dix premières années qui ont suivi, sont estimés à 350.000.000 de francs. La culture de *C. arabica* étant devenue impossible à la suite de l'intensité des attaques, les planteurs durent supprimer cette culture et la remplacer par le théier et d'autres cultures pérennes.

Des pertes importantes ont été signalées aux Indes méridionales, en particulier en 1880 et 1890, de même que plus tard en 1930-1932 et 1949 des dégâts importants ont été mentionnés par plusieurs auteurs dans le même pays.

Des dégâts considérables ont été signalés en Indonésie, aussi bien sur *C. arabica* que sur *C. robusta*, en 1923, ainsi que de graves dégâts sur Robusta à Sumatra, de même que dans les îles Célèbes où la culture fut abandonnée surtout dans le sud-ouest des Célèbes. Des dégâts importants ont été notés à Java où depuis l'apparition de la rouille en 1870 l'industrie caféière fut complètement détruite.

La maladie a occasionné de sérieux dégâts aux Philippines depuis son apparition en 1891 et des attaques importantes ont été signalées en 1925 et 1954.

Aux îles Fidji, depuis que la maladie a été introduite en 1878, les dégâts étaient si importants que le gouvernement de ces îles a ordonné la destruction des plantations.

Des pertes importantes ont été également mentionnées au Kenya sur *C. arabica*, surtout dans les plantations de basse altitude, de même qu'en Ouganda et au Tanganyika. En Rhodésie, les plantations établies le long de la bordure de la Rhodésie du Sud ont été détruites par la rouille.

Au Soudan du Sud, les attaques de la rouille causaient des pertes importantes et l'intensité des attaques rendait impossible la culture du caféier dans certaines régions.

Des dégâts importants ont été signalés en 1947 à Zanzibar sur *Coffea liberica*.

A Madagascar des dégâts importants ont été

signalés sur *C. arabica* en 1908, 1933, 1934 et 1946, de même qu'à São Tomé sur la même espèce en 1958.

En République Centrafricaine, où les attaques de la rouille s'intensifient chaque année, les pertes de production sont difficiles à estimer, car elles varient chaque année suivant les conditions climatiques. Sur *C. robusta*, d'après certains sondages, on peut les évaluer de 10 à 15 %.

En général, les dégâts provoqués par la rouille sont presque toujours en relation étroite avec les conditions ambiantes et en particulier avec le climat ; plus spécialement chez le *Coffea arabica*, où les effets de la maladie sont en général d'autant plus marqués que le climat lui est plus défavorable. Ils varient également avec la sensibilité de l'espèce ou de la variété cultivée.

La lutte contre la rouille a été envisagée depuis que la maladie a provoqué des désastres à Ceylan et depuis son extension rapide dans les autres pays, en particulier aux Indes et en Indonésie.

Les moyens de lutte préconisés contre la rouille sont :

- les mesures prophylactiques d'ordre cultural,
- les traitements chimiques,
- la sélection des variétés, clones et hybrides résistants,
- la lutte biologique.

Comme mesures prophylactiques préconisées par les différents auteurs, on peut citer : le ramassage et l'incinération des feuilles tombées à terre, l'entretien rationnel des plantations, le choix judicieux des terrains, l'ombrage, les brise-vent, l'utilisation du fumier et des engrais minéraux, l'égourmandage et la taille des caféiers et d'une façon générale tous les moyens permettant de maintenir aux caféiers une végétation vigoureuse et équilibrée qui confère à la plante une meilleure résistance.

Bien que ces procédés se soient montrés peu efficaces, il est certain que devant une attaque de même importance, les plantes bénéficiant de conditions favorables souffrent moins que celles en moins bon état et toutes les mesures destinées à maintenir la santé et l'équilibre physiologique des arbres réduiront probablement l'effet de la rouille.

Pour la lutte chimique contre l'*Hemileia vastatrix*, de nombreux produits ont été préconisés depuis son apparition à Ceylan et avant que la formule de la bouillie bordelaise soit connue. Dès 1870, on avait préconisé pour la lutte contre la rouille les fleurs de soufre, puis on a conseillé l'utilisation d'un mélange d'une partie de soufre et de deux parties de chaux en poudre. L'acide sulfureux à l'état de vapeur a été également proposé ainsi que les vapeurs d'acide phénique et en 1889 on recommandait l'utilisation du jus de tabac.

L'utilisation de la bouillie bordelaise pour lutter contre *H. vastatrix* a été recommandée pour la première fois en 1895 par SADEBECK qui dans ses expériences démontra le premier que la bouillie bordelaise tuait en quelques minutes les urédospores, agents actifs de la dissémination de la maladie. Depuis lors, l'efficacité de ce produit a été démontrée.

Tous les essais réalisés par les différents expérimentateurs dans tous les pays pour lutter contre l'*Hemileia vastatrix* ont révélé que les bouillies cupriques, et en particulier la bouillie bordelaise à 0,5 et surtout à 1 %, donnaient les meilleurs résultats et en particulier les bouillies cupriques additionnées d'adhésifs tels que la caséine, le caséinate de chaux, la résine, les huiles végétales. Certains auteurs ont obtenu également de bons résultats avec la bouillie bourguignonne, l'oxyde cuivreux et les autres composés cupriques tels que les oxychlorures à la dose de 1 à 1,5 %.

D'autres essais ont été réalisés avec des produits organiques et organométalliques tels que Captan, Fermate, Clitox, Zinèbe, Ziram, etc... et de bons résultats ont été obtenus avec le Captan. Les autres produits se sont révélés moins efficaces. D'autres produits ont été également expérimentés aux Indes et au Tanganyika, mais certains d'entre eux, bien qu'efficaces, se sont révélés phytotoxiques.

Ainsi pour la lutte préventive contre l'*Hemileia vastatrix*, les bouillies cupriques se sont révélées les plus efficaces et sont recommandées par presque tous les auteurs. Quant au nombre et à l'époque des traitements, ils sont variables suivant les pays, les conditions climatiques et l'intensité des attaques.

Des essais de traitements préventifs contre la rouille ont été entrepris au Centre de recherches agronomiques de Boukoko (République Centrafricaine) à partir de 1958 et poursuivis pendant dix ans, avec quatre produits cupriques et deux de synthèse. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les produits cupriques. Cependant, bien que les traitements réduisent sensiblement les attaques, ils n'éliminent pas complètement la maladie.

Il apparaît que l'utilisation des variétés, lignées, clones et hybrides résistants ou tolérants aux différentes races d'*Hemileia* constitue la solution idéale et la plus économique pour résoudre le problème de la rouille qui avec l'antracnose constituent les maladies les plus graves du caféier et en particulier de *C. arabica*. Des recherches dans ce sens ont été déjà entreprises dans différents pays depuis longtemps et en particulier aux Indes, aux Philippines, au Kenya, en Ouganda, au Tanganyika, etc... et de bons résultats ont déjà été obtenus malgré la création de nombreuses races physiologiques reconnues jusqu'ici.

Les travaux effectués aux Indes démontrèrent que la résistance est transmise par un caractère

mendélien simple (MAYNE, 1935), ce qui d'ailleurs a été confirmé par la suite en 1946 par le même auteur, par THOMAS, NARASIMHASWAMY en 1952, THOMAS ainsi que ORILLO et VALDEZ en 1961, aux Philippines, qui s'accordent sur le caractère mendélien dominant simple de la résistance à la rouille et leurs travaux ont été confirmés au Kenya par le laboratoire de Scott à Nairobi et par la station de Ruiru, par WELLMAN en 1954, de même que par ORILLO et VALDEZ en 1961.

Aux Philippines, ORILLO et VALDEZ, en 1961, indiquent que les inoculations artificielles des variétés d'une collection mondiale, conservée par le Département de l'Agriculture des Etats-Unis à Beltsville, et d'autres origines donnèrent comme résultats, treize sélections résistantes de *C. arabica*, dont neuf venaient de l'Afrique : K 7, H 66, KP 228, H 1, KP 423, F 840, KP 263, Geisha ; les autres : S 333, S 446 et S 795, de l'Inde.

Les descendances des hybrides (*C. arabica* × *C. dewevrei*) du Brésil et le Rauvisari B (*C. arabica* × *C. liberica*) de Java étaient très résistantes de même que les espèces *C. eugenioides*, *stenophylla*, *canephora* et *liberica*, mais aucune résistance n'a été trouvée sur l'*Arabica* local ni sur les collections d'Amérique centrale.

Au Tanganyika, FERNIE indique en 1962 que les descendances F 1 provenant des croisements d'une sélection Geisha (UC 496) et des sélections de caféiers Kent, Bourbon et Amphilo (H 66, KP 428, N 39 et CC 541) montrent aux champs une résistance marquée à la rouille et ont un haut rendement, résultat de la vigueur de l'hybride.

Au Kenya, HANGER, en 1962, indique que dans les essais de la résistance à la rouille, les variétés de caféier S 288, S 333 et S 795 de la Station de Balehonur en Inde montraient une immunité continue aux races I et II d'*H. vastatrix*, mais la qualité du café est faible et les rendements sont bas. Les SL 28 et SL 34 sont les meilleures.

Aux Philippines, ORILLO et VALDEZ, en 1963, mentionnent que sur 240 sélections (dont la plupart des *C. arabica*) introduites aux Philippines depuis 1954, et quelques variétés locales expérimentées à la station de Baños Laguna, toutes les sélections d'Amérique centrale ainsi que les sélections locales se sont révélées sensibles à la rouille, tandis que les huit africaines et quatre indiennes étaient très résistantes.

Le clone indien S 288, plus résistant à la sécheresse que les clones africains, avait une descendance entièrement résistante. L'hybride brésilien 387 (*C. arabica* × *C. dewevrei*) était aussi résistant que le japonais Kouvisart B (*C. arabica* × *C. liberica*).

Au Kenya, FIRMAN et HANGER, en 1963, indiquent que les essais pour la résistance à la rouille sont largement répandus au Kenya. Ils notent les

rendements des principales variétés résistantes K 7, KP 532, S 333, S 795 et S 288 pour 1960 et 1961.

Aux Indes, SREENIVASAN, en 1968, mentionne que les résultats de protection contre les races physiologiques d'*H. vastatrix* indiquent que S 795 était prédisposée à la race VIII, S 755 croisée avec Cioccie, Agaro, Dilla et Alghé montraient une résistance aux races I et XXIII. L'hybride de Timor était résistant à toutes les races.

En République Centrafricaine sur les 46 clones soumis aux tests de résistance aux races II et IV d'*H. vastatrix*, neuf se sont révélés résistants. Ce sont : VII-35, VII-91, VII-138, XX-35, XX-141, XX-682, XX-638, VII-135 et A-495.

Dans le domaine de la lutte biologique contre l'*Hemileia vastatrix*, trois hyperparasites d'urédospores de cette rouille ont été reconnus jusqu'à ce

jour : *Verticillium hemileiae* Bour., le plus fréquent et le plus répandu, a été observé à Madagascar, à La Réunion, au Congo-Kinshasa, en Nouvelle-Calédonie, en Indochine, aux Indes, en Indonésie, en Côte d'Ivoire, en Ethiopie et à Sacavem.

Le deuxième hyperparasite, *Cladosporium hemileiae* Stey., est moins répandu et peu signalé jusqu'ici, de même que le troisième, *Paranectria hemileiae* Hans, qui a été observé en Ouganda sur feuilles de *C. arabica* parasitées par *H. vastatrix*.

Ces trois hyperparasites, très répandus en République Centrafricaine, parasitent les urédospores d'*H. vastatrix* dans un pourcentage élevé, les deux premiers sur feuilles de *C. robusta* et le troisième sur feuilles de *C. excelsa*. Ils constituent des auxiliaires précieux pour la lutte contre la rouille en réduisant très sensiblement le potentiel infectant de cette Urédinale hémiléiacée.

BIBLIOGRAPHIE

L'auteur a établi une bibliographie exhaustive de 1.155 références dont le texte complet se trouve à la bibliothèque de l'I. F. C. C. où il peut être consulté.

Ne sont toutefois données ci-après que les références citées dans le texte, ce qui explique la discontinuité de la numérotation.

1. ABBAY (R.). — 1878. Observations on *Hemileia vastatrix*, the so-called coffee leaf disease. *Journal Linn. Soc. Botany*, vol. XVIII, 1878, p. 173, pl. 13 et 14.
2. ABBAY (R.). — 1879. Proceedings of the Planters, Association of Ceylon for the year ending February 17th, 1879, Colombo.
- 2 bis. ACHA, ISABEL (G.), LEAL (J. A.), VILLANUEVA (J. R.). — 1965. Lysis of uredospore germ tubes of rusts by species of *Verticillium*. *Phytopathology*, **55** (1) : 40-42, 2 fig.
4. AIYER (A. K. Y. N.). — 1949. *Indian J. Agric. Sci.*, XIX, 4, p. 439-543, 8 fig.
7. ALEXANDER (J.). — Colonial notes. The introduction and cultivation of Liberian Coffee in Ceylan. *Gardener's Chronicle*, XV, p. 331-332.
10. ANANTH (K. C.), CHOKKANNA (N. G.). — 1961. *Indian Coffee*, Mon. Bull. Indian Coffee Bd., **25**, 1, p. 37-38, 1 pl.
11. ANANTH (K. C.). — 1969. Timing and frequency of spraying for control of coffee leaf rust in Southern India. *Exp. Agric.* 5 (2) : 117-123, 3 graph. (Rub. Res. Inst. India, Koppayam).
16. ANON. — 1879. Coffee leaf disease. *Gard. Chron.*, 12 : 627.
113. ANON. — 1966. Control of coffee leaf rust. Evaluation of some proprietary formulations and Bordeaux. *Indian Coffee*, **30** (2) : 5-9, 7 tabl.
119. ANSTEAD (R. D.). — 1924. Report on the operations of the department of Agriculture, Madras Presidency, for the official year 1922-23. 30 p., 1 carte.
120. ARJENDRAN (R. B.), GEORGE (K. W.). — 1965. Abnormal level of uredia in *H. vastatrix*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, **48** (2) 265-268, 1 pl. (2 fig.), 1 fig.
127. AVERNA SACCA (R.). — 1925 : Brésil — Segunda contribuição para o estudo das molestias cryptogamicas do cafeeiro. Secretaria da Agric. Comm. e Obras Publicas, São Paulo, 63 p., 21 fig.
138. BALANSA. — 1888. Tonkin. *Revue Mycologique*, p. 78.
140. BALLY (W.). — 1931. Handboek voor de koffiecultuur. Earste Deel de zeikten von de koffie. 212 p., 14 pl., 98 fig., Amsterdam, J. H. de Bussy.
148. BECKLEY (V. A.). — 1931. The « yellowing of coffee ». Kenya Dept. of Agric., Bull. 3 of 1931, 6 p., 1 pl.
153. BERKELEY (M. J.). — 1870. Enemies of the coffee tree. *The Ceylon Observer*, May 23.
158. BERKELEY (M. J.), BROOME (C. E.). — 1869. *Gardener's Chronicle*, 6 nov., p. 1157.
- 160 bis. BETTENCOURT (A. J.), CARVALHO (A.). — 1968. Melhoramento visando a resistencia do cafeeiro a ferrugem. *Bragantia* (Campinas), vol. 27, t. I, n° 4, févr., p. 35-68, 6 tabl., 23 réf.
161. BIDIE (W.). — 1881. Remarks on the Indian coffee leaf disease. *Jour. Linn. Soc. Botany*, 18 : 458-459.
162. BIGGS (C. E. G.). — 1944. Annual report Department of Agriculture, Tanganyika Territory, 1943, 8 p.
164. BITANCOURT (A. A.). — 1954. *Biológico*, **22**, 12, p. 205-222, 8 fig., 1 carte.
165. BLANDEAU. — 1911. *Hemileia* et la récolte 1911. *Rev. Agric. Nouvelle-Calédonie*, n° 11 : 17-19.
166. BOCK (K. R.). — 1959. Notes on the use of Captan sprays in coffee. *Kenya Coffee*, **24**, 286, p. 405-406.
167. BOCK (K. R.). — 1960. Notes on the control of coffee berry disease. *Kenya Coffee*, **25**, 289, p. 16-17.
168. BOCK (K. R.). — 1960. *Kenya Coffee*, **25**, 297, p. 372-373, 375, 3 graph.
169. BOCK (K. R.). — 1962. Dispersal of uredospores of *Hemileia vastatrix* under field conditions. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **45**, 1, p. 63-74, 3 fig., 3 graph.
170. BOCK (K. R.). — 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. Control of coffee leaf rust in Kenya Colony. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **45**, 3, p. 289-300, 7 graph ; p. 301-313, 13 graph.
180. BOUGHEY (A. S.). — 1942. List of economic plant diseases in the Anglo-Egyptian Sudan. Their appearance, distribution and control. Including weeds and ornamentals which may serve as alternative host for crop diseases. 44 p., Dep. Agric. For. Sudan Govt.
184. BOURIQUET (G.). — 1934. Les maladies du caféier à Madagascar. La culture du caféier d'Arabie dans l'Itasy et l'*Hemileia vastatrix*. *L'Agron. Colon.* n° 197, mai.
185. BOURIQUET (G.). — 1934. Les maladies du caféier à Madagascar. *L'Agron. Colon.*, XXIII, 193, p. 1-10, 194, p. 42-48, 195, p. 73-82, 196, p. 109-118, 4 pl.
191. BOURIQUET (G.). — 1935. *Int. Bull. Pl. Prot.*, IX, 6, p. 125-128.
196. BOURIQUET (G.). — 1946. Les maladies des plantes cultivées. *Encycl. mycol.*, XII, 545 p., 41 pl., (7 coul.). 230 fig. Paris, Paul Lechevalier, éd.
201. BOURIQUET (G.). — 1959. Les maladies et les ennemis des plantes dans certains territoires d'Afrique. *Bull. Phytosanitaire FAO*, VII, 5, p. 63-65.
205. BRAIN (C. K.). — 1931. Report of the Director of Agriculture for the year 1930. Rept. Secret. Dept. of Agric. Southern Rhodesia for the year 1930, p. 4-14.
213. BUGNICOURT (F.), COHIC (F.), DADANT (R.). — 1951. Catalogue des parasites animaux et végétaux des plantes cultivées de Nouvelle-Calédonie. 120 p., Nouméa, Inst. Fr. d'Océanie.
215. BUIS (J.). — 1907. L'*Hemileia* et l'avenir du caféier à Madagascar et à la Réunion. 44 p., illus., Paris.
216. BUIS (J.). — 1907. Les maladies des caféiers et en particulier l'*Hemileia vastatrix*. *Bull. Econ. Madagascar*, **7** (1) : 28-41.

221. BURCK (W.). — 1889. Over de koffiebladziekte en de middelen om haar te bestrijden. *Med. uit's Lands Plantentuin*, 5 : I-IV + 80, illus.
222. BURCK (W.). — 1889. Over de koffiebladziekte en de middelen om haar te bestrijden. *De Indische Mercur*, 12: 497-498, 513-515, 528-529, 555-566, 567-568, 582-583, illus.
224. BURDEKIN (D. A.). — 1960. *Kenya Coffee*, **25**, 294, p. 213-219, 2 fig.
226. BURDEKIN (D. A.). — 1961. The effect of Captan and copper sprays on leaf rust and leaf fall of coffee. Rep. Coffee Res. Sta. Lyamungu 1960, p. 56-59, 3 graph.
- 226 bis. BURDEKIN (D. A.). — 1965. Laboratory inoculation with *Hemileia vastatrix* B. et Br. Res. Rep. 1963, Coffee Res. Sta. Lyamungu, p. 39-41, tabl., réf.
227. BURDEKIN (D. A.). — 1964. The effect of various fungicides on leaf rust, leaf retention, and yield of coffee. *E. Afric. Agric. For. J.*, **30** (2): 101-104, 2 graph., 2 tabl.
247. CAMPBELL (J. G. C.). — 1925. Report by the mycologist for the year 1924. Ann. Rept. Fiji Dept Agric. for the year 1924, p. 13-14.
250. CARDOSO (J. G. A.). — 1940. *Int. Bull. Pl. Prot.*, XIV, 2, p. 28-29.
258. CASTELLANI (E.). — 1937. La ruggine del caffè (*Hemileia vastatrix* B. et Br.). *Agricoltura Colon.*, XXXI, 1, p. 15-23; 2, p. 66-72, fig.
259. CASTELLANI (E.). — 1938. La ruggine del caffè nel Harar. *Agricoltura Colon.*, XXXII, 8, 11 p., 3 fig., 1 carte.
267. CHEVALIER (A.). — 1947. Les caféiers du globe. Fasc. III. Systématique des caféiers et faux caféiers, maladies et insectes nuisibles. 356 p., illus., Paris.
268. CHEVAUGEON (J.). — 1956. Enquêtes phytopathologiques dans le bassin de Cavally (Côte d'Ivoire). *Revue de Mycologie*, 21, suppl. col., p. 57, déc.
270. CHINAPPA (C. C.). — 1965. Studies on the leaf rust (*H. vastatrix* B. et Br.) of coffee. *Indian coffee*, **29**, (12), 9-12, 1 fig., 1 graph.
- 270 bis. CHINAPPA (C. C.), SREENIVASAN (M. S.). — 1965. Secondary sporidia in *H. V. Curr. Sci.*, **34** (23), 668-670, 20 fig.
271. CHINAPPA (C. C.), SREENIVASAN (M. S.). — 1967. Cytology of *Hemileia vastatrix*. *Caryologia*, **21** (1): 75-82, 37 fig.
277. CICCARONE (A.). — 1951. *Mycopathologia*, **5**, 2-3, p. 208-235.
283. COLEMAN (L. C.). — 1930. Mysore Coffee Exper. Stat. Bull., 3, 23 p., 6 pl., 3 plans.
289. COLEMAN (L. C.). — 1932. Mysore Coffee Exper. Stat. Bull., 8, 31 p., 3 fig., 2 plans.
298. COOKE (M. C.). — Two coffee diseases. *Popular Science Review*, n° LIX, p. 135.
308. CORNU (M.). — 1898. In *Revue Coloniale*, n° 44, 3 nov.
311. COSTANTIN (J.). — 1930. Influence de l'altitude en pathologie végétale. *Rev. de Bot. Appl. et Agric. Trop.*, X, III, p. 851-860.
312. COSTANTIN (J.). — 1935. Actualités biologiques. Le problème des rouilles du blé à l'heure présente. *Ann. Sci. Nat. Bot. Sci.*, X, XVII, 2, p. I-XVIII.
313. COSTE (R.). — 1955. Les caféiers et les cafés dans le monde. Tome I, p. 123-165, Larose Edit., Paris.
323. CROWE (T. J.). — 1963. Possible insect vectors of the uredospores of *Hemileia vastatrix* in Kenya. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **46**, 1, p. 24-26, 1 pl. (2 fig.).
325. DADANT (R.). — 1954. Le caféier en Nouvelle-Calédonie, ses maladies, *Agron. Trop.*, Nogent, **9**, 1, p. 49-58, 13 fig.
326. DADANT (R.). — 1954. Les conditions microclimatiques favorables à l'infestation de *Coffea arabica* par *Hemileia vastatrix*. *Courrier des Chercheurs*, 8, p. 173.
330. DAVID (P. A.). — 1928. *Philipp. Agric.*, XVII, 1, p. 45-49.
332. DE BÉRARD. — 1893. Rapport sur une maladie des caféiers aux Iles Philippines. *Bulletin du Ministère de l'Agriculture*, 1893, n° 8, p. 1008-1024, Paris.
336. DELACROIX (G.). — 1900. Les maladies des caféiers. VI^e Congrès international d'Agriculture de Paris, Vol. 1 : 715-726.
337. DELACROIX (G.). — 1901. Atlas des conférences de pathologie végétale. 57 planches avec légendes. Paris.
340. DELACROIX (J.), MAUBLANC (A.). — 1911. Maladies des plantes cultivées dans les pays chauds (Maladies des feuilles, *Hemileia*, p. 271-303). Augustin Challamel Edit., Paris.
342. DELALANDE (J.). — 1883. Observations sur les maladies des caféiers à la Réunion. 39 p., Rennes.
349. DOIDGE (Ethel M.). — 1926. *Bothalia* II, 10, p. 1-228, 6 coul., 1 pl., 212 fig.
360. DOWSON (W. J.). — 1921. Annual Report of the Mycological Laboratory for the year ending 31 st March 1920. In Kenya Dept Agric. Ann. Report 1919-1920 : 79-89.
361. DOWSON (W. J.). — 1921. *Ann. of. Appl. Biol.* VIII, 2, p. 83-100.
362. D'SOUZA (G. T.). — 1965. V. Mycology Rep. Res. Dep. Ind. Coff. Bd. 1964-1965, p. 73-84, 1 graph., 11 tabl. (cyclostyled).
364. DUCLOS (H.). — 1928. Contribution à l'étude des parasites des plantes à Madagascar. *Rev. Path. Vég. et Ent. Agric.*, XV, 3, p. 67-73.
382. EVANS (E.), SAGGERS (D. T.). — 1962. A new systemic rust. *Nature* (Lond.), 195, 4841, p. 619-620.
- 388-389. FARIA ROSADO DIAS (M. A.). — 1957. Aspectos fisiológicos da imunidade susceptibilidade do cafeeiro à *Hemileia vastatrix*. A taxa transpiratória e a resistência ao fungo (1). *Rev. do café portug.*, **4**, 15 : 52-67, graph., 11 réf. Sept.
390. FARIA ROSADO DIAS (M. A.), CONTREIRAS (J.). — 1958. Aspectos fisiológicos da imunidade susceptibilidade do cafeeiro à *Hemileia vastatrix*. Determinação da turgidez relativa em cafeeiros imunes e susceptíveis. *Rev. do café portug.*, **5**, 18 : 40-58, fig., tabl., 7 réf. Juin.
392. FAUCHÈRE (A.). — 1906. Notes sur les Caféiers résistants à l'*Hemileia vastatrix* et qui ont été introduits à la Réunion et à Madagascar par les soins du jardin colonial. *Bull. Econ. de Madagascar*, p. 223.
396. FAUCHÈRE (A.). — 1908. Le *Coffea congensis* à Madagascar. *Jour. d'Agric. Trop.*, 8 : 252-253.
401. FERNIE (L. M.). — 1961. Rep. Coffee Res. Sta. Lyamungu 1960, p. 12-17, 1 pl.
402. FERNIE (L. M.). — 1962. Some New Arabica coffee hybrids. Res. Rep. Coffee Res. Sta. Lyamungu 1961, p. 20-26.
403. FERNIE (L. M.). — 1966. Impressions of coffee in Ethiopia. *Kenya coffee*, **31**, 363, 115-121.
408. FINKER (R. E.), ATKINS (R. E.), MURPHY (H. C.). — 1953. Inoculation Technics for Grown rust of Oats. *Agron. Journ.*, **45**, 12, p. 630-631, 1 fig.
409. FIRMAN (J. D.). — 1961. Annual Report, Depart. Agric. Kenya 1960, vol. II, 135 p.
410. FIRMAN (J. D.), HANGER (B. F.). — 1963. Resistance to coffee leaf rust in Kenya. *Coffee*, **5**, 18 : 49-54, 1 carte., 3 tabl., juill.-sept.
411. FIRMAN (J. D.), WALLIS (J. A. N.). — 1965. *Ann. Appl. Biol.*, **55**, 1, 123-137, 3 graph., 8 tabl.
429. GEORGE (K. V.). — 1957. What to do about the coffee leaf diseases. *Ind. farming*, + VII, fasc. 4.

430. GEORGE (K. V.). — 1959. Tenth Annual Report of the Research Department of the Indian Coffee, Board 1956-57. Bull. Indian Coff. Bd. Res. Dep., 10, 164 p., 4 fig., 5 graph.
431. GEORGE (K. V.). — 1959. Eleventh Annual Report of the Research Department of the Coffee Board 1957-58. Bull. Indian Coff. Bd. Res. Dep., 11, 184 p., 6 graph.
432. GEORGE (K. V.). — 1961. Thirteenth Annual Report of the Research Depart. of the Indian Coffee Board 1959-60, 198 p.
435. GHESQUIÈRE (J.). — 1938. Rapport annuel pour l'exercice 1937. Division de phytopathologie et d'entomologie. Publ. Inst. Nat. Etud. Agron. Congo belge (hors sér.), p. 19-26, 2 fig.
441. GOPALAKRISHNAN (K. S.). — 1951. Notes on the morphology of the genus *Hemileia*. *Mycologia*, **43**, 3, p. 271-283, 7 fig.
443. GOVINDARAJAN (T. S.), SUBRAMANIAN (S.). — 1966. Studies on alternate hosts for the coffee leaf fungus (*Hemileia vastatrix*) 1. Shade trees. *Indian Coffee*, **30**, 12 : 1-2, 1 tabl.
449. GRAY (G.). — 1954. La lutte contre le parasitisme des cultures en Côte d'Ivoire. Congrès Prot. Végét., Marseille, 11 p., sept.
450. GYDE (L. M.). — 1932. *S. African Journ. of Sci.*, XXIX, p. 296-300, 6 fig.
456. HANGER (B. F.). — 1961. Annual Report Dept Agriculture, Kenya, 1960, vol. II, 135 p.
457. HANGER (B. F.). — 1962. Annual report Dept Agriculture, Kenya, 1961, vol. II, 165 p.
458. HANSFORD (C. G.). — 1937. Annotated host list of Uganda parasitic fungi and Plant diseases. Part. IV. *E. Afr. Agric. J.*, III, 3, p. 235-240.
460. HANSFORD (C. G.). — 1941. Proc. Linn. Soc. Land. 1940-41, 1, p. 4-52, 12 fig.
463. HARCASLE (J. Y.). — 1963. Outbreaks and new records. Nigeria. *FAO Plant. Prot. Bull.*, **11**, 5, 113-116.
466. HARRISON (T. H.). — 1966. *Quarterly Newsletter of the Plant Protection Committee for the South East Asia and Pacific Region*, **9**, 1, 12 p., F. A. O., Publ. Bangkok, Thailand (cyclostyled).
467. HARTLEY (C.), RANDS (R. D.). — 1924. Plant Pathology in the Dutch East Indies. *Phytopath.*, XIV, 1, p. 8-23, 3 fig.
469. HENDRICKX (F. L.). — 1939. Observations phytopathologiques à la Station de Mulungu en 1938. Publ. Inst. Nat. Etud. Agron. Congo belge, p. 117-128.
471. HENDRICKX (F. L.). — 1944. Liste annotée de champignons congolais I. Pub. Inst. Nat. Etude Agron. Congo Belge, 1, 2, p. 125-144.
476. HENNINGS (P.). — 1897. Eine neue Blattfleckenkrankheit *Hemileia woodii*, auf den Ibo-Kaffee, in Deutsch-Ostafrika, in Zeitschrift für tropische Landwirt-Schaft. *Der Tropenpflanzer*, nos 5 et 8.
488. HOCKING (D.), WHITE (P. J.). — 1965. Fungicides for Arabica coffee. I. A laboratory method for preliminary assessment of new fungicides for leaf rust [*H. v.* (Berk. + Br.)] of Arabica coffee. II. Biological assessment of protective capacity against leaf rust [*H. v.* (Berk. + Br.)]. III. Determination of trans-laminar curative activity against leaf rust [*H. v.* (Berk. + Br.)]. *Pans*, **11**, 3 : 261-267, 1 fig., 3 tabl.; 268-272, 2 tabl.; 273-277, 2 tabl.
490. HOCKING (D.), FREEMAN (G. H.). — 1968. Fungicides for Arabica Coffee. 17. Relationships among some new fungicides, leaf rust (*Hemileia vastatrix*), leaf fall and yield. *Trop. Agric. (Trin.)*, **45**, 2 : 141-145, tabl., réf.
492. HOCKING (D.). — 1967. Fungicides for Arabica Coffee. VIII. Preliminary relationships among some new fungicides, leaf rust (*Hemileia vastatrix*) and leaf fall. *Trop. Agric. (Trin.)*, **44**, 1 : 83-87, 6 tabl., réf.
493. HOCKING (D.). — 1968. Effects of light on germination and infection of coffee rust (*Hemileia vastatrix*). *Trans. Br. Mycol. Soc.*, **51**, 1 : 89-93, 2 tabl., réf.
504. HOOKER (J. D.). — 1877. Report on the progress and condition of the Royal Gardens at Kew during the year 1876 : 1-33.
517. HUBERT (F. P.). — 1957. Diseases of some export crops in Indonesia. *Pl. dis. Rep.*, XLI, 1, p. 55-63.
520. JOHNSTON (A.). — 1960. A preliminary plant disease survey in North Borneo. 43 p., Rome, Food and Agric. organisation of the United Nations.
536. KRANZ (J.). — 1962. Coffee disease in Guinea. *F. A. O. Plant Prot. Bull.*, **10**, 5, p. 107-109.
539. LEACH (R.). — 1931. Report of the mycologist for 1930. Ann. Rep. Dept of Agric., Nyasaland, 1930, p. 32-34.
- 539 bis. LEAL (J. A.), VILLANUEVA (J. R.). — 1962. Fungilystic activity of a species of *Verticillium*. *Science*, **136**, 3517, p. 715-716, 4 fig.
542. LEEFMANS (S.). — 1927. *Meded. Inst. voor Plantenziekten*, 73, 60 p.
544. LEEFMANS (S.). — 1930. *Meded. Inst. voor Plantenziekten*, 79, 100 p.
546. LEPESME (P.). — 1941. Ennemis et maladies du caféier en Afrique Inter-tropicale. Diagnose pratique et moyens de lutte. 63 p., 39 fig., Paris, Larose.
547. LE POER-TRENCH (A. D.). — 1924. Annual report of the senior coffee officer for 1923. Ann. Rep. Kenya Dept of Agric. for the year ended 31st December 1923, p. 88-96.
557. MAISTRE (J.). — 1955. Méthodes rationnelles d'amélioration des caféiers dits « de basse altitude ». *Agron. Trop. (Nogent)*, **10**, 2, p. 141-173, 1 pl., 3 fig., 4 graph.
- 565-566. MALLAMAIRE (A.). — 1952. La rouille vraie du caféier causée par *H. vastatrix* B. et Br. au Dahomey. *Bull. Cent. Rech. Agron. Bingerville*, 6, p. 51-61.
568. MARCHAL (E.), MANIL (P.), VANDERWALLE (R.). — 1937. Eléments de pathologie végétale appliquée à la phytotechnie. Gembloux, Jules Duculot Editeur.
573. MASSEE (G.). — 1899. A text book of plant diseases caused by cryptogamic parasites, London.
583. MAUBLANG (A.), ROGER (L.). — 1934. Une nouvelle rouille du caféier au Cameroun. *Compt. rend. Acad. Sci.*, Paris, 198 : 1069-1070.
584. MAYNE (W. W.). — 1930. Seasonal periodicity of coffee leaf disease (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). *Mysore Coffee Exper. Stat. Bull.*, 4, 16 p., 4 graph.
587. MAYNE (W. W.). — 1932. Seasonal periodicity of coffee leaf disease (*Hemileia vastatrix* B. et Br.) second report. *Mysore Coffee Exper. Stat. Bull.*, 6, 22 p., 3 graph.
588. MAYNE (W. W.). — 1932. Recent work on coffee leaf disease. *Planters' Chron.*, XXVII, 10, p. 253-257.
589. MAYNE (W. W.). — 1932. Physiological specialisation of *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Nature*, CXXIX, 3257, p. 510.
590. MAYNE (W. W.). — 1932. Annual report of the Coffee Scientific Officer 1931-1932. *Mysore Coffee Exper. Stat. Bull.*, 7, 32 p.
591. MAYNE (W. W.). — 1933. Annual report of the Coffee Scientific Officer 1932-1933. *Mysore Coffee Exper. Stat. Bull.*, 10, 16 p.
592. MAYNE (W. W.). — 1933. *Planters' Chron.*, XXVIII, 2, p. 34-38, 3, p. 53-56.
593. MAYNE (W. W.), NARASIMHAN (M. J.), SREENIVASAN. — 1933. Spraying of coffee in South India. *Mysore Coffee Exper. Stat. Bull.*, 9, 69 p., 8 pl.
594. MAYNE (W. W.). — 1934. Annual report of the Coffee Scientific Officer, 1933-1934. *Mysore Coffee Exper. Stat. Bull.*, 12, 24 p.

595. MAYNE (W. W.). — 1935. Annual report of the Coffee Scientific Officer, 1934-1935. *Bull. Mysore Coffee Exp. Stat.*, 13, 28 p., 1 graph.
596. MAYNE (W. W.). — 1936. Annual report of the Coffee Scientific Officer 1935-1936. *Bull. Mysore Coffee Exp. Stat.*, 14, 21 p.
597. MAYNE (W. W.). — 1937. Annual report of the Coffee Scientific Officer, 1936-1937. *Bull. Mysore Coffee Exp. Stat.*, 16, 15 p.
598. MAYNE (W. W.). — 1937. Factors affecting spray success in the control of coffee leaf disease (*Hemiteia vastatrix* B. and Br.). *Bull. Mysore Coffee Exp. Stat.*, 15, 46 p., 2 graph.
599. MAYNE (W. W.). — 1938. Annual Report of the Coffee Scientific Officer 1937-1938. *Bull. Mysore Coffee Exp. Stat.*, 17, 17 p.
601. MAYNE (W. W.). — 1939. A note on the origin of attacks of leaf diseases (*H. vastatrix*) in coffee diseases. *Plant. Chron.*, XXXIV, 14, p. 417.
602. MAYNE (W. W.). — 1940. *Plant. Chron.*, XXXV, 5, p. 95-97.
603. MAYNE (W. W.). — 1940. Report on comparative trials with Perenox carried out at Balehonur and Sipadur in 1939-1940. *Plant. Chron.*, XXXV, 17, p. 345-347.
605. MAYNE (W. W.). — 1940. Coffee leaf disease attacks in 1940. *Plant. Chron.*, XXXV, 3, p. 53.
613. MAYNE (W. W.). — 1942. Annual Report of the Coffee Scientific Officer, 1941-1942. *Mysore Coffee Exp. Stat. Bull.*, 24, p. 1-21.
615. MAYNE (W. W.). — 1945. *Hemiteia vastatrix* in India. *Planters' Chron.*, XL, 23, p. 384-387.
616. MAYNE (W. W.). — 1946. A note on coffee research in South India. 72 p., Bangalore, Indian Coffee Board.
618. MAYNE (W. W.). — 1958. Blights and beverages in S. India and Ceylon. *Indian coffee*, 22, 1, p. 7-12.
625. Mc DONALD (J.). — 1924. Annual Report of the Mycologist for the year 1922. Ann. Rept Kenya Dept of Agric. for the year ended 31st December 1922, p. 111-115.
626. Mc DONALD (J.). — 1926. *Review of applied mycology*, VI, p. 532.
629. Mc DONALD (J.). — 1926. *Kenya Dept of Agric. Bull.*, 3, 17 p.
631. Mc DONALD (J.). — 1928. Fungoid diseases of coffee in Kenya Colony. *Kenya Dept Agric. Bull.*, 21, p. 1-24.
639. Mc DONALD (J.). — 1937. Report of the Senior Plant Pathologist Rep. Dept Agric. Kenya, 1936, II, p. 1-12.
640. Mc DONALD (J.). — 1937. Diseases of coffee. In *Coffee in Kenya*, J. Mc DONALD (Editor), p. 148-190. Nairobi.
643. MEIFFREN (M.). — 1955. La rouille du caféier en Côte d'Ivoire. *Bull. C. R. A. Bingerville*, n° 10, 1955, p. 61-66.
646. MERINO (G.), TEODORO (N. G.), OTANES (F. Q.). — 1925. The Philippine Plant Quarantine Service. *Philipp. Agric. Rev.*, XVIII, 4, p. 411-461, 5 pl.
647. MERTENS. — 1916. Note sur les caféiers et leur culture à Lula (Stanleyville) *Bull. Agric. Congo belge*, 7, p. 285-301.
656. MORRIS (D.). — 1879. Experiments on the coffee leaf disease (analysé in *Gard. Chron.*, 1879, I, p. 564, II, p. 240).
664. MORRIS (D.). — 1896. Investigaciones de Mr. D. Morris sobre la mancha del café. *El Agricultor* (Colombia), 12, p. 443-449.
669. MORSTATT (H.). — 1943 : Ceylan. *Kolon. Rdsch*, XXXIV, p. 14-22, 79-88.
673. MUNRO (D. G.), SUNDARARAMAN (S.). — 1923. Coffee spraying experiments. *Planters' Chron.*, Inde, XVIII, 14, p. 193-196.
674. MUNRO (D. G.). — 1925. *Planters' Chron.*, XX, 17, p. 258-270.
675. MUNRO (D. G.). — 1926. The spraying of coffee. *Planters' Chron.*, XXI, p. 826-828.
677. NARASIMHAN (M. J.). — 1936. Report of work done in the Mycological Section for the year 1934-1935. Adm. Rep. Agric. Dep. Mysore, 1934-1935, p. 19-22.
678. NARASIMHASWAMY (R. L.). — 1952. Leaf disease resistance and its importance in coffee. *Indian Coffee* (Mon. Bull. Indian Coffee Bd), 16, 2, p. 26-28.
679. NARASIMHASWAMY (R. L.), NAMBIAR (K. K. NARAYANAN), SREENIVASAN (M. S.). — 1963. On work a testing races of leaf disease fungus on coffee selections and collections at Central Coffee Research Institute Balehonnur. *Indian Coffee*, 27, 9, p. 261-266, 2 tabl., 4 réf.
680. NARASIMHASWAMY (R. L.). — 1965. Coffee leaf rust in Ethiopia. Some impressions. *Indian Coffee*, 29, 2, p. 7-10, 1 carte.
681. NARAYANAN (B. T.). — 1955. *Bull. Indian Coff. Bd. Res. Dep.*, 6, 91 p., 1954, 7, 91 p., 1955.
687. NORONHA-WAGNER (M.), BETTENCOURT (A. J.). — 1967. Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. to leaf rust I. Identification and behaviour of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemiteia vastatrix*. *Canadian Journal of Botany*, 45, p. 2021-2031, tabl., 26 réf.
690. NUTMAN (F. J.). — 1959. Evidence that the spores of coffee leaf rust are not dispersed by wind. *Kenya Coffee*, 24, 287, p. 451-453, 4 fig.
691. NUTMAN (F. J.), ROBERTS (F. M.), BOCK (K. R.). — 1960. Method of uredospore dispersal of the coffee leaf rust fungus, *H. vastatrix*. *Trans. Brit. Myc. Soc.*, 43, 3, p. 509-515, 2 pl. (12 fig.).
692. NUTMAN (F. J.), ROBERTS (F. M.). — 1962. Dispersal of coffee rust *H. vastatrix* B. et Br. *Nature* (Lond.), 194, 4835, p. 1296.
693. NUTMAN (F. J.), ROBERTS (F. M.). — 1963. *Trans. Brit. Myc. Soc.*, 46, 1, p. 27-48, 15 graph.
694. NYENHUIS (E. M.). — 1967. Leaf rust attacks coffee in Natal. *Fmg S. Afr.*, 42, 11, p. 11.
695. OCFEMIA (G. O.). — 1954. *Philipp. Agric.*, 37, 9, p. 550-552, 1 pl.
696. D'OLIVEIRA (BRANQUINHO). — 1954. As ferrugens do cafeeiro. *Revista do Café Português*, 1, 4, p. 5-13.
697. D'OLIVEIRA (BRANQUINHO). — 1955. As ferrugens do cafeeiro. Técnica experimental e apreciação do grau de resistencia. *Revista do Café Português*, 2, 7 : 9-17.
698. D'OLIVEIRA (BRANQUINHO). — 1957. Repris de *Rev. Café Portug.*, 1, 4, p. 5-13, 1954 ; 2, 5, p. 5-12, 6 p. 5-13, 7 p. 9-17, 8, p. 5-22, 1955 ; 4, 16, p. 5-15, 1957.
699. D'OLIVEIRA (BRANQUINHO). — 1959. *Coffee and Tee Industries* (New York), p. 78-83.
700. D'OLIVEIRA (BRANQUINHO). — 1965. Progress Report 1960-65. Coffee rust Research Centre, Oeiras, Portugal. 144 p., 9 tabl.
702. ORILLO (F. T.), VALDEZ (R. B.). — 1961. Selection of coffee species and varieties resistant to coffee rust in the Philippines. *Philipp. Agric.*, 45, 5, p. 223-234.
703. ORILLO (F. T.), VALDEZ (R. B.). — 1962. Selection of coffee species and varieties resistant to rust. *Coffee and Cacao J.*, 5, 8, p. 153, 155, 156, 167.
708. PARK (P. O.), BURDEKIN (D. A.). — 1964. Studies on the ageing of copper fungicides used to control coffee leaf rust. *Ann. Appl. Biol.*, 54, 3, p. 335-347, 16 graph., 4 tabl.
710. PASCALET (M.). — 1934. Les maladies cryptogamiques du caféier au Cameroun. *Ann. Cryptog. Exot.*, VII, 1, p. 21-31.

714. PERMANNE (R. L.). — 1952. La rouille du caféier. *Bull. Doc. Techn. Agri.* (Costermansville), VI, 22, p. 52-54.
719. PETCH (T.). — 1922. Report on the work of the division of Botany and Mycology. *Ann. Rept Ceylan Dept Agric.*, 1921, p. 21-23.
724. PHILPOTT (G. T.). — 1922. Annual Report Department of Agriculture, Uganda, for the year ended 31st December 1921. 87 p.
726. POLE-EVANS (I. B.). — 1908. Report of the plant pathologist. *In Transvaal Dept Agric. Report 1st July 1906 to 30th June 1907*, p. 155-172.
736. RAGUNATHAN (C.). — 1923. Ceylan : *Trop. Agric.*, LX, 2, p. 128.
739. RAGUNATHAN (C.). — 1924. The occurrence of teleutospores in *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Ann. Roy. Bot. Gard. Peradeniya*, VIII, p. 109-115.
741. RAJENDREN (R. B.). — 1967. Atypical and typical germination of asexual teliospores of *Hemileia vastatrix*. *Mycologia*, **59**, 5, p. 918-921, 24 fig.
749. RAOUL (E.), SAGOT (P.). — 1894. Manuel pratique des cultures coloniales et des plantations des pays chauds. Tome II, 1^{re} partie, Culture du caféier, par E. RAOUL, Paris.
752. RAYNER (R. W.). — 1955. Leaf rust epidemic warning to coffee planters. *The Coffee Board of Kenya Month. Bull.*, Nairobi, XX, 231, p. 64.
753. RAYNER (R. W.). — 1957. *In Annual report*, Department of Agriculture, Kenya 1955, vol. II, p. 81-100.
754. RAYNER (W.). — 1956. Leaf rust. *The Coffee Board of Kenya Month. Bull.*, XXI, 243, p. 65-69.
755. RAYNER (R. W.). — 1958. *In Annual Report*, Depart. of Agriculture Kenya, 1956, vol. II, 181 p.
756. RAYNER (R. W.). — 1960. Rust disease of coffee. *World Crops*, **12**, 5, p. 187-190, 5 fig. ; 6, p. 222-224, 4 fig., 1 carte ; 7, p. 261-264, 4 fig. ; 8, p. 309-312, 3 fig.
757. RAYNER (R. W.). — 1960. Leaf rust. *Kenya Coffee*, **25**, 291, p. 85-86.
762. RAYNER (R. W.). — 1961. *Nature* (Lond.), **190**, 4773, p. 328-330, 2 graph.
763. RAYNER (R. W.). — 1961. *Nature* (Lond.), **191**, 4789, p. 725.
764. RAYNER (R. W.). — 1961. *Ann. Appl. Biol.*, **49**, 3, p. 497-505, 3 graph.
765. RAYNER (R. W.). — 1962. *Ann. Appl. Biol.*, **50**, 2, p. 215-261, 9 graph.
766. RAZAFINDRAMAMBA (R.). — 1958. Biologie de la rouille du caféier. *Rev. Mycol.* (Paris), XXIII, 2, p. 171-200.
773. RUIIND (O.). — 1924. Report of the Mycologist Burma for the period ending 30th June 1924. Rangoon supdt. Gvt Printing and Stationery, Burma, 6 p.
778. RIGAUD (A.). — 1896. *Traité pratique de la culture du café dans la région centrale de Madagascar*. 102 p., Paris.
781. RILEY (E. A.). — 1958. Annual report of the Dept of Agric. Tanganyika, 1956 (Part. II), 106 p.
783. RISBEC (J.). — 1936. Les parasites du caféier en Nouvelle-Calédonie. *Agron. Colon.*, XXV, 226, p. 105-123.
787. RODRIGUES (C. J.). — 1956. Nota sobre a resistencia de algumas especies de *Coffea* a *Hemileia coffeicola*, Maubl. et Roger. *Revista do Café Português*, **3**, 12, p. 48-71, 8 tabl., 1 pl.
788. RODRIGUES (C. J.). — 1960. Actividade do Centro de Investigações das ferrugens do cafeeiro. *Agricultura* (Lisb.), 6, p. 38-44, 7 fig.
789. RODRIGUES (C. J.). — 1960. II. Screening for resistance to *H. vastatrix* on *Coffea arabica*, 46 p. ; Oeiras, Portugal, Junta de Exportação de café.
790. ROGER (L.). — 1937. La rouille du caféier au Cameroun. Larose édit., Paris.
791. ROGER (L.). — 1951. *Phytopathologie des pays chauds*. Tome I. 1126, p. illus., Paris.
792. ROGER (L.). — 1953. *Phytopathologie des pays chauds*. Encyclopédie mycologique, 18, II, p. 538-843. Lechevallier éd., Paris.
803. SACCAS (A. M.). — Rapport annuel de phytopathologie. Station Centrale de Boukoko (RCA) 1950, Tome IV.
- 804 bis. SACCAS (A. M.). — 1965. La rouille des caféiers en République Centrafricaine due à *Hemileia vastatrix*. 1^{re} réunion techn. FAO Café, Rio de Janeiro, 23-30 oct. 1965, n° Ce/65/76, 5 p.
805. SADEBECK (E.). — 1895. Einige Beobachtungen und Bemerkungen über die durch *Hemileia vastatrix* verursachte Blattfleckenkrankheit der Bäume Kaffee. *Förstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift*, IV, p. 340-346.
808. SANDERS (F. R.). — 1954. Tanganyika. Nineteenth Annual Report of the Coffee Research and Experimental Station, Lyamungu, Moshi, 1952. 36 p.
809. SANDERS (F. R.). — 1955. *In WALLACE (G. B.)*. Annual Report of the Plant Pathologist, Lyamungu, Moshi, for the year 1954. Rep. Dep. Agric. Tanganyika 1954 (Part. II), p. 70-76.
817. SCHEFFER. — 1877. Verslag om tret den Staatian's Lands Plantentuin te Buitenzorg.
825. SEMLER (H.). — 1886. *Die Tropische Agrikultur*. Vol. I, 690 + XII p., Wismar.
828. SHAW (D. E.). — 1968. Coffee rust outbreaks in Papua from 1892 to 1965 and the 1965 eradication campaign. *Res. Bul., Dept Agric.*, Port Moresby, n° 2, p. 20-52, fig., tabl.
834. SILVA (H. LAINS e). — 1958. São Tomé e Príncipe e a cultura do café. XII + 604 p., 104 pl., 16 graph., 7 cartes. Lisboa memorias da Junta de Investigações do Ultramar, n° 1, Ministerio de Ultramar.
835. SMALL (W.). — 1923. The diseases of *Coffea arabica* in Uganda. Uganda Dept Agric., circ. 9, 22 p.
836. SNOWDEN (J. D.). — 1921. *Ann. Report Dept of Agric. Uganda for the nine months ending 31st December 1920*, p. 43-46.
837. SNOWDEN (J. D.). — 1922. Annual Report Department of Agriculture Uganda for the year ended 31st December 1921, 87 p., Kampala.
841. SREENIVASAN (M. S.). — 1968. Progress report on screening coffee selections and collections with races of leaf rust fungus at Central Coffee Research Institute. *Indian Coff.*, **32**, 10 : 299-304, 5 tabl.
842. SREENIVASAN (M. S.), CHINAPPA (C. C.). — 1968. Occurrence of a new physiologic race of coffee rust. *Indian Coff.*, **32**, 3 : 94-99.
843. SRIDHAR (T. S.), SUBRAMANIAN (S.). — 1968. Studies on the leaf rust (*Hemileia vastatrix* B. + Br.) of coffee (*Coffea arabica* L.) I. Proprietary formulation vs Bordeaux. *Riv. Patol. Veg.*, Pavia, ser. IV, **4**, 1 : 25-32, 3 tabl.
846. STANER (P.). — 1929. Les maladies du caféier dans l'Ituri et le Kivu. Rapport Phytopathologique. *Bull. Agric. Congo Belge*, XX, 1, p. 129-140.
855. STEVENSON (J. A.). — 1926. Foreign plant diseases. A manual of economic plant diseases which are new to or not widely distributed in the United States. Misc. Publ., U. S. Dept Agric., 198 p., Washington.
856. STEVENSON (J. A.), BEAM (R.). — 1953. An annotated bibliography of coffee rust (*Hemileia* sp.). *Spec. Publ. Plant. Dis. Surv.*, 3, 80 p.
858. STEYAERT (R. L.). — 1930. Congo. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, LXIII (2^e Sér., XIII) 1, p. 46-47, 2 pl. (1 vol.).
859. STEYAERT (R. L.). — 1933. Quelques maladies observées sur les plantes économiques au Congo Belge. Journées d'Agron. Coloniale 1933 : 473-484.
861. STEYAERT (R. L.). — 1946. Plant Protection in the Belgian-Congo. *Sci. Mon.*, N. Y., LXIII, p. 268-280, 7 fig.

862. STEYAERT (R. L.). — 1948. Contribution à l'étude des parasites des végétaux du Congo belge. *Bull. Soc. Bot. Belg.*, LXXX, 1, 2, p. 11-58, 6 pl.
868. STORCK, JACOB (P.). — 1882. The coffee leaf disease. *Gard. Chron.*, 17 : 219-220.
878. SUNDARAM (S.). — 1949. *Plant. Chron.*, 44, 24, p. 659-661.
880. SWAINSON (O. J.). — 1948. Ann. Rept of the Depart. of Agriculture Zanzibar Protectorate 1947. 55 p., 1 graph.
893. TAI (F. L.). — 1947. Chine. *Farlowia*, III, 1, p. 95-139, 27 fig.
897. TARR (J. A. J.). — 1954. Soudan. *FAO. Pl. Prot. Bull.*, 2, 11, p. 161-165.
898. TASCHEJIAN (E.). — 1934. Identificazione fisiologica di differenti linee di *Coffea arabica*. *L'Agric. Colon.*, 28 : 428-431.
905. TEODORO (N. G.), GOMEZ (E. T.). — 1926. *Philipp. Agric. Rev.*, XIX, 3, p. 249-257.
911. THIRUMALACHAR (M. J.), SWAMY (B. G. L.), BASHEER AHMED-KHAN. — 1943. *Indes. J. Mysore Univ.*, N. S., Sect. B, III, 2, p. 195-204, 23 fig.
912. THIRUMALACHAR (M. J.), NARASIMHAN (N. J.). — 1947. *Indes. Ann. Bot. (Lond.)*, N. S., XI, 41, p. 77-89, 15 fig.
917. THISELTON DYER. — 1880. The coffee leaf disease of Ceylon and Southern India. *Quarterly Journ. of Micro. Sc.*, p. 119-129, 6 pl.
922. THOMAS (K. M.). — 1924. Some coffee diseases of South India and their control. *Planters' chron.*, XIX, 41, p. 697-704.
925. THOMAS (K. M.). — 1930. Some observations on varietal resistance to « rust » of coffee. Repr. from *Madras Agric. Journ.*, Nov. 1929, 7 p., 2 pl.
926. THOMAS (K. M.). — 1948. *Mon. Bull. Indian Coffee Bd.*, 12, 6, p. 5-6.
927. THOMAS (K. M.). — 1949. First Ann. Rept of the Research Dept of the Indian Coffee Board (1947-48). *Bull. Res. Dep. Indian Coffee Bd*, 1, 38 p.
928. THOMAS (K. M.). — 1950. Second Ann. Rept of the Research Dept of the Indian Coffee Board (1948-49). *Bull. Res. Dep. Indian Coffee Bd*, 2, 54 p.
929. THOMAS (K. M.). — 1953. *Bull. Indian Coffee Bd Res. Dep.*, 5, 80 p.
930. THOMPSON (A.). — 1932. Mycological notes. *Malayan Agric. Journ.*, XX, 6, p. 307-309.
933. THWAITES (G. H. K.). — 1871. Report of the Director of the Royal Botanic Garden, Peradeniya.
936. THWAITES (G. H. K.). — 1874. The Ceylon coffee fungus. *Quarter. Jour. Micro. Sci.*, 14 (n. ser.) : 298-300.
937. THWAITES (G. H. K.). — 1874. The Ceylon coffee fungus. *Gard. Chron.*, 1 : 725-726.
944. TIXIER (P.). — 1955. Les caféiers des Bolovens. *Journ. d'Agric. Trop. et de Bot. Appliquée*, 10-11, p. 530-531.
970. ULTEE (A. J.). — 1927. Java verslag over de werkzaamheden van het Proef-station Malang in het year 1926. *Meded. Proefstat. Malang*, 62, 40 p.
987. VAN HALL (C. J. J.). — 1921. Indonésie. *Med. van. het. Inst. voor Plantenziekten*, 46, 50 p.
988. VAN HALL (C. J. J.). — 1923. Indonésie. *Meded. Inst. voor Plantenziekten*, 58, 42 p.
989. VAN HALL (C. J. J.). — 1924. Ziekten en phagen der culturgewassen in Neerlandsch Indië in 1923. *Meded. Inst. voor Plantenziekten*, 64, 47 p.
995. VENKATARAMAIAH (G. M.). — 1965. Preliminary observations on the use of inorganic salts as eradicant fungicides for the control of leaf rust disease of coffee. *Indian Coffee*, 29, 10, 8-16, 2 fig. 3 tabl.
997. VENKATARAYAN (S. V.). — 1945. The mycology Section. *Mysore Agric. J.*, XXIII, 2, p. 58-60.
1000. VIENNOT-BOURGIN (G.). — 1949. Les champignons, parasites des plantes cultivées. 1850 p., illus. 2 vol., Paris.
1001. VISHVESHWARA (S.), NAG RAJ (T. R.). — 1960. Nuclear status in basidiospores of *Hemileia vastatrix* B. + Br. *Mon. Bull. Indian Coffee Bd*, 24, 3, p. 118-119, 3 fig.
1002. VISHVESHWARA (S.), NAG RAJ (T. R.). — 1962. Some abnormalities of teliospore germination in *Hemileia vastatrix*. *Phyton*, 18, 1, p. 75-79, 22 fig.
1003. VIZIOLI (J.). — 1922 : Brésil. *Bol. de Agric.*, São-Paulo, ser. XXIII, 3-4, p. 87-118, 5-6, p. 152-188, 1 carte, 3 pl.
1008. WALLACE (G. B.). — 1928. Diseases of coffee. Tanganyika Dept of Agric., Leaflet 1, 7 p.
1010. WALLACE (G. B.). — 1930. Coffee rust disease. Tanganyika Dept Agric., Myc. Leaflet, 1 : 1-2.
1014. WALLACE (G. B.). — 1933. Report of the Mycologist. Ann. Rept Dep Agric. Tanganyika Territory, p. 78-80.
1017. WALLACE (G. B.). — 1936. Plant Pathology. Rep. Dep. Agric. Tanganyika 1935, p. 104-113.
1020. WALLACE (G. B.). — 1938. Report on plant pathology. Rep. Coffee Res. Exp. Sta. Lyamungu, Moshi, 1937. Pamphl. Dep. Agric. Tanganyika, 22, p. 50-51.
1026. WALLACE (G. B.). — 1940. Report of plant pathologist. Coffee Res. and Exp. Sta., Lyamungu, Moshi, Fifth Ann. Report, 1938 : 26-29.
1027. WALLACE (G. B.). — 1941. Rep. Coffee Res. Exp. Sta., Lyamungu, Moshi, 1939. Pamphl. Dep. Agric. Tanganyika, 27, p. 17-18.
1028. WALLACE (G. B.). — 1941. Rep. Coffee Res. Exp. Sta., Lyamungu, Moshi, 1940. Pamphl. Dep. Agric. Tanganyika, 28, p. 15-17.
1032. WALLACE (G. B.). — 1954. Annual reports of the plant pathologist, Lyamungu, Moshi. Rep. Dep. Agric. Tanganyika, 1952, p. 55-60, 1953 (Part. II), p. 71-77.
1033. WALLACE (G. B.). — 1955. Annual Report of the plant pathologist, Lyamungu, Moshi, for the year 1954. Rep. Dep. Agric. Tanganyika, 1954 (Part. II), p. 70-76. *Rev. Myc.*, XXI, suppl. colon., n° 2, p. 129, 1956.
1034. WALLIS (J. A. N.), FIRMAN (I. D.). — 1960. Preliminary report on the control of coffee leaf rust by low-volume spraying. *Kenya Coffee*, 25, 298, p. 417-419, 421 ; 2 graph.
1035. WALLIS (J. A. N.), FIRMAN (I. D.). — 1962. Spraying Arabica coffee for the control of leaf rust. *E. Afric. Agric. For. J.*, 28, 2, p. 89-104, 5 graph.
1047. WARD (H.), MARSHALL. — 1882. Researches on the life history of *Hemileia vastatrix*. *Journ. Bot.*, 20 (n. ser.), 11, 255.
1048. WARD (H.), MARSHALL. — 1882. On the morphology of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. the fungus of the coffee disease of Ceylon. *Quarterly Journ. of Micro. Sc.*, nouvelle série, 22, p. 1-11, pl. I-III.
1049. WARD (H.), MARSHALL. — 1882. Researches on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the « coffee leaf disease ». *Journ. Linn. Soc. (Botany)*, 19 : 299-335.
1054. WATERSON (J. M.). — 1954 (Cameroun). Annual report of the Agricultural Department, Nigeria, 1951-52. V + 76 p.
1058. WELLMAN (F. L.). — 1952. Peligro de introducción de la *Hemileia* del café a las Américas. *Turrialba*, 2, 2, p. 47-50.
1059. WELLMAN (F. L.). — 1953. The Americas face up the threat of coffee rust. *Foreign Agriculture*, 17, 3, p. 1-7.
1060. WELLMAN (F. L.). — 1954. Evidencia de resistencia a las enfermedades en los cafetos. *Turrialba*, 4, 2, p. 52-57.

1061. WELLMAN (F. L.). — 1955. Rust, Oriental rust. Leaf disease, leaf rust. Coffeedisease, insects and weeds controlled by chemicals. *Advances in chemistry series*, 13, p. 43-63, mars.
1062. WELLMAN (F. L.). — 1956 : Enfermedades, insectos y malezas del café y su control mediante el uso de productos químicos. Public. Miscelanea n° 7, Turrialba, Costa Rica, Inst. Inter-Americano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A., 43 p.
1072. WIEHE (P. O.). — 1948. Ile Maurice. Comm. Mycol. Inst. Kew, Mycological Papers n° 24, 39 p., Dec. 1948.
1080. WILLIAMS (R. O.). — 1947. Annual Report of the Department of Agriculture, Zanzibar Protectorate, for the year ended 31st December 1946, 45 p., 1 graph.
1102. ZIMMERMANN (A.). — 1900. Werkt het ontsmetten met kopersulfaat en kalk nadeelig of het kiemvermogen van koffiezaad ? *Teysmannia*, XI, 10.
1106. ZIMMERMANN (A.). — 1904. Eenige pathologische en physiologische waarnemingen over koffie. *Med. uit's Lands Plantentuin*, 67 : 1-105, illus.
1107. — 1879. The campaign of 1879 against coffee leaf disease, Colombo.
1114. — 1934. Vegetable oils as spreads for Bordeaux mixture. Mysore Coffee Exper. Stat., Circ. 2, 3 p.
1120. — 1950. *Chron. Nat.*, **106**, 6, p. 246-275 (Indonésie).
1122. — Sixth Annual Report of the Research Department of the Indian Coffee Board (1952-53). Bull. n° 6, 91 p.
1123. — 1954 : Togo. Renseignements phytosanitaires. *Bull. Prot. Vég.*, I, p. 20-23.
1126. — 1954. Annual Report of the Agric. Dpt, Nigeria, 1951-52, V + 76 p.
1128. — 1955. Department of Agriculture of Kenya. Annual Report 1954, vol. I, 78 p.
1129. — 1955. Department of Agriculture of Kenya. Annual Report 1954, vol. II, 253 p.
1131. — 1956. Indian Coffee Board. Eighth Annual Report of the Research Depart. of the Coffee Board 1954-1955. Balehonnur, 54 p., Bull. n° 8.
1132. — 1956. Annual Report of the Dpt of Agric., Gold Coast, for the year 1953-54, 30 p.
1136. — 1957. Annual Report of the Depart. of Agric. Ghana, for the year 1954-1955. 53 p., 1 carte.
1137. — 1957. *In Bulletin du Service de défense des cultures de la France d'Outre-Mer*, juill.
1138. — 1958. Colonial Research 1957-1958. 347 p., Londres, H. M. Stationery Office.
1139. — 1959. Annual Report of the Department of Agriculture Tanganyika, 1958, Part II, 33 p.
1140. — 1959. Annual Report of the Department of Agriculture, Ghana, for the year 1956-57, 84 p., 6 pl., 1 carte.
1144. — 1962. Record of research work carried out in 1960. Dept. of Agric. Tanganyika, 11 + 116 p., cyclostyled.
1147. — 1963. Annual Report 1962-63. Coffee Research Station Ruiru and Coffee Research Services Kenya, VIII + 69 p., 1 fig., 4 graph., 67 tabl.
1149. — 1964. Annual Report 1963-64. Coffee Research Station Ruiru and Coffee Research Services Kenya, VIII + 70 p., 4 graph., 79 tabl.
1151. — 1964. Fungicides. III. Tanganyika Res. Trop. Pesticid. Res. Inst., Arusha, 1963, 24-25.