

MISES AU POINT PHYTOPATHOLOGIQUES

## Biologie de la rouille du Caféier

Par RAZAFINDRAMBAHY RAZAFINDRAMAMBA.



La rouille du Caféier est une maladie causée par deux Champignons : l'*Hemileia vastatrix* Berk. et Br. et l'*Hemileia coffeicola* Maubl. et Rog.. Ainsi que le rappelait un récent travail bibliographique (75), elle est connue depuis fort longtemps et les dégâts qu'elle cause sont considérables; c'est ainsi qu'à Ceylan on évalue à plus de 350 millions de francs les pertes subies au cours des dix dernières années.

Elle se développe surtout sur le *Coffea arabica*, Caféier considéré comme produisant le café de meilleur arôme; les planteurs se trouvent fâcheusement obligés de remplacer ce Caféier par d'autres espèces plus résistantes à la maladie mais donnant un café de qualité inférieure.

L'étude de la rouille du Caféier est particulièrement importante pour les pays dont la production de café est une des bases de l'économie; aussi maints auteurs se sont-ils penchés sur ce problème. Après un bref rappel de l'historique de la maladie et de sa répartition géographique, nous préciserons les symptômes causés par les deux *Hemileia* incriminés et les différences morphologiques entre les deux Champignons. Nous ferons ensuite le point des études biologiques en insistant d'une part sur le cycle de reproduction du parasite et d'autre part sur les caractères du parasitisme des *Hemileia* et la résistance des Caféiers. Nous déterminerons ainsi les facteurs essentiels d'expansion de la maladie et envisagerons l'orientation des recherches dont la poursuite nous paraît intéressante.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Références

7 NOV 1967

n° 1779

**Historique.**

L'origine de la rouille du Caféier n'a jamais été exactement précisée; son apparition et son extension brusque dans le monde demeurent en partie inexplicées. Selon Sadebeck et Hennings, le parasite serait originaire de l'Afrique centrale, du Nyassaland (73).

La maladie fut remarquée pour la première fois en Afrique par un explorateur dans la région du Lac Victoria-Nyanza sur les feuilles du Caféier sauvage (94) (95). Elle ne fut signalée scientifiquement qu'en 1868 par le Dr Thwaites du Jardin Botanique de Peradenya à Ceylan, dans le district de Madulsima, dans la partie montagneuse du sud-est de l'île, et l'année suivante sur le continent asiatique (14). Berkeley et Broome en firent une description sommaire. Marshall, Ward et Burk (1882-1889) ont précisé que la maladie était causée par une Urédinée. R. Abbay a décrit des cystides qui, d'après Delacroix, seraient des urédospores avortées. Marshall Ward détermina le premier les conditions de germination de l'urédospore; Bük, en 1889, précisa le temps strictement nécessaire pour que les urédospores puissent germer en présence d'eau (28 et 9).

Tout récemment Sundaram, Mayne, Thomas (1948-1956) ont déterminé qu'il y avait quatre races biologiques d'*Hemileia vastatrix* et Branquinho d'Oliveira (10) en a même isolé huit. Des études biologiques variées se poursuivent actuellement surtout aux Indes, au Portugal, au Brésil et en Afrique.

**Répartition géographique.**

Depuis 1868, date de l'invasion de Ceylan par le parasite, des ravages ont été observés dans presque tous les pays producteurs de café : en 1870 aux Indes, en 1876 à Sumatra, en 1878 au Natal, à Java et aux Iles Fidji; on a signalé la rouille en 1880 à l'île Maurice, en 1882 à la Réunion, en 1886 à Madagascar, en 1888 au Tonkin, en 1894 à Samoa et aux Nouvelles-Hébrides, en 1911 en Nouvelle-Calédonie, en 1912 en Afrique Orientale Anglaise (16), en 1913 au Kenya (9). On l'a trouvée ensuite en Afrique centrale, Afrique du sud, en Rhodésie, au Congo belge (43), en Malaisie, à Madras, en Birmanie et aux Iles Célèbes (11).

En 1946, Williams (99) la remarque pour la première fois à Zanzibar, sur les feuilles du *Coffea liberica*; puis, en 1951, on constate l'attaque des Caféiers des Bolovens (89). L'Afrique occidentale, qui était indemne jusqu'à cette date, se trouve alors envahie : le Cameroun britannique (1951-52) (3), la Côte d'Ivoire (1952-53) (4, 15). En septembre 1953, en Côte d'Ivoire, l'*Hemileia vastatrix* se trouve sur le *Coffea liberica* et sur les variétés à petites et grandes feuilles de *Coffea canephora* (8). La même année on le rencontre au Soudan (83) et en 1953-54 au Togo anglais. Il apparaît au Dahomey en 1952 (50).

Seules les Amériques, les Antilles, et la Chine méridionale semblent donc indemnes jusqu'à maintenant (22, 45, 41, 98).

#### **Symptômes externes.**

L'*Hemileia vastatrix* et l'*Hemileia coffeicola* attaquent surtout les feuilles des Caféiers; ils se développent rarement sur les fruits, Zimmerman (28) les a cependant rencontrés à Java sur ceux de *Coffea liberica*. Bouriquet (9) note que la rouille peut se développer aussi sur les parties extrêmes de très jeunes rameaux; l'attaque est peu intense sur les Caféiers âgés de trois ou quatre ans, et se fait surtout au moment de la fructification.

Les feuilles attaquées par l'*Hemileia vastatrix* présentent au début de l'infection, à la face inférieure, des taches huileuses, translucides, vert clair, nettement visibles par transparence (5, 15, 25, 73). Plus tard, la surface de ces taches devient pulvérulente, jaune orangé. Ces taches sont nombreuses, arrondies et couvrent une surface bien définie.

L'*Hemileia coffeicola*, au contraire, couvre uniformément une étendue plus ou moins grande, et souvent toute la face inférieure du limbe, d'une épaisse couche pulvérulente de spores; l'attaque se généralise sans que l'hôte réagisse, si bien que la face supérieure des feuilles demeure longtemps verte (72).

#### **Morphologie.**

##### *Mycélium.*

Une coupe à travers une feuille malade met en évidence un mycélium intercellulaire et un mycélium intracellulaire ou suçoirs.

L'*Hemileia coffeicola* possède un mycélium intercellulaire peu abondant, aux filaments non ramifiés, presque rectilignes qui s'enfoncent perpendiculairement à la surface à travers le parenchyme lacuneux sans pénétrer l'assise palissadique; ils cheminent rarement dans le plan de la feuille. Ce mycélium est essentiellement caractérisé par le très fort diamètre des filaments qui se renflent depuis les couches profondes du mésophylle jusqu'aux chambres sous-stomatiques. Il forme ensuite, dans les assises superficielles, une série moniliforme d'articles vésiculeux de 20 à 30  $\mu$ . de diamètre. Deux ou trois filaments par stomate envoient à l'extérieur des stérigmates ramifiés, groupés en capitules serrés, globuleux ou coniques, porteurs d'uréospores (72).

Le mycélium intercellulaire de l'*Hemileia vastatrix* est très développé: ses hyphes se cloisonnent et se ramifient. Ils ont un aspect tortueux mais leur diamètre (5 à 6  $\mu$ .) reste constant sur toute leur longueur. Les filaments se trouvent surtout dans les tissus lacuneux et dans les assises palissadiques chez les Caféiers résistants. Les fla-

ments se rassemblent dans les chambres sous-stomatiques et envoient par les stomates de nombreux stérigmates, en bouquet à l'extérieur, et portant des spores terminales (9, 66, 73, 95).

Le mycélium de l'*Hemileia vastatrix* porte sur toutes ses parties des suçoirs ovales, réniformes ou irréguliers, qui pénètrent dans les cellules à travers la membrane au moyen d'un pédicelle filiforme. Ils sont très réfringents et se prêtent facilement à la coloration.

L'*Hemileia coffeicola* se distingue par ses suçoirs peu nombreux, formant des masses volumineuses, lobées, irrégulières, digitées, occupant presque toute la cellule dans laquelle ils pénètrent; ils se relient au mycélium par un fin pédicelle (72, 5, 73, 9).

#### Spores.

Les urédospores de l'*Hemileia vastatrix* revêtent des formes très variées suivant la position qu'elles ont occupées dans les sores; il en résulte une déformation par compression mutuelle. Elles sont généralement triangulaires ou pyramidales, les faces en contact avec les autres spores demeurant lisses, tandis que les autres faces s'ornent de petites aiguilles grêles, longues de 3 à 4  $\mu$ . et réparties irrégulièrement. Leur diamètre varie de 25 à 30  $\mu$ . Elles renferment des gouttelettes huileuses jaune-orangé.

L'*Hemileia coffeicola* possède des urédospores de forme triangulaire et pourvues d'aiguillons plus gros mais moins nombreux que ceux des spores de l'*Hemileia vastatrix*.

Il semble que l'*Hemileia coffeicola* forme des téléutospores plus souvent que l'*Hemileia vastatrix*, après les urédospores et dans les mêmes sores.

Pour l'*Hemileia vastatrix* la formation des téléutospores est irrégulière et se trouve sous la dépendance des conditions climatiques. Elles ont la forme d'une toupie et sont pourvues à la partie supérieure d'un gros apicule et d'une papille; elles sont entourées d'une membrane lisse, épaisse, sauf au sommet et mesurent 18 à 24  $\mu$  de diamètre vers la base (79).

Gopalkrishnan (42) dans son étude sur la morphologie du genre *Hemileia*, se fonde sur les types de sores pour distinguer les espèces; il décrit trois groupes :

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

— Le type « superstomatique A » où le plexus s'établit en faisceaux bulbiformes à la base, émergeant par la voie stomatique, sans rupture de 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 » et *L'Hemileia coffeicola* au type « superstomatique B » (42).

#### Cycle de reproduction.

La rouille n'est actuellement répandue que dans une partie du monde tropical : l'Amérique du Sud, par exemple, qui cultive pourtant l'espèce de Caféier la plus sensible à *L'Hemileia vastatrix*, en est dépourvue. Quelle en est la cause? Les opinions des auteurs diffèrent quant à la réponse.

Certains résolvent ce problème par l'étude du cycle de la reproduction, en insistant sur le rôle des téléutospores et de l'hôte intermédiaire. Comme le remarque A. Chevalier (14) : « 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. » Dans ce cas, il se formerait des écidies. 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 s'y maintenir, l'hôte intermédiaire faisant défaut. *L'Hemileia vastatrix* est hétéroïque, mais l'hôte intermédiaire est inconnu. Cependant la forme écidienne ne semble pas jouer un grand rôle dans le cycle de vie du Champignon à Madagascar, par exemple, car *L'Hemileia vastatrix* produit des spores en plus ou moins grand nombre suivant les saisons mais pendant toute l'année (9).

Le rôle des téléutospores est très discuté. Ainsi le « romba » (*Ocimum*), Labiée spontanée au voisinage des Caféiers, porte souvent des écidies; une relation avec la rouille serait possible, mais un essai d'infection a été négatif. L'expérience mériterait d'être reprise dans des conditions de température et d'humidité différentes.

D'autre part, l'apparition des téléutospores ne peut être définie. Ragūnathan, à Ceylan, a entrepris des observations périodiques sur des *Coffea arabica*, *robusta*, *liberica*, pendant un an. Durant cette période, il a trouvé des téléutospores chaque mois sauf pendant les mois d'Août et d'Octobre 1921 et le mois d'Avril 1922. Pour lui leur absence serait due probablement au développement d'un nouveau feuillage en Août et Avril, et aux grandes pluies d'Octobre. Il n'a pu établir aucune règle définie concernant les raisons d'apparition des téléutospores si ce n'est qu'elle est sous la dépendance des conditions climatiques (67). Pour Mallamaire (14), l'hôte écidien, inconnu, n'est nullement indispensable à la propagation de la maladie; la rouille passe l'été à l'état d'urédospores et la présence des téléutospores est

inutile pour qu'elle accomplisse son cycle (16). De nombreux chercheurs ont effectué des essais d'infection croisée de différents Caféiers avec des téléospores de diverses espèces d'*Hemileia* existant sur Rubiacées. Aucune n'a donné de résultats positifs : les divers *Aecidium* croissant sur Caféiers et autres Rubiacées n'ont aucun rapport biologique avec l'*Hemileia vastatrix*; les espèces d'*Hemileia* sur différentes Rubiacées sont distinctes les unes des autres (1, 16, 14, 84). Il est probable que les écidies de la rouille se trouvent sur une plante d'une famille fort différente de celle du caféier.

#### Virulence des diverses races d'*Hemileia*.

S'il est un fait frappant dans l'étude de la rouille, c'est bien les variations de la virulence de l'*Hemileia*. La rouille s'est parfois attaquée à des variétés de Caféiers, qui, auparavant, étaient indemnes : une telle infection demeurerait inexplicable. Des études ont montré que l'*Hemileia vastatrix* possédait des races physiologiques et biologiques (95, 96, 51). Mayne, en 1932, le premier, mit en évidence deux races d'*Hemileia* sur des feuilles détachées de Caféiers, conservées en boîte de Pétri contenant une solution nutritive (53). Il refit ses expériences sur de petits disques de feuilles flottant dans des boîtes de Pétri, et montra que les réactions différentes vis-à-vis de l'*Hemileia* des Caféiers variétés Kents et Coorg, reposaient sur l'existence de races physiologiques de la rouille (52). Ce fait permet d'expliquer les changements de virulence que la rouille a montrés à quelques années d'intervalle. Aux Indes où la lutte contre l'*Hemileia* a donné des résultats réels et encourageants, les chercheurs ont identifié quatre races de rouille à la station de Balehonnur (87, 3). Récemment Branquinho d'Oliveira a isolé huit races d'*Hemileia vastatrix* à partir de Caféiers provenant de l'Orient. L'une de ces races se montre comme la plus virulente parmi celles connues jusqu'ici (10, 2, 90). Pour Stevenson, Beam et Roger, l'*Hemileia coffeicola* pourrait n'être qu'une race physiologique de l'*Hemileia vastatrix*; il existe sur des Caféiers sylvestres et infecte très facilement le *Coffea arabica*. Mais la confirmation de cette hypothèse ne doit se faire qu'après un examen approfondi (72, 75).

Une autre explication de la susceptibilité nouvelle de variétés considérées comme immunes repose sur l'accroissement de la virulence du Champignon et non pas sur la dégénérescence des hôtes; Cramer donne l'exemple des attaques des *Coffea liberica*; pendant trente ans seul le *Coffea arabica* était atteint, puis le parasite s'est acclimaté peu à peu sur *Coffea liberica* qui est devenu sensible à la maladie (14).

#### Variations génétiques de l'hôte.

En ce qui concerne la plante-hôte, toutes les espèces de Caféiers sont sensibles, mais leurs réactions vis-à-vis de l'*Hemileia* (71) sont plus ou moins intenses.

La majorité des plants *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. Même cultivé dans un milieu convenable, mais en dehors de son pays d'origine, il subirait à la longue, semble-t-il, une désacclimatation et par suite une moindre résistance (73). La variété d'*Arabica* « Kents » cultivée aux Indes depuis 1920 est plus résistante que la variété « Coorg », qui, depuis 1880, a perdu graduellement ses capacités de résistance à la maladie. Des croisements entre les variétés d'*Arabica* susceptibles et les *Coffea liberica* tolérants ont été effectués et les résultats obtenus sont satisfaisants dans beaucoup de cas. Le croisement entre les variétés *Arabica* et *Congoensis* donne des résultats semblables (94, 95, 96, 98, 37). Beaucoup de types sauvages de *Coffea arabica* se sont montrés expérimentalement très résistants à l'*Hemileia* (38). Pour résoudre le problème de la reprise des plantations de *Coffea arabica* dans les zones peu élevées, Maistre a entrepris la création de variétés résistantes par hybridation interspécifique, suivie de rétrocroisements : par exemple le croisement entre *Coffea canephora* et *Coffea arabica* (49).

Thomas a trouvé que la variété S 446 de *Coffea arabica*, à Chethalli aux Indes, résistait à la rouille, ne présentant que quelques taches et ne souffrant pas de défoliation intense (86).

Narasimhaswamy et Sundaram ont obtenu l'hybride S 288 qui résiste aux races de rouille infectant les variétés Coorg et Kent (61, 78).

La sélection K 7 (69) est capable, au Kenya, de réagir à toutes les races de rouille, mais, soumise à certaines conditions dans d'autres régions, elle ne peut résister et devient malade.

Les Caféiers originaires de l'Afrique tropicale, centrale et équatoriale opposent le plus de résistance à la rouille; les plus résistants sont par ordre décroissant : *C. robusta*, *C. canephora*, *C. congoensis*, *C. excelsa*, *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 (79). Fauchère signale que le *Coffea congoensis* est la seule espèce à Madagascar sur laquelle il n'a jamais vu une seule tache de rouille, mais il constate par la suite des variations très marquées et quelques taches sur les feuilles (37).

Cette variation de résistance s'observe encore sur d'autres races (14) : ainsi, à Java, les *Coffea canephora* et *excelsa* ne sont plus complètement résistants après vingt ans d'expérience. L'immunité contre une 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 plants (89). D'autre part, même dans leurs pays d'origine, les Caféiers indemnes perdent leur immunité après deux ou trois ans de culture; une race résistante à un moment donné peut cesser de l'être quelques années après (91). Mayne, Thomas, Narasimhaswamy 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 à la station de recherche sur le Caféier de Ruiru (58, 96).

Une étude anatomique de la feuille de certaines variétés résistantes à la rouille, a montré chez toutes de nombreux globules lipidiques ou cireux, répartis sans ordre apparent, dans les cellules de l'épiderme inférieur et dans celles du parenchyme. Dans les feuilles jeunes les globules sont petits, nombreux et se 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 beaucoup plus nombreux et la coalescence se fait plus tard que chez les variétés susceptibles. Une corrélation a ainsi été 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 le 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 promycélium dans ses efforts pour pénétrer dans la feuille, surtout durant les premiers stades de développement de celle-ci (83, 95).

Trouver une explication à la résistance de certains Caféiers à la rouille, reste néanmoins un problème à résoudre.

#### **Influence de l'hôte sur le développement de la maladie.**

Comme pour toute maladie cryptogamique, le développement de la rouille dépend de l'action du milieu à la fois sur l'hôte et sur le parasite.

L'infection du Caféier par les urédospores se fait habituellement par les jeunes feuilles sorties du bourgeon, voire même dans le bourgeon, et se manifeste sur la deuxième ou la troisième paire de feuilles en dessous de celui-ci (9).

Pour qu'une spore pénètre dans la feuille, il est nécessaire qu'elle se trouve sur la face inférieure et que les filaments qu'elle émet, rencontrent un stomate ouvert, car une perforation directe de la cuticule de la feuille ne paraît pas possible. Or, une feuille de Caféier ne porte pas de stomates à la face supérieure, mais est revêtue d'une couche ininterrompue de cuticule, aussi Ward n'a-t-il pu obtenir d'infection par la face supérieure de la feuille qu'en enlevant par une coupe tangentielle préalable, la cuticule, mettant ainsi à nu le parenchyme sous-jacent. Les filaments germinatifs se montrent de même incapables de perforer la plus mince cuticule de la face inférieure du limbe.

L'âge de la feuille et la variété de Caféier (28) ne sont pas sans influence sur les possibilités de pénétration et de développement des filaments germinatifs. Les feuilles jeunes, encore enroulées, mais dont les stomates sont déjà suffisamment différenciés, favorisent par leur disposition la rétention d'eau nécessaire à la germination de la spore; en plus la faible épaisseur des membranes et le défaut d'incrustations facilitent singulièrement l'extension du mycélium et raccourcit la période d'incubation du parasite. Les feuilles étalées, et par conséquent déjà d'un certain âge, présentent les premières taches vers leur pointe ou vers la partie qui retient le mieux l'eau pendant au moins vingt-quatre heures; la période d'incubation est plus longue chez ces feuilles âgées. L'épaisseur et l'incrustation des membranes foliaires varient sensiblement d'une variété de Caféier à une autre et constitueraient une explication possible de la résistance de l'hôte.

Une fois à l'intérieur de la plante, le jeune filament mycélien doit vaincre la réaction de la plante elle-même. Quelques variétés de Cafésiers ne permettent pas au Champignon de se développer suffisamment pour former des spores, telle est la sélection K 7 du Kenya (88). D'autre part, l'état sanitaire général de l'hôte dépend du milieu et surtout, des facteurs climatiques (humidité, température, éclaircissement) et des façons culturales.

Les peuplements de Cafésiers sauvages se tiennent dans le Sud de l'Éthiopie, entre 1600 et 2000 m. d'altitude par 6 à 9° de latitude Nord (21, 80, 81). Le climat est subtropical d'altitude avec une couverture du ciel de type équatorial, nébulosité 6 à 9; les Cafésiers se trouvent dans la strate basse avec des *Caressa*, des *Gymnosporia* et des *Sideroxylon*. Le Caféier vit en milieu forestier, donc sur des terres poreuses, à humus peu acide, où il se maintient en fleurissant peu. Plante de sous-bois, il pousse à l'ombre et à l'abri du vent. Dans son milieu naturel le Caféier ne porte aucune trace de rouille. Si ces exigences naturelles ne sont pas remplies dans les plantations, les Cafésiers souffrent et ne peuvent présenter une résistance suffisante aux parasites; le Caféier demande en général 90 à 300 cm. d'eau par an, l'optimum d'humidité se place entre 200 cm. et 300 cm. et l'optimum de température entre 17°3 et 29°3 (89). Un facteur de première importance pour les plantations est l'éclaircissement. Au Congo belge les plantations prospèrent quand elles sont protégées par certains arbres contre l'ardeur du soleil. Exposé en plein soleil le Caféier perd 14 litres à 16 litres d'eau par vingt-quatre heures, quantité que le sol ne peut restituer chaque jour. Sous un excès de lumière, la fructification et la floraison deviennent irrégulières, il y a surproduction au très jeune âge, et la plante s'épuise vite; mais un excès d'ombrage n'en est pas moins néfaste. L'ombrage restitué aux Cafésiers leur habitat naturel et beaucoup d'avantages: il procure l'ambiance humide des régions d'origine, il protège contre les vents froids et les gelées, contre la

chaleur directe du jour et le refroidissement intensif durant la nuit (39). De l'ombrage dépend toute la vigueur et toute la production d'une plantation, l'ombrage étant absent ou mal réglé, le Caféier ne se trouve plus à même de résister aux épiphyties. Un éclaircissement convenable est nécessaire pour chaque espèce et pour chaque condition de milieu et de climat. Cette condition se heurte, en pratique, à des difficultés car il est nécessaire de calculer l'intensité de lumière filtrée à travers l'ombrage et de tenir compte de la nébulosité locale, moyenne et saisonnière, de la durée et de l'intensité de la saison sèche (73). Coste a essayé d'établir sous forme du tableau suivant l'intensité optimum de l'ombrage pour chaque espèce de Caféier en tenant compte de son écologie (24) :

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 des régions à nébulosité élevée 5 à 7 .....	0
<i>C. abeokertae</i>	Arbuste côtier, se trouvant à une altitude inférieure à 100 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. Kouillon</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

L'ombrage du Caféier doit être strictement établi en rapport avec l'espèce cultivée et le climat local. En Nouvelle-Calédonie, les plantations de montagne suffisamment ombragées et humides, là où le sol reçoit peu de soleil ne présentent pas la maladie, ou si elle existe, les dégâts se limitent à la chute de quelques feuilles à la fin de la petite saison sèche, tandis que dans les plantations de plaine, insuffisamment ombragées, la défoliation de l'arbuste est presque complète (25). En Oubangui, à l'endroit où la forêt a été trop éclaircie, les Caféiers sont moins vigoureux, moins productifs et souvent malades; on y remédie par la plantation de *Cassia simea*, arbres à croissance et développement rapides et, partant, très utiles pour combler les espaces vides (70).

Pour Thwaites (9) la rouille est une maladie des arbustes cultivés en terres pauvres; à de basses altitudes mais avec l'aide d'une bonne fumure le rendement est bon malgré l'*Hemileia*. Cette influence salulaire du fumier à haute dose a été signalée aussi par Ward. Bouriquet observe qu'à Madagascar les *Coffea arabica* poussant dans les fossés entourant les villages se développent bien, malgré l'*Hemileia* et il se pose la question : « Est-ce dû à l'inocuité du parasite ou à la réalisation d'un ensemble de conditions favorables, permettant à la plante de supporter les attaques, car dans ces endroits le sol est constamment fertilisé par des détritiques de toute nature? » Lorsque le stock d'humus diminue, le Caféier se trouvant dans des conditions défavorables pour résister aux épiphyties, les ravages faits par le parasite n'ont rien d'étonnant; par contre lorsque les principes d'hygiène sont respectés et les exigences écologiques de l'espèce remplies, la plante peut se défendre d'elle-même. Les arbustes, chlorotiques, touffus, chargés de fruits sont les plus attaqués. Chez *C. robusta*, la présence de la rouille révèle les conditions malsaines auxquelles sont soumis certains arbres (77, 34). Dans le Bassin du Cavally, les plantations les plus atteintes sont également celles où l'on note avec le plus de netteté des troubles de nutrition (15).

On rencontre pourtant une opposition à cette hypothèse : c'est celle de Rayner qui écrit dans son article « Leaf Rust » : « Il est certainement vrai qu'une plante en bonne santé paraît souvent plus résistante qu'une plante en mauvais état. Cependant des expériences effectuées à la station de recherche, 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'il paraissait à première vue que l'attaque de la rouille était bien plus grande sur les premiers. Il apparaissait 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 cons-

tatée » (69). Il conclue que de telles contradictions 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 réduisent probablement l'effet de la rouille : mulch, pulvérisations, taille, engrais azotés, engrais potassiques.

#### **Influence du vent sur la maladie.**

La virulence de la rouille, l'apparition des épiphyties dans les différents pays sont sous la dépendance du milieu physique et surtout du climat : vent, pluie et humidité, température, altitude. Nous considérerons successivement l'influence de ces divers facteurs sur le parasite.

Le vent est le principal moyen de dissémination de la maladie, les vents forts détachent les spores de leurs sores et les transportent à une distance assez éloignée. Mayne, 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 (55). Mais il est à noter que le vent lui-même est capable de jouer un rôle opposé : il peut empêcher le développement d'attaques sévères de la rouille; c'est ainsi qu'aux Indes, lorsque les vents du Sud-Ouest sont faibles pendant la saison des pluies, les plants exposés à ces vents ne sont pas, durant la mousson, aussi infectés par la maladie que ceux abrités des vents (18).

Une libre circulation d'air autour des arbres et à l'intérieur des plantations réduit l'infection en permettant aux feuilles de sécher rapidement. De là découle un moyen efficace pour réduire partiellement l'étendue des dégâts causés par la rouille : l'émondage des arbres.

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.

#### **Influence de la pluie et de l'humidité sur la maladie.**

La condition nécessaire pour que la spore germe est qu'il se forme à la surface du limbe un film d'eau de pluie, ce qui implique l'existence d'eau de pluie ou au moins de gouttes de rosée (69, 73). La feuille doit rester humide pendant au moins vingt-quatre heures, avant que la spore ait pu germer et le tube germinatif pénétrer dans le limbe; pour prévenir les infections il suffit d'observer et de noter les jours ou les périodes de l'année où les feuilles conservent un film d'eau pendant vingt-quatre heures ou plus. Si la feuille sèche avant vingt-quatre heures, le jeune Champignon ne pourra survivre. Tous les facteurs qui favorisent le maintien de l'humidité, agissent donc favorablement sur la germination et la pénétration du parasite : humidité

élevée de l'atmosphère, pluies légères, rosées, plantations touffues (15). L'urédospore peut germer simplement à l'air humide, mais la submersion totale se montre défavorable à la croissance des filaments promycéliens. Ward considère que l'humidité constitue le facteur climatique primordial pour le développement du parasite, son excès étant presque toujours favorable. Mayne considère que la germination des spores est impossible sans eau liquide (57). Roger prend en considération l'humidité atmosphérique : elle ne suit pas obligatoirement des variations parallèles à la pluviométrie car un abaissement de température au cours de certaines saisons provoque une forte 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 la formation de rosée sur les feuilles de l'hôte.

D'autre part, on sait que la sécheresse prolonge la durée de l'incubation (29).

Au cours de l'année, l'intensité de la maladie subit un cycle très net : le maximum d'infestation se trouve aux mois de mai-juin-juillet, c'est-à-dire au début de la saison fraîche et à la fin de la petite saison sèche (20, 68). Pendant le reste de l'année, l'infestation ne se manifeste que par de rares feuilles atteintes, disséminées dans la plantation.

Rayner, étudiant l'influence de la pluie sur le développement de la maladie au cours de trois 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'infection. 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 en 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 vingt-quatre heures, d'où l'infection au début de la grande saison de pluie. Ces nouvelles taches forment des spores et il en résulte une recrudescence de la maladie, favorisée par l'humidité plus élevée qu'au même moment de l'année précédente. A la fin de l'année 1954, un bon nombre de spores assure l'infection pendant la petite saison de pluie 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 sont produites des spores qui provoquent de nouvelles infections en novembre-décembre, si bien qu'en janvier 1956 la quan-

tité de spores présentes sur les hôtes était si considérable qu'on pouvait prévoir une attaque grave l'année suivante (69).

En général à basse altitude et dans les régions intertropicales, l'humidité reste le facteur prépondérant du développement de la rouille qui se propage pendant la saison des pluies. Dans les régions équatoriales où la culture de *C. 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 en saison sèche plutôt qu'en saison pluvieuse (73). Wallace trouve ces mêmes résultats au Tanganyika (91, 92), ainsi que Mc. Donald au Kenya (31).

#### **Influence de la température sur la maladie.**

La température agit sur la germination des spores, la durée de l'incubation, la sporulation du champignon et son développement en général.

A 24° C la spore germe en vingt-quatre heures. La faculté germinative des urédospores se conserve plusieurs semaines à l'air sec, elle s'altère vite à des températures élevées, surtout lorsqu'elles sont accompagnées d'une forte humidité. Cette exigence d'une température assez élevée fait de la rouille du Caféier une espèce tropicale; d'autre part, la germination est plus facile s'il y a un abaissement nocturne de la température favorisant la formation de rosées (73, 18). Une température trop basse ou trop élevée se montre défavorable, arrête la germination et tue les spores (9, 28). A la température de 19°-20° la sporulation se produit en un mois (73).

Le temps de 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 sa longueur est influencée par la température. Elle est très courte dans les conditions chaudes ou à de basses altitudes, c'est la principale raison pour laquelle, dans ces conditions, la maladie sévit particulièrement.

Une saison humide détermine donc une période d'incubation plus courte et par conséquent une grande intensité des infections successives. Il en résulte la production de nombreuses générations de rouille, des épiphyties tous les ans au lieu de certaines années seulement (18).

#### **Influence de l'altitude sur la maladie.**

Le facteur altitude joue un rôle complexe. Il agit sur l'ensemble des facteurs climatiques, si bien que son action sur le parasite est la résultante de l'effet de divers constituants du climat.

En altitude, c'est la saison sèche qui est favorable à l'apparition de la rouille, car elle provoque un abaissement de la température nocturne et des variations du degré hygrométrique de l'air, ayant pour

conséquence la formation de rosées, fournissant ainsi l'humidité nécessaire au Champignon.

Le tableau suivant résume les observations recueillies au Kenya (73), et met en évidence les relations entre altitude, pluie et humidité, température moyenne annuelle, hôte et parasite.

Altitude	Pluies	Temp. moy. an.	Café	Parasite	Culture
1200-1300 m	1450 mm	20-23°	—	++	impossible
1300-1500 m 1500-1800 m	les facteurs climatiques sont à égalité		+	+	possible avec traitements
1800-2100 m	750 mm	8-20°. Air sec le jour, rosées nocturnes	+++	---	très possible
2100 m et plus	1500-1700 mm	Température fraîche	+	Champignon incapable de sporuler	Culture moins propice

Ainsi, il y a une limite d'altitude à partir de laquelle l'*Hemileia* n'arrive plus à vivre faute de chaleur. Par contre, à basse altitude, les épiphyties se font rares pendant la saison sèche et éclatent surtout durant la saison pluvieuse (23). Les plantations les plus attaquées se trouvent dans les fonds de vallées, sur les plaines côtières, dans les régions qui reçoivent de petites pluies fines pendant une partie de l'année et là où la rouille trouve une température convenable pour son développement. C'est ce qui a fait dire que « la rouille est une maladie des arbustes cultivés en terres pauvres aux basses altitudes » (73, 9, 91, 92, 49).

Mais ces rapports entre la maladie et l'altitude varient avec les pays :

— Au Ruanda (Afrique) en altitude moyenne, la rouille sévit principalement pendant la grande saison sèche, en mai-octobre, époque où les précipitations et les brouillards sont rares mais la température est basse et par conséquent il y a une forte humidité de l'air, très favorable au parasite (12°-27°). Les épiphyties ont lieu en saison fraîche et sèche.

— Au Congo belge entre 1400 m. et 1800 m. la période favorable au Champignon est la saison non pluvieuse.

— En Afrique du Sud où la latitude est tempérée, les plantations sont saines de 300 à 900 m.; elles sont attaquées au-dessous de 300 m.

— Dans le Harar (Nord de l'Equateur) entre 1800 m. et 1950 m. la rouille n'existe pas; en dessous de 1000 m. des attaques sont observées lorsque les conditions climatiques sont favorables au parasite (12).

— A Java entre 300 m. et 1700 m. la rouille n'existe pas.

— A Madagascar à 1400 m., au lac Itasy, les atteintes graves correspondent à la période pluvieuse, mais les intensités se répartissent dans l'année : la rouille apparaît en décembre, présente un développement maximum en février (fin des pluies) et s'étend surtout après les fortes précipitations; elle n'existe que faiblement d'avril à novembre (73, 9).

**Influence de l'éclairement, de l'ombrage et des façons culturales sur la maladie.**

L'apparition et le degré d'attaque de la rouille varient d'une année à l'autre et aussi d'une plantation à l'autre suivant l'exposition, l'éclairement de la plantation. Nous avons déjà vu le rôle de l'éclairement sur la plante hôte.

La virulence de *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. Les spores perdent leur pouvoir germinatif par exposition à une forte lumière (56). Les spores qui atteignent la face inférieure des limbes des feuilles de Caféier ne germent, même si elles bénéficient de présence d'eau et d'une température suffisante, que sous certaines conditions d'éclairement : plusieurs heures de semi-obscurité ou d'absence totale de lumière. Cette condition est réalisée la nuit ou par ombrage excessif. Ainsi les infections artificielles, en serres, des plants de Caféiers ou des feuilles détachées conservées en boîte de Pétri, ne réussissent que si elles sont effectuées la nuit ou dans l'obscurité totale. Les plantations mal exposées au soleil, touffues, ou se trouvant dans les vallées et le long des cours d'eau sont les plus atteintes. Un ombrage trop épais, mal réglé, produisant 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 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 brises-vents sont moins infectées que celles non abritées.

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

Toute la difficulté réside dans la façon de régler l'ombrage (24), qui reconstitue dans n'importe quel pays et dans n'importe quelle plantation un micro-climat qui doit être à la fois favorable à l'hôte et défavorable au parasite.

Certains pays comme l'Éthiopie, l'Arabie, le Brésil, pratiquent la culture du *C. arabica* sans ombrage et ne connaissent pas la rouille. De même les plantations de montagne se font pour la plupart sans ombrage. Par contre aux basses altitudes ou dans les forêts l'ombrage est nécessaire surtout s'il s'agit de la variété *arabica*.

L'effet nocif de l'ombrage pour le parasite est augmenté si on pratique en même temps des soins culturaux tels que le mulching, le sulfatage des arbres, le pincement, les plantations intercalées de Caféiers avec d'autres espèces arbustives résistantes.

#### **Recherche des facteurs physiques essentiels au développement de la maladie.**

Après avoir vu l'action des différents facteurs physiques à la fois sur l'hôte et sur le parasite, il est naturel de se demander quel est le facteur essentiel qui règle son expansion.

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 inadmissible 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. Toujours est-il que l'action de ces facteurs varie d'un pays à l'autre suivant sa latitude; par exemple : la pluie est le facteur prépondérant dans les régions intertropicales; elle est défavorable dans la zone équatoriale où on pourrait accorder le rôle prépondérant à la température (73); aux Indes, par contre, la mousson commande essentiellement la répartition, l'intensité de la maladie dans le temps et dans l'espace, tel que le montrent les observations de Ward (28).

On se retrouve devant la complexité du problème lorsqu'on s'aperçoit que dans un même pays la virulence varie avec chaque région : en Indochine par exemple, dans le Nord et dans la région moyenne du Tonkin, la rouille n'apparaît jamais à l'époque des fortes pluies, mais pendant l'hivernage, au moment où la température se relève (mars-avril-mai), puis cesse pendant les saisons de fortes chaleurs; dans la chaîne annamitique, de 450 m. à 500 m. d'altitude, les attaques se produisent pendant une partie de la saison pluvieuse, au moment des fortes pluies en août-septembre-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 de pluie; en Indochine il faut une température modérée pour provoquer une expansion de la rouille, mais la période pendant laquelle se réalise cette condition varie avec les régions. A Madagascar sur les Hauts

Plateaux, l'apparition de la maladie correspond à la période pluvieuse, tandis qu'elle sévit durant la saison sèche dans les plantations en altitude de la côte Est (73).

Il ne suffit pas de connaître les conditions de développement de la rouille dans une région pour pouvoir la combattre dans une plantation de cette région. Il faudrait étudier sa biologie dans la plantation même et par conséquent le facteur de première importance c'est le micro-climat qui fait varier la vigueur de végétation, la sensibilité de l'hôte et la virulence du parasite. La création de ce micro-climat favorable repose en particulier sur l'ombrage (19). Par lui, le planteur doit arriver à restituer aux Caféiers le micro-climat de leur pays d'origine, condition d'une bonne santé de la plantation et d'une résistance suffisante à la maladie. En Nouvelle Calédonie, Dadant (26) a particulièrement étudié les conditions microclimatiques favorables à l'infestation de *C. arabica* par la rouille pendant plusieurs années consécutives; il en conclut l'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*.

#### **Influence de traitements chimiques sur la maladie.**

L'emploi de variétés de Caféiers résistantes est la méthode de contrôle la plus satisfaisante dans la lutte contre la rouille, car une fois les variétés résistantes plantées, il n'y a plus, en principe, d'autres dépenses à faire. De très nombreuses difficultés surgissent toutefois :

— La sélection et la production de ces variétés demandent un temps très long.

— Il est peut-être difficile de réunir à la fois la capacité d'une bonne production, la qualité et la résistance à la rouille.

— D'autre part, l'hôte aussi bien que le parasite sont susceptibles de variations génétiques et de variabilités phénotypiques.

Pour ces raisons, les traitements chimiques, en plus des soins culturaux, ne doivent pas être négligés. Beaucoup de travaux ont été entrepris à ce sujet : essais de la bouillie bordelaise à différentes concentrations, additionnée de mouillants divers (40, 60), traitements par différents composés cupriques ou acides phénoliques (30, 63, 66).

Pour pouvoir tirer un résultat satisfaisant de ces traitements, la connaissance des différentes conditions de germination, de pénétration, d'incubation et de développement de la rouille est de première importance.

Ainsi, suivant les pays et les régions, les traitements doivent être effectués avant ou après la pluie, à la fin de la journée ou dans la matinée, pour empêcher la pénétration des filaments promycéliens. (74, 77).

La détermination de la période d'incubation par des infections artificielles est entreprise aux Indes :

On choisit six rameaux, trois portant des fruits et trois sans fructifications; sur chacun on sélectionne deux feuilles jeunes et deux feuilles âgées. Une goutte d'eau est déposée sur la face inférieure dans l'angle formé par la nervure principale et une nervure secondaire. Une spore est mise en suspension dans chaque gouttelette d'eau, l'infection est refaite à intervalles réguliers et d'après les observations, on détermine la période d'incubation (64, 36, 34). De même pour le développement du parasite, des travaux ont été effectués pour déterminer l'action des sols acides et alcalins, les conditions de température et d'humidité pour le développement de la maladie (53, 56).

## BIBLIOGRAPHIE

1. AIEYR (A. K. Y. N.). — Mixed cropping in India. *Indian Journal of Agricultural Science*, 19, 4, p. 439-543, 1949.
2. ANONYME. — Leaf Rust. *Twenty first Annual Report of the Coffee Research and Experimental Station, Syamungu, Moshi for the 1954-55 season*, p. 9.
3. ANONYME. — Annual Report of the Agricultural Department Nigeria, 1951-52, p. 76, 1954.
4. ANONYME. — Renseignements phytosanitaires. *Bull. Bot. veg.*, 1, p. 20-23, 1954.
5. BALLY (W.). — *Hemileia vastatrix* B. et Br. Handboek voor de Koffiecultuur. Eerste Deel de ziekten van de Koffie, p. 123-145, 1931.
6. BARRETT (H. C.). — A large scale method of inoculating grapes with the Black Rot Organism. *Plant. Dis. Rptr.*, 37, 3, p. 159, 1953.
7. BIGGS (C. E. G.). — Annual Report, Department of Agriculture, Tanganyika Territory, 1943, p. 8, 1944.
8. BITANCOURT (A. A.). — As doenças do Cafeeiro na Costa do Marfim (Africa Occidental Francesca). *Biologico*, 20, 12, p. 205-222, 8 fig., 1 carte, 1954.
9. BOURIQUET (G.). — Les maladies des plantes cultivées à Madagascar. Lechevalier. Edit., 137 p., 1946.
10. BRANQUINHO (d'Oliveira). — As ferrugens do Cafeiro. *Revista do Café Português*, 1, 4, p. 5-13, 1954.
11. CAMARA (M. de Sousa Da) and LUZ. C. GOMES (D. A.). — Some fungi from the Atlantic Islands and the Portuguese Colonies. *Bol. Soc. Brot (Ser 2)*, 13, p. 95-99, 1938.
12. CASTELLANI (F.). — La Ruggine del Caffè nel Haar. *Agricoltura Coloniale*, 32, 8, p. 11, 3 fig., 1 carte, 1938.
13. CHEREWICK (W. J.). — A method of establishing rust epidemics in experimental plots. *Sci. Agric.*, 26, 11, p. 548-551, 1 fig., 1946.
14. CHEVALIER (A.). — La systématique des Caféiers et faux Caféiers. Maladies et insectes nuisibles. *Les Caféiers du globe*, fasc. 3, p. 325.
15. CHEVAUGEON (J.). — Enquêtes phytopathologiques dans le bassin du Cavally (Côte-d'Ivoire). *Revue de Mycologie*, 21, Suppl. col., p. 57, Déc. 1956.

16. CICCARONE (A.). — Primo contributo alla conoscenza dei micromiceti dell'Africa Orientale. *Mycopathologia*, 5; 2-3, p. 208-235, 1951.
17. CLINTON (G. P.), Mc. CORMICK and FLORENCE (A.). — Rust infection of leaves in Petri dishes. *Connecticut Agric. Exper. Stat. Bull.*, 260, p. 475-501, 2 pl., 1924.
18. The Planter's Chronicle. — Coffee Leaf Disease. *The Planters' Chronicle*, 51, 6, p. 151, Mars 1956. \*
19. Coffee Board of Kenya. — Better Coffee farming : Reducing the effects of leaf rust attack. *Coffee Board of Kenya, Monthly Bull.*, 21, 244, p. 95, Avr. 1956.
20. Coffee Board of Kenya. — Leaf Rust. *Coffee Board of Kenya Month. Bull.*, 21, 248, p. 211, Août 1956.
21. COHIC (F.) et TERCINIER (G.). — Rapport d'une mission aux établissements Français d'Océanie, 2, p. 24.
22. CORTESÃO Armando. — Relatório sobre a Agricultura de S. Tomé. *Revista do Café Português*, 3, 12, p. 71, Déc. 1956.
23. COSTANTIN (J.). — Influence de l'altitude en pathologie végétale. *Rev. de Bot. Applic. et d'Agric. Trop.*, 10, 111, p. 851-860, 1930.
24. COSTE. — Les Caféiers et les cafés dans le monde. Tome 1, p. 123-165, Larose Edit., Paris, 1955.
25. DADANT (R.). — Le Caféier en Nouvelle Calédonie et ses maladies. *Agron. Tropicale*, 1, p. 49-58, 1954.
26. DADANT (R.). — Les conditions microclimatiques favorables à l'infestation de *Coffea arabica* par *Hemileia vastatrix*. *Courrier des Chercheurs*, 8, p. 173, 1954.
27. DAVID (P. A.). — Note : Introduced Coffees lose resistance to the rust fungus, *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. *Philipp. Agric*, 17, 1, p. 45-49, 1928.
28. DELACROIX (J.) et MAUBLANC (A.). — Maladies des plantes cultivées dans les pays chauds (Maladies des feuilles, *Hemileia*, p. 271-303), Augustin Challamel Edit., 1911.
29. Department of Agric. Kenya. *Annual Report 1954*, 1, p. 78, 1955.
30. Department of Agric. Kenya. *Annual Report 1954*, 2, p. 253, 1955.
31. DONALD (J. Mc.). — Leaf Diseases : Rust or Leaf Diseases. *Depart. of Agric. Fungoid diseases of Coffee in Kenya Colony*, 3, p. 4-6, 1928.
32. DONALD (J. Mc.). — Some factors influencing the occurrence and distribution of plant diseases in Kenya. *Kenya, Depart. Agric. Bull.*, 13, p. 1-17, 1927.
33. DONALD (J. Mc.). — Disease of coffee. *Coffee in Kenya*, p. 148-190, Nairobi, 1937.
34. DONALD (J. Mc.). — Report of the senior plant pathologist. *Kenya, Dept. Agric. Ann. Report 1932*, 2, p. 1-12, 1937.
35. DUFRÉNOY (J.) et REED (H. S.). — A Technic for staining Cells with Sudan III in a water phase. *Stain. Techn.*, 12, 2, p. 71-72, 1937.
36. Extracts from the reports of the plant-pathologist and physiologist (Coffee Services) for the years 1954-1955. Leaf Rust *Hemileia vastatrix*. *The Coffee Board of Kenya*, 21, 252, 334-335, Déc. 1956.

37. FAUCHÈRE (J.). — Essais d'acclimatation du caféier du Congo (*Coffea congensis*) à la station d'essais de l'Ivoloina. *Bull. Econ. de Madagascar*, p. 223, 1906.
38. FINKER (R. E.), ATKINS (R. E.) et MURPHY (H. C.). — Inoculation Technics for Crown Rust of Oats. *Agron. Journ.*, 45, 12, p. 630-631, 1 fig., 1953.
39. GASTUCHE (E.). — L'ombrage des Caféiers. *Bulletin agric. du Congo Belge*, p. 895, Août 1953.
40. GEORGE (K. V.). — Eight Annual Report of the Research Department of the Indian Coffee Board 1954-1955. *Bull. Indian. Coff. Bd. Resp. Dep.*, 8, p. 94, 2 pl., 1 graph., 1 carte, 1956.
41. GERALDES (C. de Mello). — Aperçu sur le café aux colonies Portugaises. *Revista do Café Português*, 3, 12, p. 71, Déc. 1956.
42. GOPALKRISHNAN (K. S.). — Notes on the morphology of the genus *Hemileia*. *Mycologia*, 43, 3, p. 271-283, 7 fig., 1951.
43. HENDRICKX (F. L.). — Liste annotée de Champignons Congolais. *Publ. Inst. Nat. Etude Agron. Congo Belge*, 1, 2, p. 125-144, 1944.
44. HOOKERS (A. L.). — Relative efficiency of various methods of inducing field infections with *Helminthosporium turcicum* and *Puccinia Sorghi*. *Plant. Dis. Rptr.*, 38, 3, p. 173-177, 1954.
45. KADEN (O.). — Relatório Annual de 1929 : Seccão de Fitopatologia. Imprensa Nacional de S. Tomé 1930. *Revista do Café Português*, 3, 12, p. 71, Déc. 1956.
46. KEYWORTH (W. G.). — A Petri dish moist chamber. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 34, 3, p. 291-292, 1 pl., 1951.
47. KILPATRICK (R. A.) et JOHNSON (H. W.). — Spray gun for greenhouse inoculations. *Phytopathology*, 46, 6, p. 345-346, 1 fig., 1956.
48. MAINS (E. B.). — Notes on greenhouse culture methods used in rusts investigations. *Proceedings Indiana Acad. Sci.*, 33, p. 241-257, 5 fig., 1923-1924.
49. MAISTRE (J.). — Méthodes rationnelles d'amélioration des Caféiers dits « de basse altitude ». *Agron. Trop. Nogent*, 10, 2, p. 141-173, 1 pl., 3 fig., 4 graph., 1955.
50. MALLAMAIRE (A.). — La rouille vraie du Caféier causée par *Hemileia vastatrix* B. et Br. au Dahomey. *Bulletin du Centre de Recherches Agr. de Bingerville*, 6, p. 51, 1952.
51. MAYNE (W. W.). — Physiological specialisation of *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Nature*, 129, 510, 1 fig., 1932.
52. MAYNE (W. W.). — Recent Work on Coffee leaf disease. *Planters' Chronicle*, 27, p. 253-257, 1932.
53. MAYNE (W. W.). — Annual Report of the Coffee Scientific Officer, 1931-1932. *Mysore Coffee Exp. Stat. Bull.*, 7, p. 1-32, 1932.
54. MAYNE (W. W.). — The function of spraying in coffee crop. production. *The Planters' Chronicle*, 28, p. 34-38, 53-56, 1933.
55. MAYNE (W. W.). — A note on the origin of attacks of leaf disease in Coffee Estates. *The Planters' Chronicle*, 34, 14, p. 417, 1939.
56. MAYNE (W. W.). — Annual Report of the Coffee Scientific Officer, 1941-1942. *Mysore Coffee Exp. Sta. Bull.*, 24, p. 1-21, 1942.

57. MAYNE (W. W.). — *Hemileia vastatrix* in India. *The Planters' Chronicle*, 40, p. 384-387, 1945.
58. MAYNE (W. W.). — A note on Coffee Resarch in South India. *Bangalore, Indian Coffee Board*, 1946, p. 72.
59. MOREAU (C.). — Les maladies parasitaires des principales cultures coloniales. *Revue de Mycologie*, 21, Suppl. col., p. 129, Déc. 1956.
60. MUNRO (D. G.) et SUNDARARAMAN (S.). — Coffee spraying Experiments. *The Planters' Chronicle*, 18, 14, p. 193-196, 1923.
61. NARASIMHASWAMY (R. L.). — Leaf disease resistance and its importance in coffee. *Horticulture Abstract*, 22, 4345, p. 613, Déc. 1952.
62. OCFEMIA (G. O.). — Notes on Coffee Rust and Abaca Mosaic incidence in Guinobatan, Abay. *Philipp. Agric.*, 37, 9, p. 550-552, 1 pl., 1954.
63. Overseas News. *Commonw. phyto. News*, 2, 2, p. 25-29, 1956.
64. PARK (M.) and FERNANDO (M.). — A convenient method of determining the incubation period of a plant pathology in the field. *Trop. Agriculturist*, 93, 4, p. 213-214, 1 graph., 1939.
65. PAYAK (A. A.). — A modified Petri dish method for rust infection of excised leaves. *Experientia*, 11, 6, p. 239-241, 2 fig., 1955.
66. Société La Quinoléine. — Maladie des feuilles des Caféiers : La rouille. *Note Technique Outre-Mer*, n° 3.
67. RAGUNATHAN (C.). — The occurrence of teleutospores in *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Trop. Agric.*, 9, 2, p. 128, 1923.
68. RAYNER (R. W.). — Leaf Rust epidemic warning to coffee planters. *Coffee Board of Kenya, Nairobi*, 20, 231, p. 64, 1955.
69. RAYNER (R. W.). — Leaf rust. *The coffee Board of Kenya*, 21, 243, p. 65, Mars 1956.
70. *Revue Internationale de Botanique appliquée et d'Agriculture tropicale* : Etat des plantations des caféiers dans l'Oubangui, p. 359, Juil.-Août 1951.
71. RODRIGUES JUNIOR (C. J.). — Nota sobre a resistência de algumas especies de Coffea à *Hemileia coffeicola*, Maubl. et Roger. *Revista do Café Portugues*, 3, 12, p. 48-71, 8 tabl., 1 pl., Déc. 1956.
72. ROGER (L.). — La rouille du Caféier au Cameroun. Larose Edit., 1937.
73. ROGER (L.). — Phytopathologie des pays chauds. *Encyclopédie mycologique*, 18, 1, p. 538-843. Lechevalier Edit., Paris, 1953.
74. SANDERS (F. R.). — Rapport du Tanganyika. *Nineteenth Annual Report of the Coffee Research and experimental station, Lyamungu, Moshi*, 36 p., 1952-1954.
75. STEVENSON (J. A.) et BEAM (Rose). — An annotated bibliography of coffee rust (*Hemileia* sp.). *Spec. Publi. Plant. Dis. Surv.*, 3, 80 p., 1953.
76. STEYAERT (R. L.). — *Cladosporium hemileiae* n. sp. Un parasite de l'*Hemileia vastatrix* Ber. et B. *Bull. Soc. Roy. Bot. de Belg.*, 63, 1, p. 46-47, 2 pl., 1930.
77. STEYAERT (R. L.). — Plant protection in the Belgian Congo. *Science Monthly N. Y.*, 13, p. 268-280, 7 fig., 1946.

78. SUNDARAM (S.). — Breeding for resistance to pests and disease in Arabica Coffee. *The Planters' Chronicle*, 44, 24, p. 659-661, 1949.
79. SWAINSON (O. S.). — Annual Report of the Department of Agriculture, Zanzibar Protectorate, 1947, 55 p., 1 graph., 1948.
80. SYLVAIN PIERRE (G.). — Some Observations on *Coffea arabica*. *Turrialba*, 5, 1-2, p. 37-53.
81. SYLVAIN PIERRE (G.). — Le café du Yemen. *Agron. Trop. Nogent*, 2, 1, p. 62-73, 1956.
82. TARR (S. A. J.). — Maladies des plantes cultivées d'importance économique au Soudan, des plantes textiles, graines oléagineuses, café, tabac. *Bulletin phytosanitaire*, p. 165, Août 1954.
83. TASCHDJIAN (E.). — Identificazione fisiologica di differente linee di *Coffea arabica*. *Agricolt. Coloniale*, 28, p. 428-431, 1934.
84. THIRUMALACHAR (M. J.) et NARASIMHAN (M. J.). — Studies on the morphology and parasitism of *Hemileia* species on Rubiaceæ in Mysore. *Ann. Bot. London*, N. S., 11, 41, p. 77-89, 1947.
85. THOMAS (K. M.). — Second annual report of the Research Department of the Indian Coffee Board, 1948-1949. *Bull. of Indian Coffee Board*, 1950.
86. THOMAS (K. M.). — Fifth Annual report of the Research Department of the Indian Coffee Board, 1951-52, *Bull. Indian. Coffee Board Res.*, 5, p. 80, 1953.
87. THOMAS (K. M.). — Coffee research. Short notes on some diseases and pests of coffee. *Monthly Bulletin Indian Coffee Board*, 12, 6, p. 5-6, 1948.
88. THOMAS (K. M.). — Some observations on varietal resistance to « rust » of coffee. *Madras. Agric. Journ.*, p. 7, 2 pl., Nov. 1929.
89. TIXIER (P.). — Les Caféiers des Bolovens. *Journ. d'Agr. Trop. et de Bot. Appliquée*, 10-11, p. 530-531, 1955.
90. WALLACE (G. B.). — Annual Report of the plant Pathologist, Lyaungungu, Moshi, for the year 1954. *Report Department of Agric., Tanganyika, Part. II*, p. 70-76, 1956.
91. WALLACE (G. B.). — Diseases of coffee : Leaf Diseases, Rust. *Department of Agric. Tanganyika Territory Pamphlet*, n° 1, p. 2-3, 1928.
92. WALLACE (G. B.). — Diseases of coffee. *Tanganyika Dept. of Agric.*, 1, 7 p., 1928.
93. WATERS (C. W.). — The control of teliospore and urediniospore formation by experimental methods. *Phytopathology*, 18, 2, p. 157-213, 3 fig., 1928.
94. WELLMAN (F. L.). — Peligro de Introducción de la *Hemileia* del Café a las Americas. *Turrialba*, 2, 2, p. 47-50, 1952.
95. WELLMAN (F. L.). — The Americas face up to threat of coffee rust. *Foreign Agriculture*, 3, Mars 1953.
96. WELLMAN (F. L.). — Evidencia de Resistencia a las enfermedades en los cafetos. *Turrialba*, 4, 2, p. 52-57, 1954.
97. WELLMAN (F. L.). — Rust, Oriental rust, Leaf Disease, Leaf Rust. Coffee Disease, Insects and weeds controlled by chemicals. *Advances in chemistry series*, 13, p. 43-63, Mars 1955.

98. WELLMAN (F. L.). — Past and present investigation on the common coffee rust and their importance for tropical America. *Revista do Café Português*, 3, 12, p. 71, Déc. 1956.
99. WILLIAMS (R. O.). — Annual report of the Department of Agric. Zanzibar Protectorate, 1946, 45 p., 1 graph., 1947.
100. YARWOOD (C. E.). — Detached leaf culture. *Botanical Review*, 12, 1, p. 1-56, 1946.

(Laboratoire de Phytopathologie,  
O.R.S.T.O.M., Paris).

---

REVUE DE MYCOLOGIE

dirigée et publiée

Par Roger HEIM

Membre de l'Institut

---

TOME XXIII, FASC. 2

1<sup>er</sup> Juillet 1958

---

Biologie de la rouille du Caféier

Par RAZAFINDRAMÉAHY RAZAFINDRAMAMBA.



LABORATOIRE DE CRYPTOLOGIE  
DU MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
12, rue de Buffon, Paris (V<sup>e</sup>)

114/89

no 1779

11779