

Enquête sur les maladies fongiques de l'arachide (*Arachis hypogaea*) en Côte-d'Ivoire. I. Méthodes d'enquête et étude descriptive: les conditions culturelles et les principales maladies

S. SAVARY

Laboratoire de Phytopathologie, ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Centre d'Adiopodoumé, B.P. V51, Abidjan, Côte-d'Ivoire

Accepted 4 December 1986

Abstract

A survey of fungal diseases of groundnut (Arachis hypogaea L.) in Ivory Coast. I. Survey methods: a descriptive study of the cropping techniques and of the epidemiological characteristics of the main diseases

Groundnut diseases were surveyed in the various traditional cropping regions of Ivory Coast during 1982, 1983 and 1984. The methods used during the survey are described. A preliminary analysis of the results aimed at a characterization of a complex, multiple pathosystem is presented. The analysis especially focuses upon some foliar diseases, and particularly on rust, caused by *Puccinia arachidis*. The results show the great variability of the climates and of the agricultural techniques which are associated to groundnut cropping. The list of the fungal pathogens which affect groundnut is long: 16 have been identified during the survey, of which 6 are omnipresent in the various regions. A correspondence analysis was performed, allowing to describe the average development of the multiple pathosystem: groundnut-rust-leafspot-wilting fungi. Endemicity in tropical pathosystems is also analyzed in the case of the main foliar diseases (rust and *Cercospora* leafspots). More specifically, the epidemiology of groundnut rust in southern Ivory Coast is interpreted as regular, explosive epidemics developing on an endemic background. Every year epidemics develop in the northern and central areas too, most of their primary inoculum supposedly originating from the infested southern crops. Probably, intensification of agriculture will strongly favour rust disease.

Additional keywords: *Cercosporidium personatum*, *Cercospora arachidicola*, incidence, severity, inoculum sources, cropping techniques and periods, previous rainfall index, coding of qualitative variables, contingency tables, correspondence analysis.

Résumé

Les maladies fongiques de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) ont fait l'objet d'une enquête effectuée dans différentes régions de Côte d'Ivoire, entre 1982 et 1984. Les méthodes utilisées au cours de l'enquête et pour son analyse sont présentées. Une analyse préliminaire des résultats, qui concernent spécialement quelques maladies foliaires, et particulièrement la rouille, due à *Puccinia arachidis*, est proposée. Les résultats obtenus montrent la très grande variabilité des climats et des techniques culturelles associés à la culture de l'arachide. Le cortège parasitaire de cette plante est considérable: 16 champignons phytopathogènes différents ont été recensés, dont six espèces

sont largement répandues dans toutes les régions de culture. Une analyse factorielle des correspondances est réalisée, qui permet de décrire l'évolution moyenne du pathosystème multiple: arachide – rouille – cercosporioses – agents de flétrissement. La notion d'endémicité en milieu tropical est également analysée dans le cas des principales maladies foliaires (rouille et cercosporioses). Le développement des épidémies de rouille, en particulier, est principalement attribué à l'endémicité de cette maladie dans le Sud de la Côte d'Ivoire, où des épidémies explosives se produisent régulièrement. Chaque année, des épidémies de rouille se développent également dans le Nord et le Centre, dont l'inoculum primaire proviendrait, au moins pour l'essentiel, du Sud de la Côte d'Ivoire. L'intensification agricole, enfin, est perçue comme susceptible de favoriser fortement cette maladie.

Mots clés additionnels: *Cercosporidium personatum*, *Cercospora arachidicola*, incidence, sévérité, sources d'inoculum, période et techniques culturales, indice de pluviométrie antérieure, codage de variables quantitatives, tableau de contingence, analyse factorielle des correspondances.

Introduction

Les données phytopathologiques concernant la culture de l'arachide en Côte d'Ivoire sont relativement anciennes, puisque les inventaires les plus récents sont ceux effectués par Resplandy et al. (1954) et Chevaugéon (1956). Des informations ont, par ailleurs, été rassemblées par M. Lourd et B. Huguenin en 1977 (résultats non publiés) sur la répartition de la rouille de l'arachide (*Arachis hypogaea* L., due à *Puccinia arachidis* Speg.) dans ce pays. Ces auteurs y avaient, en effet, rencontré pour la première fois cette maladie en 1976. La culture de l'arachide, selon les données du Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire (1975) occupe environ 60 000 ha, ce chiffre comprenant les associations culturales. Des projets d'intensification de cette culture sont par ailleurs développés. Une enquête phytopathologique a donc été réalisée dont les objectifs sont multiples: compléter la liste de champignons phytopathogènes déjà existante (Chevaugéon, 1956), décrire la répartition des principaux parasites dans différentes régions en fonction des cycles culturaux successifs, enfin aborder l'analyse des épidémies des principaux parasites foliaires, et, particulièrement, de la rouille. L'objectif principal de la présente étude est d'exposer les méthodes qui ont été employées pour réaliser et analyser cette enquête, ainsi que d'en donner les principaux résultats descriptifs. Les données rassemblées seront utilisées ultérieurement dans une analyse plus détaillée.

La Côte d'Ivoire comprend des régions extrêmement diverses, notamment par leurs climats, et la variabilité des contextes écologiques où les cultures d'arachide sont établies induit des différences considérables dans leurs aspects, en général, et dans leurs pathologies, en particulier. Cette diversité, objet de l'étude par enquête, est déroutante. On a tenté ici une synthèse d'informations afin de proposer un schéma moyen de l'évolution d'une culture d'arachide, comme élément de référence pour de futures analyses.

L'étude de la notion d'endémicité (Van der Plank, 1975; Butt et Royle, 1978; Zadoks et Schein, 1979), et de sa signification en milieu tropical a donné lieu à une analyse formelle par Putter (1978). Cette étude, qui est fondée sur l'analyse de pathosystèmes, l'un en zone tempérée (*Phytophthora infestans*/pomme de terre), l'autre en zone tropicale humide (*P. colocasiae*/taro), aboutit à présenter l'endémicité comme une caractéristique des pathosystèmes des régions tropicales humides. Le fonctionnement du

pathosystème *P. colocasiae*/taro y est en effet décrit comme une succession d'explosions épidémiques annuelles, sur un fond endémique permanent lié à une culture de cycle long et continuellement remise en place dans l'année. L'importance de la notion d'endémicité est évaluée dans le cas des parasites foliaires de l'arachide, dans la perspective d'étendre l'analyse de Putter (1978) à une culture dont le cycle est court, en culture continue ou non, et en zone tropicale humide à saison sèche courte ou longue (Monteny et Lhomme, 1980). Cette analyse revêt un intérêt particulier dans le cas de la rouille de l'arachide, maladie qui semble récemment introduite en Afrique de l'Ouest (McDonald et Emechebe, 1978; Subrahmanyam et al., 1985), et pour laquelle de nombreuses observations de terrain suggèrent une dissémination aérienne à grande distance (Wells, 1962; Thomson et Smith, 1972; O'Brien, 1977; Subrahmanyam et McDonald, 1982; C. Zambettakis, comm. pers.).

Matériel et méthodes

Les résultats qui sont présentés, et partiellement analysés ici, proviennent d'une enquête effectuée dans plusieurs régions de Côte d'Ivoire (Fig. 1), de septembre 1982 à décembre 1984. Ces régions ont été choisies en fonction de l'importance très variable de l'arachide dans les systèmes de culture, ainsi que des grandes différences dans les conditions climatiques auxquelles la culture est soumise. A cet égard, on peut considérer que les régions de l'enquête sont représentatives d'une grande partie des conditions de milieu où l'arachide est cultivée en Afrique de l'Ouest (Gillier et Sylvestre, 1969; Guillaumet et Adjanohoun, 1971; Monteny et Lhomme, 1980).

Les observations ont été réalisées dans les parcelles rencontrées au cours d'une série de missions. L'on n'a pas recherché à effectuer des notations sur les mêmes champs à plusieurs stades successifs. De ce fait, la population de champs visités peut être considérée comme issue d'un tirage au hasard effectué aux différents stades du développement des cultures. Les données permettent donc une démarche à la fois cinétique et régionale.

L'enquête s'est déroulée en deux étapes. La première (fin de cycle 1982), préliminaire, visait à mettre à l'épreuve les méthodes envisagées, et à les évaluer. Elle porte sur 30 champs et a eu pour conséquence l'insertion de nouvelles variables (Tabl. 1) dans l'enquête. la seconde étape est représentée par 279 champs notés à partir de février 1983.

Systèmes de notation. Trois maladies foliaires (la rouille et les cercosporioses dues à *Cercosporidium personatum* (Berk. & Curt.) Deighton et *Cercospora arachidicola* Hori) font l'objet de notations de sévérités, et trois maladies des racines ou des collets (dues à *Aspergillus niger* van Tiegh., *Sclerotium rolfsii* Sacc. et *Botryodiplodia* sp.), de notations d'incidence (Zadoks et Schein, 1979).

La notation pour la rouille fait intervenir trois notes, données à 3 rangs foliaires (3^e, 5^e et dernier, du haut vers le bas: R3, R5 et RDF), en suivant la tige principale de chaque plante notée. On utilise pour cela l'échelle de maladie schématique de la Fig. 2. Cette échelle de sévérité a été construite selon une loi d'accroissement exponentielle de la densité de lésions (Clive James, 1974; Eskes et Toma-Braghini, 1981). La moyenne des trois notations foliaires est corrigée par la proportion $I/(F-FM)$ de feuilles atteintes sur la tige principale, où I représente le nombre de feuilles infectées, F le nombre

Fig. 1. Les régions de Côte d'Ivoire où l'enquête a été effectuée. Les carrés noirs indiquent les positions des stations où les températures (tX, tN) ont été enregistrées, les cercles noirs, les stations d'enregistrement des pluviométries (p). Les nombres indiquent les densités régionales des cultures d'arachide (D, source: Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire, 1975).

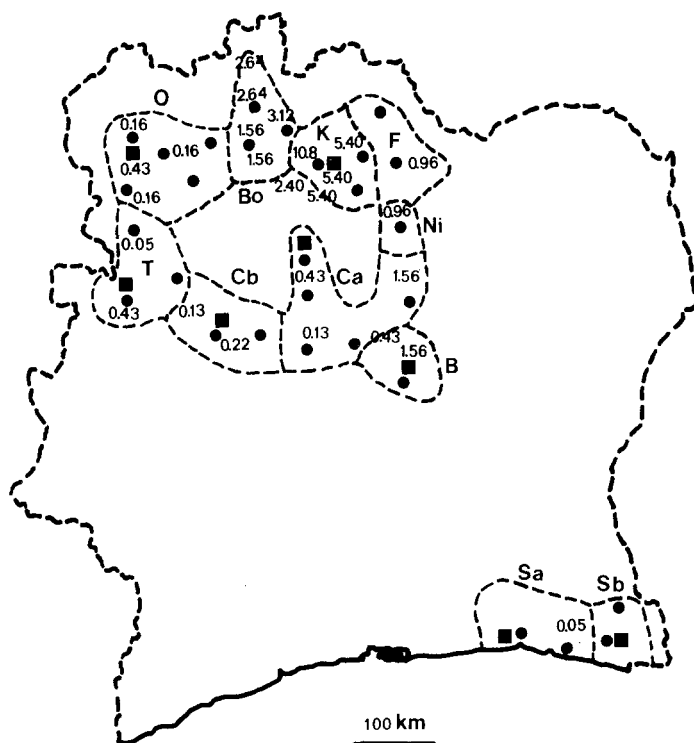


Fig. 1. The regions of Ivory Coast where the survey was conducted. Solid squares indicate the temperature stations (tX, tN) and solid circles the rainfall stations (p). Figures are the values of the regional density of groundnut crops (D, source: Ministry of Agriculture of Ivory Coast, 1975).

de feuilles émises et FM le nombre de feuilles mortes ou manquantes. La formule utilisée est donc:

$$R = [I/(F - FM)] \times (R3 + R5 + RDF)/3$$

Cette notation est effectuée sur 10 plantes par parcelle afin d'obtenir une sévérité moyenne. Habituellement, la sévérité exprime le pourcentage de surface malade (Clive James, 1974); ici, on a préféré l'exprimer en pourcentage de maladie (Zadoks et Schein, 1979): 100% de maladie correspond à environ 30% de surface foliaire couverte de lésions.

Le système de notation pour les cercosporioses est dérivé de celui développé par Chevaugnon (1952): le nombre de lésions est décompté sur la cinquième (C5) et sixième (C6) feuille, à partir de l'apex de la tige principale, sur chaque plante notée. L'indice d'infection: $(C5 + C6)/2$, qui en est tiré, est ensuite transformé en un pourcentage de surface foliaire colonisée, à partir d'un ajustement de cet indice à une échelle schématisée.

Tableau 1. Liste des variables. Les unités employées sont indiquées entre crochets. Les variables marquées d'un ¹ n'ont été mesurées qu'en 1983 et 1984.

| | | |
|---|---|--------|
| <i>Intensités des maladies</i> | | |
| ■ R: | sévérité de rouille | [%] |
| ■ P: | sévérité de <i>C. personatum</i> ('late leaf-spot'). | [%] |
| ■ A: | sévérité de <i>C. arachidicola</i> ('early leaf-spot'). | [%] |
| | Codage des sévérités: 6 classes: 0;]0, 0.01];]0.01, 1];]1, 5];]5, 20];]20, 100]. | |
| ■ N ¹ : | incidence de <i>A. niger</i> | [%] |
| ■ Cr ¹ : | incidence de <i>S. rolfii</i> | [%] |
| ■ B ¹ : | incidence de <i>Botryodiplodia</i> sp. | [%] |
| | Codage des incidences: 4 classes: 0;]0, 1];]1, 5];]5, 100]. | |
| <i>Variables climatiques</i> | | |
| ■ p: | pluviométrie décadaire cumulée pour la période: 10 à 20 jours avant les notations. | [mm] |
| | Codage des pluviométries: 4 classes: 0;]0, 30];]30, 100];]100, 1000]. | |
| ■ I1 et I2: | indices de pluies antérieures (Chevallier, 1983), pour deux coefficients d'ajustement, voir texte. | [mm] |
| | Codage pour I1: 4 classes: [0, 250],]250, 350],]350, 450],]450, 1000]. | |
| | Codage pour I2: 4 classes: [0, 125],]125, 200],]200, 300],]300, 1000]. | |
| ■ tX: | moyenne des températures maximales entre 10 et 20 jours avant les notations | [°C] |
| ■ tN: | moyenne des températures minimales entre 10 et 20 jours avant les notations. | [°C] |
| <i>Age et développement des plantes</i> | | |
| ■ STD: | stades de développement (Boote, 1982). Echelle de 10 stades. | |
| ■ AGE: | age estimé de la culture, en jours depuis le semis | [jour] |
| | Codage de l'âge: 6 classes: [0, 30];]30, 50];]50, 70];]70, 90];]90, 110];]110, 145]. | |
| <i>Densités des cultures et techniques culturales</i> | | |
| ■ D: | densité de la culture dans la région, en pourcent de la surface totale physique | [%] |
| | Codage de la densité de la culture: 4 classes: [0, 0.01];]0.01, 2];]2, 4];]4, 10]. | |
| ■ ds: | date de semis | [jour] |
| ■ dsr: | date moyenne régionale de semis | [jour] |
| ■ Sds: | écart-type de la date régionale de semis. | [jour] |
| ■ BP ¹ : | cultures sur billons (BP = 0) ou à plat (BP = 1). | |
| ■ PM ¹ : | cultures pures (PM = 0) ou mixtes: avec du niébé, de la tomate, du voandzou: PM = 1; avec du coton, du mil, de l'ananas, du taro: PM = 2; avec du maïs, du manioc, du sorgho: PM = 3. | |
| ■ DS ¹ : | densité de semis: 'peu dense' (DS = 1), 'moyen' (DS = 2), 'dense' (DS = 3). | |
| ■ MH ¹ : | enherbement: 'faible' (MH = 1), 'moyen' (MH = 2), 'fort' (MH = 3). | |
| <i>Régions de l'enquête</i> | | |
| Sud (S): | Sa (Adiopodoumé), Sb (Aboisso). | |
| Centre (C): | Ca (Mankono), Cb (Séguéla), B (Bouaké), Ni (Niakaramandougou), T (Touba). | |
| Nord (N): | O (Odienné), Bo (Boundiali), K (Korhogo). | |

Table 1. List of variables. Units are given between brackets.

¹ denotes variables considered during 1983 and 1984 only.

que de sévérité (P. Subrahmanyam, ICRISAT, comm. pers.). La sévérité des cercosporioses est ensuite répartie entre les deux agents (*C. personatum*: P, et *C. arachidicola*: A) selon la proportion de lésions observées dans le champ, ou sur un échantillon d'herbier en provenant. Les sévérités des deux cercosporioses dans chaque champ correspondent aux moyennes des observations effectuées sur 10 plantes.

Fig. 2. Echelle schématique de référence pour estimer la sévérité de la rouille de l'arachide. Les classes (à partir de la classe 2) ont été construites en prenant comme valeur médiane du nombre de lésions par foliole le nombre: $2^{(N+2)}$, où N est le numéro de la classe. La taille des folioles dessinées correspond à la moyenne d'une variété locale de cycle court (dimensions moyennes: 4.3×2.5 cm).

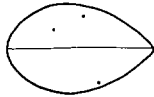



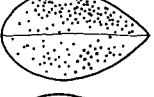
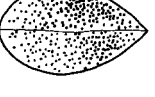
| Classes de sévérité | | Nombre de pustules cm^{-2} | | | Sévérité (%) |
|------------------------|--|-------------------------------------|---------|-------|--------------|
| | | minimal | maximal | moyen | |
| 0 | | | | | 0 |
| 1 |  | 0.12 | 0.61 | 0.36 | 1.2 |
| 2 |  | 0.62 | 2.42 | 1.58 | 5.1 |
| 3 |  | 2.43 | 6.06 | 4.24 | 13.7 |
| 4 |  | 6.07 | 12.1 | 9.09 | 29.3 |
| 5 |  | 12.2 | 24.3 | 18.2 | 58.6 |
| 6 |  | 24.4 | <40 | 31 | 100 |

Fig. 2. Standard area diagram for rust severity assessment. Centres of classes (from class 2) are defined by their numbers of pustules: $2^{(N+2)}$, where N is the class number. The size of leaflets corresponds to the mean length and width of a short-cycle local variety (mean dimensions: 4.3×2.5 cm).

L'incidence des maladies causant un flétrissement est estimée en dénombrant les plantes atteintes sur une partie du champ correspondant à une centaine de plantes. Les symptômes sont généralement suffisamment explicites pour pouvoir être attribués à *S. rolfisii*, *A. niger*, ou *Botryodiplodia* sp. Le pourcentage de flétrissements est alors réparti entre ces trois agents, puis transformé en quatre classes d'incidence (0: pas de plante atteinte; 1: moins de 1 plante; 2: 1 à 5 plantes; 3: 5 ou plus de 5 plantes atteintes, sur 100). L'incidence des parasites foliaires a également été étudiée; dans ce cas, l'unité végétale (Clive James, 1974) considérée n'est plus la plante, mais le champ, avec deux modalités: indemne, ou infecté.

Inventaire phytopathologique. Dans de nombreux cas, cependant, les symptômes observés n'ont pas pu être immédiatement indentifiés. Les identifications ont été réalisées au laboratoire grâce aux échantillons récoltés, par observation directe au micros-

cope ou après isolement. Les isolements de routine sont effectués sur un milieu malt-agar.

Croissance et développement des plantes. Techniques culturales. La croissance des plantes est estimée sur les plantes faisant l'objet de notations de rouille et de cercosporioses, par le nombre moyen de feuilles émises (F) et de feuilles mortes ou manquantes (FM) sur la tige principale. Le stade de développement (STD) est estimé selon l'échelle décrite par Boote (1982), légèrement modifiée pour obtenir 10 classes de développement (Tabl. 1). L'estimation de la durée totale du cycle (distribué en trois classes: 90, 120 et 145 jours) de la culture, et donc, de la durée de chaque stade de développement, permet d'estimer, pour chaque parcelle, le temps écoulé depuis le semis (AGE), et de lui attribuer une date approximative de semis (ds), qui est exprimée en jour depuis 1^{er} janvier de l'année courante. A partir de la variable ds, on calcule dsr, la date de semis régionale moyenne, et son écart-type Sds. La densité des cultures d'arachide dans chaque région (D) est tirée du recensement de l'agriculture du Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire (1975). D est exprimée en pourcentage de la surface totale physique cultivée avec de l'arachide (y compris les cultures mixtes). Quelques observations qualitatives complètent les relevés pour chaque parcelle, concernant sa mise en place, ou son entretien (variables: BP, PM, DS, MH, Tabl. 1).

Données climatiques. Les données climatiques proviennent des services météorologiques de la Côte d'Ivoire (ANAM). Elles comprennent: les moyennes décadaires des températures maximales et minimales pour 8 stations (Fig. 1) et les sommes des pluies par décades pour 26 stations. Des zones afférentes à chacune de ces stations sont délimitées. A chaque parcelle, on peut alors attribuer des estimations des températures moyennes maximales et minimales pour la décade précédant de 10 jours l'exécution des notations (tX et tN). De même, on appelle p la pluviométrie décadaire entre 10 et 20 jours avant la visite de chaque parcelle.

Un indice de précipitations antérieures (Chevallier, 1983) a été également utilisé pour étudier l'effet possible des pluies sur le pathosystème multiple: arachide-rouille-cercosporioses. De tels indices sont habituellement utilisés pour décrire l'évolution de la réserve en eau du sol:

$$I_n = (I_{n-k} + p_n) * \exp(-k \cdot a), \quad [\text{mm}]$$

où I_n , l'indice à la date n, est une fonction de récurrence de l'indice précédent, I_{n-k} , calculé k jours plus tôt, de la pluie p_n survenue pendant les k jours, et d'un coefficient d'ajustement, a. Ce dernier est usuellement une représentation de la capacité de rétention en eau du sol. Dans cette analyse, cependant, l'indice I_n doit décrire les conséquences des pluies sur le pathosystème après un certain délai, sa 'mémoire' (Van der Plank, 1963). Deux valeurs ($a = 0,01$ pour I1, et $a = 0,02$ pour I2) ont été attribuées arbitrairement à a, afin de prendre en considération des mémoires à court et à long terme du pathosystème (Fig. 3).

Méthodes statistiques. L'analyse des résultats de l'enquête a été réalisée avec le logiciel statistique NDMS (Noirot, Desjardin, Mullon, Savy), élaboré dans le Service de Calculs du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé. La présente analyse fait essentiellement appel aux méthodes univariées, et, comme méthode multivariée, à l'analyse factorielle des correspondances (AFC, Benzecri et al., 1973). L'analyse des distributions de fré-

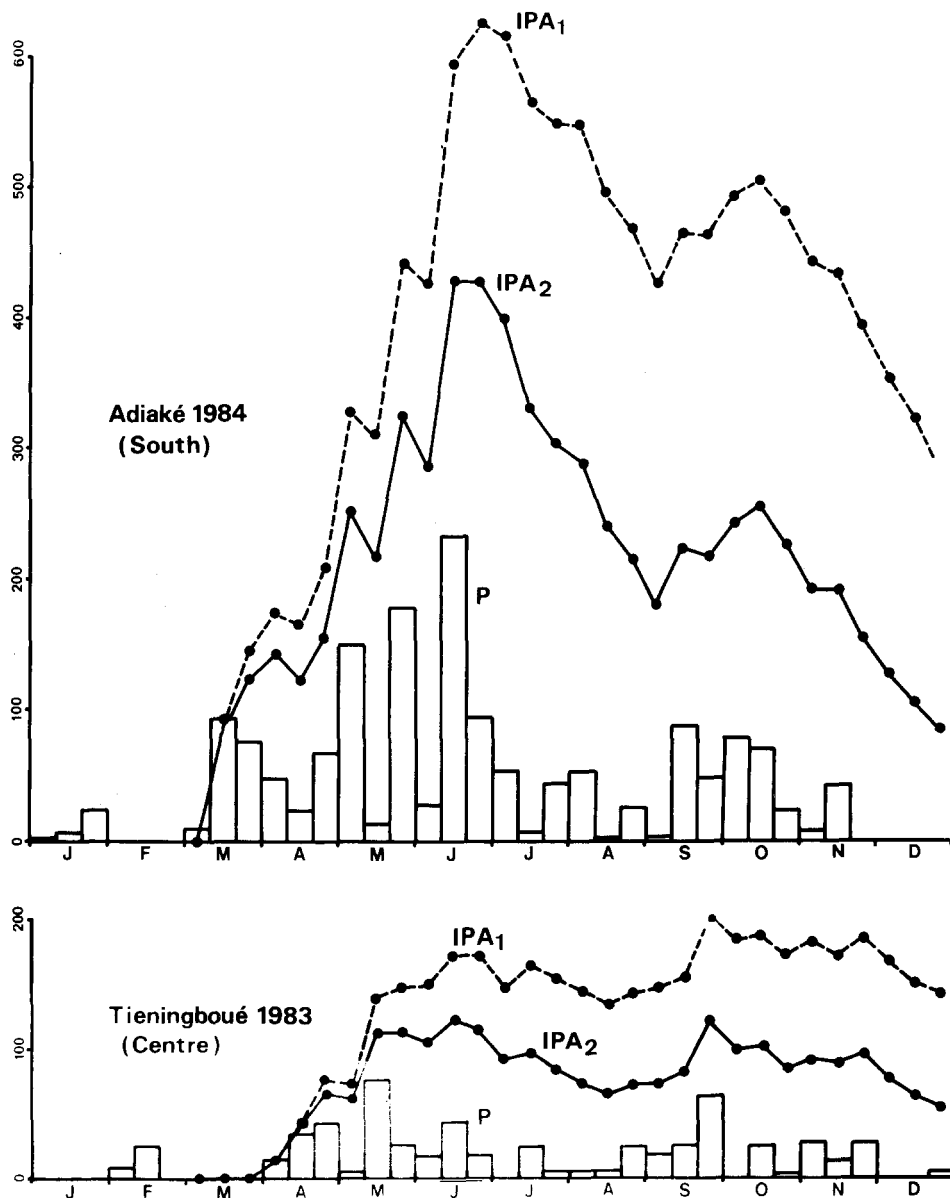
Fig. 3. Evolutions des indices de précipitations antérieures dans deux régions. Les indices sont calculés à l'aide de la formule:

$$I_n = (I_{n-k} + p_n) * \exp(-k \cdot a),$$

avec: $k = 10$ jours, et $a = 0.01$ (I1) ou $a = 0.02$ (I2). On pose arbitrairement:

$I_0 = 0$ pour la première décade de mars.

Abscisses: temps (en mois). Ordonnées: p , I1, I2 (mm).



Accumulated rainfall figures (10 days periods, P) and consequent variations of previous rainfall indexes (IPA₁ and IPA₂) in two regions of Ivory Coast.

quence des différentes variables permet de définir des classes, dont le choix est lié aux tailles d'échantillon et à la recherche d'une certaine pertinence biologique. Ainsi, les distributions des sévérités de rouille et de cercosporioses (R, P et A) présentent-elles une forte dissymétrie: un grand nombre de champs (en début de cycle) sont indemnes, beaucoup sont légèrement touchés, et peu présentent des sévérités extrêmes. On a donc choisi un découpage selon des niveaux de sévérités décroissants selon une loi presque exponentielle (Tabl. 1), pour tenir compte de cette distribution de fréquence, à partir d'une classe de champs indemnes, qui rend compte de leur non-infection apparente.

Lorsque le choix des différentes classes est établi, il est possible de coder (Tabl. 1) les variables quantitatives et de construire des tableaux de contingence sur lesquels des AFC sont exécutées. La matrice de base de l'AFC décrite ici est constituée par les variables de sévérités (R, P, A), codées en variables qualitatives et groupées en deux tableaux de contingence juxtaposés: (R * P) et (R * A). Sur ce cadre de sévérités de maladies foliaires, on a superposé les variables codées décrivant l'âge (AGE), le stade (STD) et les incidences des parasites de racines et du collet (Cr, N, B) sous forme de nouveaux tableaux de contingence, de base commune R: (R * AGE), (R * STD), (R * Cr), (R * N), (R * B).

L'interprétation des graphiques issus de l'AFC est fondée sur une métrique du Chi-2. La proximité de deux points signifie qu'ils ont un spectre comparable pour la variable de référence (R). D'autre part, la proximité d'un point par rapport à un axe est l'indice d'un pourcentage élevé pour ce point de l'inertie expliquée par l'axe, et réciproquement (de Lagarde, 1983). Pratiquement, on raisonne en termes de proximités de points (la signification d'une proximité croissant comme le carré de la distance à l'origine) et en termes d'itinéraires, les variables, pour la plupart, relevant de processus continus, et étant codées dans un ordre croissant.

Résultats

Les conditions de la culture de l'arachide en Côte d'Ivoire. Dans le Tabl. 2, on a rassemblé quelques informations concernant les techniques culturales observées. On y distingue des régions où la culture de l'arachide est très fréquente (Bo et K) et d'autres où elle est rare (Sa, Sb). Les dates de semis varient beaucoup, ainsi que leurs étallements: ils sont groupés (O, Bo, K) ou, au contraire, très étalés (Sa, Sb). Les durées des cycles varient également: ils sont généralement plus longs dans les régions septentrionales (K) ou centrales (T) de la zone couverte par l'enquête. Enfin, les quelques techniques culturales prises en considération (PM, BP, DS et MH) indiquent d'importantes différences régionales.

A partir du Tabl. 2 il est possible de distinguer deux types de régions opposés. Dans

←

Fig. 3. Variation of previous rainfall indexes in two regions with time. Indexes are calculated as:

$$I_n = (I_{n-k} + p_n) * \exp(-k \cdot a),$$

with $k = 10$ days and $a = 0.01$ (II) or $a = 0.02$ (I2). I_0 is set at 0 for the first ten days period of March.

Abcissa: time (months). Ordinate: p , II, I2 (mm).

Tableau 2. Les conditions et techniques culturales de l'arachide en Côte d'Ivoire. Comparaison de quelques caractéristiques régionales.

¹ La liste et les abréviations pour les régions sont données dans le Tableau 1.

² Valeurs du test de Chi-deux effectué sur les tableaux de contingence. Les nombres de champs sont ensuite transformés en pourcentages.

³ En % de la surface régionale totale.

⁴ En jours depuis le premier janvier de l'année courante; les moyennes sont suivies de leurs intervalles de confiances à $p < 0.001$.

| Conditions et techniques culturales | Régions ¹ | | | | | | | | Chi-deux ² | p |
|--|----------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------------------|----------|
| | Sud | | Centre | | | Nord | | | | |
| | Sa | Sb | Ca + B + Ni | Cb | T | O | Bo | K | | |
| Densité des cultures d'arachide (D) ³ | 0.05 | 0.05 | 0.13-1.56 | 0.13-0.22 | 0.05-0.13 | 0.16-0.43 | 0.96-2.64 | 0.96-10.80 | | |
| Date de semis (ds) ⁴ | 234 ± 30 | 183 ± 29 | 138 ± 16 | 143 ± 14 | 151 ± 19 | 153 ± 8 | 164 ± 9 | 163 ± 6 | | |
| Cycles | | | | | | | | | | |
| – courts (%) | 88.0 | 86.1 | 76.5 | 65.2 | 50.0 | 70.2 | 76.3 | 55.0 | 23 | < 0.005 |
| – longs (%) | 12.0 | 13.9 | 23.5 | 34.7 | 50.0 | 29.8 | 23.7 | 45.0 | | |
| Cultures (PM) | | | | | | | | | | |
| – pures (%) | 69.0 | 76.7 | 94.1 | 87.0 | 100 | 81.0 | 77.1 | 88.9 | 16 | < 0.0001 |
| – mixtes (%) | 31.0 | 23.3 | 5.9 | 13.0 | 0 | 19.0 | 22.9 | 11.1 | | |
| Cultures (BP) | | | | | | | | | | |
| – sur billons (%) | 19.2 | 13.3 | 26.5 | 26.1 | 19.2 | 47.6 | 88.6 | 100 | 14 | < 0.0001 |
| – à plat (%) | 80.7 | 86.7 | 73.5 | 73.9 | 80.8 | 52.4 | 11.4 | 0 | | |
| Semis (DS) | | | | | | | | | | |
| – peu dense (%) | 7.7 | 10.0 | 8.8 | 4.3 | 11.5 | 7.1 | 8.6 | 12.6 | | |
| – moyen (%) | 84.6 | 86.6 | 76.5 | 95.7 | 46.2 | 76.2 | 85.7 | 85.7 | 27 | < 0.0005 |
| – dense (%) | 7.7 | 3.3 | 14.7 | 0 | 42.3 | 16.7 | 5.7 | 1.6 | | |
| Enherbement | | | | | | | | | | |
| – faible (%) | 42.3 | 40.0 | 20.6 | 26.1 | 46.1 | 33.3 | 31.4 | 28.6 | | |
| – moyen (%) | 57.7 | 50.0 | 70.6 | 60.9 | 38.4 | 57.1 | 34.3 | 60.3 | 28 | < 0.0005 |
| – fort (%) | 0 | 10.0 | 8.8 | 13.0 | 15.4 | 9.5 | 34.3 | 11.1 | | |

Table 2. Cropping conditions and cultural techniques of groundnut in Ivory Coast. Comparison of characteristics between regions.

¹ The list of surveyed regions and their symbols are given in Table 1.

² Chi-square test values are calculated on contingency tables. Field numbers are then transformed in percentages.

³ In percent of the total area of the region.

⁴ In days from 1st January of the current year. Means are followed by their confidence intervals at $p < 0.001$.

un premier type, représenté par la région de Korhogo (K), d'importantes surfaces sont semées, dans un délai très court, avec des cultivars d'arachide de cycle souvent long; ces cultures sont le plus souvent pures et toujours implantées sur billons; les semis sont enfin assez lâches et l'enherbement des parcelles est relativement élevé. Ces cultures

Tableau 3. Les conditions climatiques régionales pendant l'enquête: analyse de variance.

¹ La liste des variables climatiques est donnée dans le Tableau 1.

² La liste des abréviations est donnée dans le Tableau 1.

³ Valeur du test de Fisher après une analyse de variance à une dimension.

⁴ Les valeurs du tableau sont les moyennes, pour chaque variable, des données correspondant aux champs de chaque région (3 années).

| | Régions ² | | | | | | | | F ³ | p |
|-----------------|----------------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|---------|
| | Sa | Sb | Ca + Ni + B | Cb | T | O | Bo | K | | |
| p ¹ | 61.1 ⁴ | 150.2 | 39.8 | 34.3 | 45.2 | 71.6 | 56.4 | 57.2 | 12.1 | <0.0001 |
| I2 ¹ | 199.7 | 315.0 | 126.9 | 176.8 | 218.9 | 263.5 | 203.9 | 215.2 | 11.4 | <0.0001 |
| I1 ¹ | 430.4 | 540.3 | 205.7 | 272.7 | 344.8 | 406.3 | 328.0 | 360.9 | 18.9 | <0.0001 |
| tX ¹ | 29.0 | 28.6 | 31.1 | 30.4 | 29.1 | 30.3 | 30.3 | 30.6 | 14.9 | <0.0001 |
| tN ¹ | 22.9 | 22.7 | 21.5 | 21.7 | 19.7 | 21.4 | 20.3 | 20.3 | 28.1 | <0.0001 |

Table 3. Regional weather conditions during the survey: analysis of variance.

¹ The list of weather variables is given in Table 1.

² The list of the surveyed regions and their symbols are given in Table 1.

³ Fisher's F-test values after a one-way ANOVA.

⁴ Entries are means of values corresponding to each field in each regions (3 years).

se situent dans une zone d'agriculture semi-intensive (Moreno, 1985). Le second type est représenté par les régions du Sud et spécialement Sa. Les semis y sont effectués presque toute l'année, avec des variétés à cycle court, et sur des surfaces très réduites; les cultures sont souvent mixtes, le plus souvent implantées à plat, avec des densités moyennes; l'enherbement, enfin, est faible en général, ce qui indique un suivi attentif de la culture. Ces parcelles sont cultivées selon des méthodes qui s'apparentent, à certains égards, à celles des cultures maraîchères. Elles sont situées dans une région d'agriculture partiellement itinérante.

Les conditions climatiques régionales moyennes peuvent être comparées dans le Tabl. 3. On y note, en particulier, les différences de températures moyennes avec la latitude, ainsi que les différences de pluviométrie. A cet égard, on remarque que les régions Sud (spécialement Sa) ne sont pas nécessairement exemptes de périodes de sécheresse.

Les principales maladies fongiques de l'arachide. La liste des agents rencontrés au cours de l'enquête est dressée dans le Tabl. 4. Dans cette liste, tous les agents ne sont pas à retenir au plan agronomique, la plupart d'entre eux n'ayant, probablement, qu'une incidence modeste et un effet le plus souvent minime sur les rendements. Seuls les six parasites les plus importants ont été pris en considération dans les notations (Tabl. 5).

Dans le Tabl. 5 sont rassemblées les moyennes générales, sur l'ensemble de l'enquête (309 champs) des sévérités et incidences de différentes maladies en fonction des régions. Les régions qui sont fortement affectées par la rouille (K, Sa, T), par la cercosporiose à *C. personatum* (Sb, Sa, surtout, mais aussi T, O, Cb), ou par la cercosporiose à *C. arachidicola* (T, Cb, Ca + Ni + B), diffèrent. On constate particulièrement que ce sont les régions qui présentent le plus de différences climatiques et agronomi-

Tableau 4. Inventaire des parasites fongiques de l'arachide rencontrés au cours de l'enquête. Leur incidence est indiquée qualitativement (+, ++ et +++). Les agents décrits par Resplandy et al. (1954) sont marqués d'un +.

| Agents | Organe attaqué | Symptômes | Incidence | Liste de Resplandy et al. (1954) |
|--------------------------------------|---------------------------|--|-----------|----------------------------------|
| ■ <i>Puccinia arachidis</i> | feuilles, stipules, tiges | rouille | +++ | |
| ■ <i>Cercosporidium personatum</i> | feuilles, tiges | lésions foliaires | +++ | + |
| ■ <i>Cercospora arachidicola</i> | feuilles, tiges | lésions foliaires | +++ | |
| ■ <i>Leptosphaerulina crassiacae</i> | feuilles | lésions foliaires | ++ | |
| ■ <i>Phoma arachidicola</i> | feuilles | lésions foliaires | ++ | + |
| ■ <i>Pestalotiopsis arachidis</i> | feuilles | lésions foliaires | + | |
| ■ <i>Helminthosporium</i> sp. | feuilles | lésions foliaires | + | |
| ■ <i>Ascochyta arachidicola</i> | feuilles | lésions foliaires | + | |
| ■ <i>Alternaria arachidis</i> | feuilles | lésions foliaires | + | |
| ■ <i>Gloeosporium</i> sp. | feuilles | lésions foliaires | + | + |
| ■ <i>Cladosporium</i> sp. | feuilles | lésions foliaires | + | |
| ■ <i>Sclerotium rolfsii</i> | collets, tiges, feuilles | réseau mycélien, flétrissement | +++ | + |
| ■ <i>Aspergillus niger</i> | collets | flétrissement | +++ | + |
| ■ <i>Botryodiplodia</i> sp. | collet, base de tiges | flétrissement | ++ | |
| ■ <i>Rhizoctonia solani</i> | feuilles, tiges | réseau mycélien, taches foliaires, flétrissement | + | |
| ■ <i>Aspergillus flavus</i> | plantules | fonte de semis | + | |

Table 4. List of fungal diseases of groundnut found in the survey. Their incidence is qualitatively classed (+, ++ and +++). Those described by Resplandy et al (1954) are indicated (+).

→

Table 5. Mean severities (foliar fungi) and incidences (wilt fungi) in the regions of the survey.

¹ The list of the surveyed regions and their symbols are given in Table 1.

² Fisher F-test values after a one-way ANOVA. Severities were previously transformed as log ($x + 0.001$).

³ Chi-2 test values on contingency tables. Numbers of fields were then transformed as percentages.

⁴ Entries are mean regional severities (%).

⁵ Young plants, with STD = 1, 2, 3 and 4.

⁶ Medium plants, with STD = 5, 6, 7 and 8.

⁷ Old plants, with STD = 9 and 10.

⁸ Entries are mean regional incidences (% T) and their complement I to 100.

Tableau 5. Répartition de sévérités (parasites foliaires) et des incidences (agents de flétrissement) moyennes des maladies en fonction des régions.

¹ La liste des régions est donnée dans le Tableau 1.

² Valeurs du test de Fisher après une analyse de variance à une dimension. Les sévérités ont préalablement été transformées avec la fonction: $\log(x + 0.001)$.

³ Valeurs du test de Chi-2 réalisé sur les tableaux de contingence. Les nombres de champs ont ensuite été transformés en pourcentages.

⁴ Les données du tableau indiquent les moyennes des sévérités estimées dans les champs de chaque région (%).

⁵ Début de cycle, pour STD = 1, 2, 3 et 4.

⁶ Mi-cycle, pour STD = 5, 6, 7 et 8.

⁷ Fin de cycle, pour STD = 9 et 10.

⁸ Les données du tableau indiquent les incidences moyennes (T, %) et leur compléments (I) à 100.

| | Régions ¹ | | | | | | | | Moyen- nes | F ² | Chi-2 | p |
|---|----------------------|-------|-----------------|-------|------|-------|-------|-------|---------------|----------------|-------|---------|
| | Sa | Sb | Ca + Bi + Ni | Cb | T | O | Bo | K | | | | |
| <i>Parasites foliaires</i> ⁴ | | | | | | | | | | | | |
| <i>P. arachidis</i> (R) | | | | | | | | | | | | |
| D ⁵ | 1.53 | 0.25 | 0.002 | 0.05 | 3.1 | 0.005 | 0.004 | 0.07 | 0.59 | 3.3 | | 0.004 |
| M ⁶ | 17.2 | 3.5 | 0.45 | 1.90 | 5.6 | 1.34 | 0.66 | 2.92 | 4.1 | 7.4 | | <0.0001 |
| F ⁷ | 14.4 | 5.6 | 1.33 | 5.7 | 13.3 | 6.5 | 5.1 | 15.7 | 8.6 | 4.9 | | 0.0001 |
| <i>C. personatum</i> (P) | | | | | | | | | | | | |
| D | 0.18 | 4.6 | 0.04 | 0.002 | 3.0 | 0 | 0 | 0.002 | 0.76 | 2.6 | | 0.02 |
| M | 20.4 | 9.4 | 0.64 | 4.7 | 8.2 | 4.2 | 2.01 | 0.83 | 6.2 | 3.6 | | 0.002 |
| F | 35.9 | 38.4 | 13.7 | 22.9 | 27.6 | 23.5 | 10.6 | 9.5 | 23.0 | 3.2 | | 0.005 |
| <i>C. arachidicola</i> (A) | | | | | | | | | | | | |
| D | 0.04 | 0.002 | 0.11 | 0.01 | 2.68 | 0.009 | 0.005 | 0.01 | 0.34 | 3.3 | | 0.005 |
| M | 0.33 | 0.09 | 3.9 | 10.7 | 11.8 | 6.6 | 11.4 | 2.44 | 6.2 | 9.4 | | <0.0001 |
| F | 0.78 | 0.30 | 21.2 | 21.4 | 22.3 | 11.2 | 7.7 | 5.4 | 11.9 | 18.2 | | <0.0001 |
| <i>Agents de flétrissement</i> ⁸ | | | | | | | | | | | | |
| <i>A. Niger</i> (N) | | | | | | | | | | | | |
| T | 7.1 | | 19.3 | | 2.9 | | 9.1 | 11.1 | 9.7 | | 10.4 | 0.05 |
| I | 92.9 | | 80.7 | | 97.1 | | 90.9 | 88.9 | | | | |
| <i>S. rolfsii</i> (Cr) | | | | | | | | | | | | |
| T | 14.3 | 37.1 | 41.2 | 13.0 | 11.5 | 15.9 | 15.2 | 11.1 | 19.7 | | 22.5 | 0.002 |
| I | 85.7 | 62.9 | 58.8 | 87.0 | 88.5 | 84.1 | 84.8 | 88.8 | | | | |
| <i>Botryodiplodia</i> sp. (B) | | | | | | | | | | | | |
| T | 8.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.2 | 4.8 | 5.7 | 2.9 | | — | — |
| I | 91.2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.8 | 95.2 | 94.3 | | | | |

ques (Sa et K) qui présentent des niveaux similairement élevés de rouille au moment de la récolte. Des différences régionales apparaissent également pour les agents de flétrissement. La région Centre (Ca + Ni + B), en particulier est spécialement affectée par *A. niger* et *S. rolfisii*. Ce dernier parasite est également important dans une partie de la région Sud (Sb). Ce tableau indique, enfin, que tous les parasites considérés, à l'exception de *Botryodiplodia* sp., sont présents dans toutes les régions de l'enquête.

Le faciès parasitaire moyen d'un champ d'arachide: analyse cinétique préliminaire. La Fig. 4 représente le résultat de l'AFC effectuée sur le fichier correspondant aux années 1983 et 1984 (279 champs) où les six principales maladies de l'arachide étaient notées dans chaque parcelle. Les axes 1 et 2 du graphique expliquent $72.5 + 18.4 = 90.9\%$ de la variance de l'échantillon analysé. Par ailleurs, respectivement 57.5, 53.5, et 55.6% des variations de R, P et A sont expliquées, en moyenne, par l'axe 1. Pour l'axe 2 ces valeurs sont 26.1, 36.7 et 15.6%, respectivement. Les variables R et P sont donc très bien expliquées par ces deux axes, tandis que A l'est légèrement moins bien.

Le premier axe est fortement expliqué par les points (marqué par des triangles) R0 et P0 (absence de rouille et de *C. personatum*); il peut être interprété comme un axe d'infection par la rouille et la cercosporiose à *C. personatum*, croissant de la droite vers la gauche. L'axe 2 oppose les points (carrés) R1 et P1, d'une part, R5 et P5, d'autre part, qui apportent tous des contributions importantes à cet axe. L'axe 2 peut donc être interprété comme un axe de multiplication de ces deux maladies (à l'intérieur d'un champ).

Sur ce graphique, on peut suivre le développement de la culture et de ses maladies dans un espace vectoriel à deux dimensions défini par les axes 1 et 2. Chacune des variables est représentée par une famille de points qui correspondent à des classes successives. Les points d'une même famille peuvent être reliés entre eux pour représenter un gradient croissant selon un itinéraire de développement (STD), d'âge (AGE), ou d'intensification des maladies (R, P, A, Cr, B, N). Ainsi, l'itinéraire de la variable AGE part d'une région du graphe où les sévérités R et P sont basses vers une région où ces sévérités sont élevées. Comme celui de AGE, l'itinéraire de la variable STD est très similaire à ceux de R et P. Ces deux itinéraires présentent, par ailleurs, des pas de longueurs variables, ce qui, du fait du parallélisme des courbes, peut être interprété en termes de durées: le grand écart entre R0 et R1, comparé à l'écart R2-R3, indique qu'il faut plus de temps pour la contamination des champs que pour l'intensification de la maladie. De même, le léger accroissement du pas (R4-R5 comparé à R2-R3 ou R3-R4) suggère que l'intensification est plus lente aux sévérités élevées.

L'itinéraire de la variable A est initialement parallèle, puis s'écarte, et enfin s'oppose à ceux de R et P. Ainsi, le point A5 est proche de R2 et P3, de même que de STD6 et AGE3, donc correspond à des plantes de stade et d'âge moyens. La transition A2-A3-A4-A5 s'effectue par ailleurs dans un sens opposé à AGE3-AGE4-AGE5-AGE6 et STD6-STD7-STD8-STD9.

Les variables Cr et N suivent des itinéraires totalement opposés à R et P: aux niveaux forts de rouille et de cercosporiose (*C. personatum*) correspondent des niveaux faibles des maladies dues à *S. rolfisii* et *A. niger*. La variable B, d'autre part, ne décrit pas un itinéraire particulier; il est à noter que *Botryodiplodia* sp. n'a été trouvé que dans huit champs seulement.

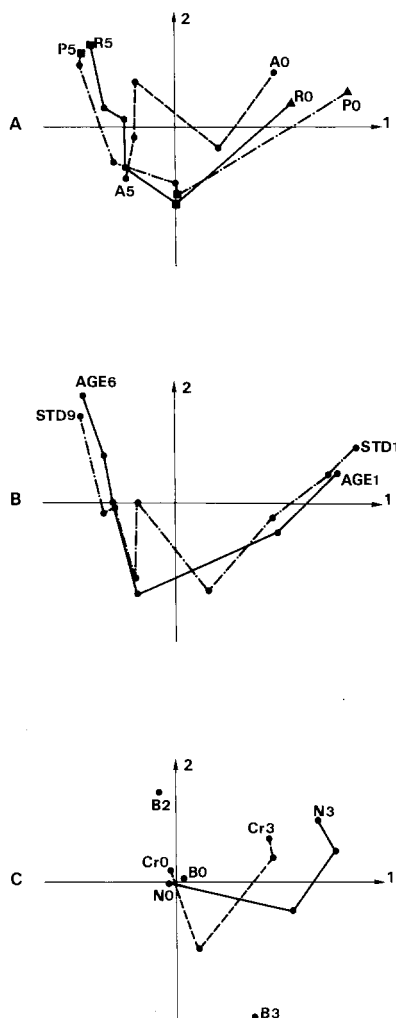


Fig. 4. Le développement des parasites fongiques dans une parcelle paysannale moyenne de Côte d'Ivoire: analyse factorielle des correspondances.

R: rouille, P: *C. personatum*, A: *C. arachidicola* (Fig. 4A), AGE: âge de la parcelle depuis le semis, STD: stade de développement (Boote, 1982, Fig. 4B), N: *A. niger*, Cr: *S. rolfsii*, B: *Botryodiplodia* sp. (Fig. 4C). Les différentes classes représentant chaque variable codée (Tabl. 1) sont représentées par des points. Ils sont reliés entre eux pour former des itinéraires, qui peuvent être parcourus dans le sens des indices croissants. Seuls les indices extrêmes sont indiqués. L'analyse (axes du graphique) est fondée sur les variables R, P et A. Deux groupes d'itinéraires s'opposent: R, P, STD et AGE, d'une part, et Cr et N, d'autre part. L'itinéraire de la variable A indique un comportement particulier de *C. arachidicola*. Ce graphe résume les tendances épidémiques différentes des parasites.

Fig. 4. Development of fungal diseases in the average small farmer's field in Ivory Coast: a correspondence analysis.

R: rust, P: *C. personatum*, A: *C. arachidicola* (Fig. 4A), AGE: age of the field in days from sowing date, STD: development stage (Boote, 1982, Fig. 4B), N: *A. niger*, Cr: *S. rolfsii*, B: *Botryodiplodia* sp. (Fig. 4C). The points on the lines represent the sequential coded classes of each variable (Table 1). Only the highest and the lowest classes are indicated and each line can be followed as a path. The analysis is based upon the contingency tables: (R * P) and (R * A). Two groups of paths are followed in opposite direction: R, P, STD, and AGE, and Cr and N. That of A indicates a special behaviour of *C. arachidicola*. This graph outlines the various epidemic trends.

Cinétique d'infection des champs par les parasites foliaires en fonction des régions. Pour cette analyse, on considère les populations de champs présents dans les trois régions principales où l'enquête a été effectuée (Nord, Centre et Sud). On a choisi d'utiliser les incidences moyennes des maladies (leurs fréquences relatives, exprimées en pourcentages de champs infectés par région), qui représentent la progression des maladies dans l'espace, plutôt que des sévérités moyennes, qui traduisent à la fois la progression et la multiplication (Seem, 1984). L'attention s'est donc portée, à l'échelle du champ, sur l'exodémie ('exodemic', Robinson, 1976), en excluant l'ésodémie ('esodemic', Robinson, 1976). Pour permettre les comparaisons, les incidences sont calculées sur la base d'une échelle de temps physiologique constituée par les stades de développement de la culture.

Pour comparer l'allure des courbes d'incidence (Fig. 5), deux critères ont été utilisés. Le premier, dans une analyse transversale (Zadoks, 1972), porte sur les pentes initiales, en comparant les fréquences de champs (aux stades 1 à 5 inclus) indemnes ou précoce-

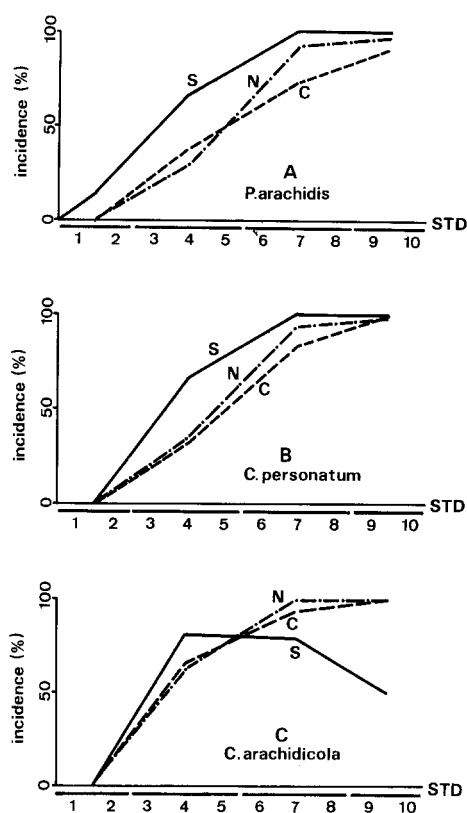


Fig. 5. Evolution de l'incidence des principales maladies foliaires de l'arachide au cours du temps dans trois grandes régions de Côte d'Ivoire. Les courbes concaves sont interprétées comme caractéristiques de maladies endémiques. Abcisses: développement des plantes mesuré en classes de stades (STD). Certaines classes ont été regroupées afin d'obtenir des échantillons suffisants (barres horizontales). Ordonnées: incidence des maladies en pourcentage de champs infectés. N: Nord (régions O, Bo, K, voir Fig. 1); C: Centres (Ca, Cb, Ni, T, B); S: Sud (Sa, Sb).

Fig. 5. Variation of incidences of the main foliar diseases of groundnut with time in three large regions of Ivory Coast. Concavity of curves is ascribed to endemicity of diseases. Abcissa: development of plants as measured by their developmental stage (STD). Some stages are grouped to obtain sufficient sample sizes (horizontal bars). Ordinate: incidence of diseases in percent of fields. N: North (regions: O, Bo, K, see Fig. 1); C: Centre (Ca, Cb, Ni, T, B); S: South (Sa, Sb).

ment infectés par un parasite dans les trois régions, avec un test de chi-2. Le second correspond à une analyse longitudinale des courbes: quatre étapes sont considérées dans le développement des plantes (STD = 1-2; 3-4-5; 6-7-8; 9-10), entre lesquelles on calcule les accroissements d'incidence, c'est à dire, la pente des courbes. Dans le cas de la rouille (Fig. 5A), les fréquences relatives de champs infectés sont successivement: 0, 29, 93, et 100% dans le Nord, 0, 38, 74, et 91% dans le Centre; et 0, 67, 100, et 100% dans le Sud. Les accroissements d'incidence sont donc: 29, 64 et 7% (Nord); 38, 36 et 17% (Centre); et: 67, 33, et 0% (Sud). Les valeurs successives des pentes peuvent être représentées par les fréquences absolues de champs infectés dans un sous-échantillon région/stade de taille constante ($n = 15$). Ces fréquences absolues sont comparées entre deux courbes prises deux à deux par un test de chi-2.

La comparaison des pentes initiales des courbes indique que la contamination des champs par la rouille (Fig. 5A) est plus rapide ($p < 0.10$) dans les champs du Sud que dans ceux du Centre et du Nord. A cet égard, il n'apparaît pas de différences significatives pour les cercosporioses (Fig. 5B et 5C). L'analyse longitudinale des accroissements d'incidence au cours du développement des plantes indique, pour la rouille, des différences significatives entre la région Sud, dont la pente est monotone, et les régions Centre ($p < 0.10$) et Nord ($p < 0.05$). Dans ce dernier cas, la courbe présente un point d'inflexion. Pour *C. personatum*, les courbes pour le Nord et le Centre, avec leurs infléchissements, diffèrent ($p < 0.10$ dans les deux cas) de celle du Sud. De même, pour

C. arachidicola, la courbe représentant le Sud, avec son plafonnement rapide, diffère de celles du Nord et du Centre ($p < 0.05$ dans les deux cas). Dans la Fig. 5, on distingue deux types opposés de courbes; le premier est représenté par l'incidence de la rouille dans le Sud, avec une pente monotone décroissante; le second est représenté par l'incidence de la rouille dans le Nord, avec une courbe sigmoïde (pente initiale faible et point d'inflexion).

Discussion

La culture de l'arachide: variabilité agronomique et homogénéité des agents pathogènes. Le Tabl. 2 montre les grandes variations dans les techniques culturales de l'arachide en Côte d'Ivoire. La période de culture augmente du Nord au Sud, où les semis sont très étalés dans le temps avec deux pics assez faiblement marqués (mars-mai et septembre-octobre). Dans la région Sud, il n'y a guère que deux mois où les semis n'aient pas lieu, ou soient du moins très rares. Des cultures de bas-fond y sont entretenues continuellement même aux périodes les plus sèches. Les informations du Tabl. 2 suggèrent, par ailleurs, un gradient d'intensification (Zadoks, 1974; Zadoks et Schein, 1979; Moreno, 1985) vers le Nord: la surface occupée par la culture, le nombre de champs, la spécialisation de l'agriculture (marquée par une diminution des associations), augmentent. Cependant il faut noter que les cultures du Sud bénéficient, du fait de la petite taille des parcelles et du fait de marchés plus favorables, de soins attentifs (ce qui est suggéré par la variation d'enherbement). Dans aucune des régions couvertes par l'enquête, cependant, ne sont employés des engrais (J.P. Busnardo, IRAT, comm. pers.) ou des pesticides.

La variabilité des conditions agronomiques se superpose à la variabilité des conditions climatiques (Tabl. 3). Elles contrastent avec la stabilité du spectre parasitaire: les six principaux parasites de l'arachide sont pratiquement présents dans toutes les régions (Tabl. 5). Il n'en est cependant pas de même avec les parasites moins importants, dont la plupart présentent des répartitions régionales tranchées. D'autre part, les intensités des maladies les plus fréquentes varient beaucoup d'une région à l'autre (Tabl. 5).

La liste des parasites identifiés au cours de l'enquête (Tabl. 4) indique que la plupart des parasites importants de l'arachide sont présents en Côte d'Ivoire (Jackson et Bell, 1969; Porter et al., 1984). Une augmentation sensible de leur nombre découle de cette enquête par rapport à la liste de Resplandy et al. (1954).

Développement moyen des parasites fongiques dans une parcelle paysannale traditionnelle. La Fig. 4 décrit le développement moyen d'un champ cultivé traditionnellement et de ses principales maladies. L'adjonction des variables décrivant le stade et l'âge des plantes permet d'en faire une interprétation relativement simple. Les itinéraires, parallèles et de même sens, du développement et de la croissance des plantes, et de l'intensification de la rouille (R) et de la cercosporiose à *C. personatum* (P), rendent compte des tendances épidémiques régulières de ces maladies dans le champ.

L'itinéraire correspondant à la cercosporiose à *C. arachidicola* ('early leaf-spot', A) indique, au contraire, une multiplication rapide de la maladie dès les stades jeunes des plantes, et un déclin lorsqu'elles approchent de la maturité. Ce comportement est en accord avec la littérature (Porter et al., 1984). On observe également sur ce graphique

les incidences fortes de *S. rolfssii* (Cr) et de *A. niger* (N) en correspondance avec des plantes jeunes, et le rapide déclin de ces maladies lorsque les plantes grandissent. Les valeurs nulles (CrO, NO) des variables correspondant à ces maladies sont en positions centrales sur le graphique, ce qui indique que ces maladies sont habituellement absentes du champ d'âge moyen.

Les parasites foliaires: développements des épidémies et endémicité. Les trois principales maladies foliaires de l'arachide (rouille et cercosporioses) sont présentes partout en Côte d'Ivoire, mais leurs apparitions ne sont pas simultanées au cours du développement des cultures, et leurs progressions dans les régions peuvent varier, comme l'indique la Fig. 5.

Le qualificatif 'épidémique' fait référence à un accroissement d'intensité et de répartition géographique. 'Endémique' par contre, implique une permanence de la maladie au lieu considéré, même si son intensité varie (Zadoks et Schein, 1979). Dans ce dernier cas, nous utilisons l'exemple décrit par Putter (*P. colocasiae*/taro, 1978) comme type de maladie endémique en zone tropicale humide. L'usage veut (Van der Plank, 1963; 1975; Zadoks et Schein, 1979), qu'exceptionnellement, dans le cas des réservoirs d'inoculum, on comprenne par l'expression 'permanence de la maladie' le parasite seul, lorsqu'il est séparé de son hôte habituel (il se maintient par exemple sur un hôte secondaire) ou même lorsque son trophisme a changé (maintien sur des résidus de récolte).

Il est donc nécessaire, dans une étude synécologique du fonctionnement d'un pathosystème multiple, de prendre en considération les réservoirs d'inoculum, parce qu'ils en font partie (Zadoks, 1974). Les sources d'inoculum de la rouille de l'arachide sont mal identifiées. On ne lui connaît pas, aujourd'hui, d'hôtes secondaires (Subrahmanyam et al., 1985). La source la plus fréquemment évoquée est constituée par les champs infectés eux-mêmes, qu'ils soient proches ou très lointains de la zone considérée (Wells, 1962; Thompson et Smith, 1971; Subrahmanyam et al., 1979; Subrahmanyam et McDonald, 1982; Mayee et Ekbote, 1983). Les repousses infectées dans les champs récoltés peuvent également constituer des sources d'inoculum (Harrison, 1972); et cette situation a été constatée au cours de l'enquête, dans le Centre. Une source importante d'inoculum pour les cercosporioses est constituée par les résidus de récoltes infectés (Chevaugéon, 1952; Hemingway, 1954; Shanta, 1960). Probablement, le sol lui-même, dans lequel des spores et du mycélium peuvent se maintenir (Frezzi, 1960), constitue une source d'inoculum pour les cultures qui y seraient implantées (Chevaugéon, 1952; Jackson et Bell, 1969). Ce réservoir d'inoculum serait fonctionnel pendant plusieurs années selon Roger (1951-1954). On peut dès lors supposer que ce réservoir d'inoculum existe partout où l'arachide est cultivée et infectée par *C. personatum* et *C. arachidicola*.

Deux types de courbes peuvent être distinguées dans la Fig. 5. Le premier type (type 1: rouille: Sud; *C. personatum*: Sud; *C. arachidicola*: Nord, Centre et Sud) est caractérisé par des courbes concaves, avec de fortes pentes initiales. Le second type (type 2: rouille: Nord et Centre, *C. personatum*: Nord et Centre) est caractérisé par des courbes convexes ou légèrement concaves, avec de faibles pentes initiales. Le type 1 correspond à une infection précoce et généralisée des champs, donc à un réservoir d'inoculum proche (ou bien relativement proche et puissant), donc, à des maladies endémiques. Le type 2 correspond à une infection progressive, plus tardive, de la population de champs. Il correspond donc à une source d'inoculum lointaine et forte, ou bien proche

mais faible, ou encore à une source d'inoculum proche et puissante fonctionnant dans des conditions peu favorables à l'infection. Ce second type de courbe peut donc être associé à des épidémies progressives, ou à des maladies endémiques se développant dans des conditions peu favorables. Seul le premier de ces deux types de courbes permet une interprétation peu ambiguë. A partir de ces observations, il est possible de proposer un schéma épidémiologique d'ensemble.

La situation de l'arachide dans le Sud vis-à-vis de la rouille (Fig. 5, A) peut être considérée comme analogue à celle du taro vis-à-vis de *P. colocasiae* en Papouasie (Putter, 1978): une succession de phases épidémiques explosives sur un fond d'endémicité lié à la présence continue de cultures infectées. La périodicité, comme pour *P. colocasiae*, est liée au retour saisonnier de conditions plus favorables, mais probablement aussi, à des périodes où les semis sont plus nombreux (deux fois par an). Dans cette région, les cercosporioses (Fig. 5, B et C) sont également endémiques, du fait de la continuité des cultures, mais aussi de la présence d'un réservoir d'inoculum.

Dans les régions Nord et Centre (Fig. 5, A) il n'existe pas de réservoirs de rouille importants. Seules quelques repousses infectées, rares, peuvent éventuellement jouer ce rôle. La source d'inoculum principale est lointaine: les champs infectés du Sud; et chaque année, des épidémies plus ou moins tardives s'y développent. La rouille s'étend d'abord lentement dans le Nord (Fig. 5, A), puis rapidement, en marquant un point d'inflexion. Ceci peut être attribué à la dispersion accrue de la rouille entre les champs de cette région (exodémie): ils sont nombreux, relativement grands, et proches (Waggoner, 1962). Les faibles pentes initiales et l'aspect convexe des courbes d'incidence pour *C. personatum* ('late leaf-spot', Porter et al., 1984) dans le Centre et le Nord sont interprétés comme les résultats d'une moindre sensibilité des plantes en association avec des conditions relativement défavorables (de pluviométrie, notamment, Tabl. 3) pour le développement de la maladie.

Cette analyse préliminaire permet de tirer quelques conclusions. Parmi les nombreuses maladies fongiques de l'arachide, trois sont particulièrement importantes en Côte d'Ivoire, la rouille et les cercosporioses. Selon Putter (1978), l'endémicité est une caractéristique des pathosystèmes en zone tropicale humide. De fait, dans le Sud de la Côte d'Ivoire, la rouille de l'arachide peut être considérée comme endémique: la brièveté du cycle de l'hôte y est compensée par l'étalement des périodes de semis. Il en est semble-t-il de même pour *C. personatum* et *C. arachidicola* dans cette région, ainsi que dans le Nord et le Centre, mais dans le cas de ces parasites, l'endémicité est probablement liée à un réservoir permanent: le sol. Par contre, le Nord et le Centre sont le siège d'épidémies cycliques de rouille dont l'inoculum primaire provient, au moins pour la plus grande part, des champs infectés du Sud.

Du Sud au Nord, un gradient d'intensification croissant de la culture de l'arachide est suggéré par les données agronomiques. Dans le Sud, par ailleurs, on note une forme particulière d'intensification: la culture continue, associée à un soin important apporté à l'entretien des parcelles. C'est dans le Nord et le Sud que les épidémies de rouille se développent avec les plus grande intensité; et l'on retrouve le principe: 'les parasites faibles sont remplacés par des nécrotrophes, les nécrotrophes par des biotrophes' (Zadoks, 1974), lorsque l'intensité de l'agriculture s'accroît.

La poursuite de l'analyse de cette enquête pourra permettre de mieux identifier les facteurs qui influent sur le développement des principales maladies fongiques, et en particulier, de la rouille de l'arachide.

Remerciements

L'auteur exprime sa gratitude auprès du Professeur J.C. Zadoks (Département de Phytopathologie, Wageningen, Pays-Bas) pour l'intérêt qu'il a porté à cette étude, et ses conseils pour sa réalisation et son interprétation.

L'analyse de cette enquête a été possible grâce à l'existence, sur le Centre d'Adiopo-doumé, du logiciel NDMS. Son auteur principal, M.M. Noirot (ORSTOM, Laboratoire de Génétique) en est vivement remercié, ainsi que pour l'assistance apportée dans la réalisation de l'analyse. Une partie de cette étude a bénéficié de l'appui de la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT). L'auteur l'en remercie.

Samenvatting

Enquete naar de schimmelziekten van de aardnoot (Arachis hypogaea) in Ivoorkust. I. Werkwijze en resultaten: de teeltomstandigheden en de belangrijkste ziekten

De schimmelziekten van de aardnoot (*Arachis hypogaea* L.) zijn in een aantal regio's van Ivoorkust bestudeerd middels een enquête tijdens de jaren 1982 tot 1984. Methoden van waarneming en analyse worden uiteengezet. De eerste resultaten, vooral over enkele bladziekten, en met name over de roest (*Puccinia arachidis*), worden besproken. De resultaten wijzen op grote variaties in klimatologische omstandigheden en teeltwijzen. Zestien fytopathogene schimmels werden gevonden, waarvan zes algemeen in alle teeltgebieden.

De waarnemingsresultaten werden onderworpen aan een statistische analyse, de factoriële correspondentie-analyse. Deze maakte het mogelijk de gemiddelde ontwikkelingsgang te beschrijven van het multiële pathosysteem aardnoot – roest – cercosporiose – verwelkingsziekten.

Voor de drie belangrijkste ziekten van het blad (roest en cercosporiosen) werd het begrip endemiciteit in een tropische omgeving onderzocht. De roestepidemieën werden in hoofdzaak toegeschreven aan het endemisch voortbestaan van het pathogeen in het zuiden van Ivoorkust, waar explosieve epidemieën regelmatig voorkwamen. Jaarlijks ontwikkelden zich ook epidemieën in het noorden en midden van Ivoorkust. Het eerste inoculum hiervoor kwam, in hoofdzaak, uit het zuiden van Ivoorkust.

De resultaten doen vermoeden, dat de intensivering van de landbouw de roestziekte van aardnoot sterk zal bevorderen.

Références

- Benzécri, J.P. et collaborateurs, 1973. L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances. Dunod, Paris, 632 pp.
- Boote, K.J., 1982. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). Peanut Science 9: 35-40.
- Butt, D.J. & Royle, D.J., 1978. The importance of terms and definitions for a conceptually unified Epidemiology. In: Palti, J. & Kranz, J. (Eds), Comparative epidemiology. A tool for better disease management. Pudoc, Wageningen. p. 29-45.
- Chevallier, P., 1983. L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cahiers ORSTOM, Sér. Hydrologie. 20: 179-189.
- Chevaugéon, J., 1952. Recherches sur la cercosporiose de l'arachide en moyenne Casamance. Annales de l'INA Paris (C) 3: 489-510.

- Chevaugéon, J., 1956. Enquête phytopathologique dans le bassin du Cavally. *Revue de Mycologie. Supplément colonial* 2: 57-86.
- Clive James, W., 1974. Assessment of plant diseases and losses. *Annual Review of Phytopathology* 12: 27-48.
- Eskes, A.B. & Toma-Braghini, 1981. Méthode d'évaluation de la résistance à la rouille du caféier (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). *FAO Plant Protection Bulletin* 29: 56-66.
- Frezzi, M.J., 1960. Enfermedades del mani en la provincia de Cordoba (Argentina). *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 14: 113-155.
- Gillier, P. & Silvestre, P., 1969. *L'arachide*. Maisonneuve et Larose. Paris. 292 p.
- Guillaumet, J.L. & Adjanohoun, E., 1971. La végétation de la Côte d'Ivoire. In: *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM* 50: 161-232.
- Harrison, A.L., 1972. Observations on the development and spread of peanut rust in South Texas in 1971. *Plant Disease Reporter* 56: 873-874.
- Hemingway, J.S., 1954. *Cercospora* leafspots of groundnut in Tanganyika. *East African Agricultural and Forestry Journal* 19: 263-271.
- Jackson, C.R. & Bell, D.K., 1969. Diseases of peanut (groundnut) caused by fungi. *University of Georgia Research Bulletin* 56: 1-137.
- Lagarde, J. de, 1983. *Initiation à l'analyse des données*. Bordas. Paris. 157 pp.
- Mayee, C.D. & Ekbote, A.U., 1983. Life cycle and microepidemiology of *Puccinia arachidis* Speg.: rust of groundnut in Maharashtra. *Indian Journal of Plant Pathology* 1: 62-67.
- McDonald, D. & Emechebe, A.M., 1978. Occurrence and preliminary survey of peanut rust in Nigeria. *Plant Disease Reporter* 62: 5-8.
- Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire, 1975. Recensement national de l'agriculture. II. 258 pp.
- Monteny, B. & Lhomme, J.P., 1980. *Elements de bioclimatologie*. Document ORSTOM. 90 pp.
- Moreno, R.A., 1985. Plant pathology in the small farm context. *Annual Review of Phytopathology* 23: 491-512.
- O'Brien, R.G., 1977. Observation on the development of groundnut rust in Australia. *PANS* 23: 297-299.
- Porter, D.M., Smith, D.H. & Rodriguez-Kabana, R., 1984. *Compendium of peanut diseases*. The American Phytopathological Society, St Paul, USA. 73 p.
- Putter, C.A.J., 1978. The management of epidemic levels of endemic diseases under tropical subsistence farming conditions. In: Palti, J. & Kranz, J. (Eds), *Comparative epidemiology. A tool for better disease management*. Pudoc, Wageningen. p. 93-103.
- Resplandy, R., Chevaugéon, J., Delassus, M. & Luc, M., 1954. Première liste annotée de champignons parasites de plantes cultivées en Côte d'Ivoire. *Annales des Epiphyties* 1: 1-61.
- Robinson, R.A., 1976. *Plant pathosystems*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York. 184 pp.
- Roger, L., 1951-1954. *Phytopathologie des pays chauds*. P. Lechevalier, Ed., Paris. 3154 pp.
- Seem, R.C., 1984. Disease incidence and severity relationships. *Annual Review of Phytopathology* 22: 132-150.
- Shanta, P., 1960. Studies on *Cercospora* leafspots of groundnut (*Arachis hypogaea*). *Journal of the Madras University* 30: 167-177.
- Subrahmanyam, P., Reddy, L.J., Gibbons, R.W., Rao, V.R. & Garren, K.H., 1979. Current distribution of rust in India. *PANS* 21: 25-29.
- Subrahmanyam, P. & McDonald, D., 1982. Groundnut rust. Its survival and carry-over in India. *Proceedings of the Indian National Sciences Academy (Plant Sciences)* 91: 93-100.
- Subrahmanyam, P., Reddy, L.J., Gibbons, R.W. & McDonald, D., 1985. Peanut rust: a major threat to peanut production in the Semi-Arid Tropics. *Plant Disease* 69: 813-819.
- Thompson, S.S. & Smith, D.H., 1972. Distribution and significance of peanut rust in Georgia in 1971. *Plant Disease Reporter* 56: 290-293.

- Van der Plank, J.E., 1963. Plant diseases. Epidemics and control. Academic Press. New York/London. 349 pp.
- Van der Plank, J.E., 1975. Principles of plant infection. Academic Press. New York/San Francisco/London. 216 pp.
- Waggoner, P.E., 1962. Weather, space, time and change of infection. *Phytopathology* 52: 1100-1108.
- Wells, J.C., 1962. Peanut rust in North Carolina. *Plant Disease Reporter* 46: 65 (Abstr.).
- Zadoks, J.C., 1972. Methodology of epidemiological research. *Annual Review of Phytopathology* 10: 253-276.
- Zadoks, J.C., 1974. The role of epidemiology in modern Phytopathology. *Phytopathology* 64: 918-923.
- Zadoks, J.C. & Schein, R.D., 1979. Epidemiology and plant disease management. Oxford Univ. Press, New York/Oxford. 427 pp.