

LES CERCOSPORIOSES DU BANANIER ET LEURS TRAITEMENTS.

Evolution des méthodes de traitement.

1-Traitements fongicides.

2 -Avertissement.

J. GANRY et E. LAVILLE*

LES CERCOSPORIOSES DU BANANIER ET LEURS TRAITEMENTS
Evolution des méthodes de traitement
1 - Traitements fongicides
2 - Avertissement

J. GANRY et E. LAVILLE (IRFA)

Fruits, Jan. 1983, vol. 38, n° 1, p. 3-20.

RESUME - Les auteurs passent successivement en revue les différentes méthodes de traitement des cercosporioses du bananier en fonction de l'apparition de molécules fongicides nouvelles, et exposent les méthodes de prévision et d'avertissement du développement de ces maladies, les mieux adaptées au cas particulier des cultures bananières des zones tropicales.

INTRODUCTION

Les premiers essais de lutte contre la Cercosporiose du bananier ont rapidement montré que le rythme des émissions foliaires de cette plante allait imposer un rythme d'application de formulations fongicides très rapide, conduisant à un minimum d'une quarantaine de traitements par an, auxquels s'ajoutaient les contraintes d'épandre à chaque traitement environ 2 000 litres de formulations aqueuses par hectare. Ce qui était proprement intolérable.

La recherche s'est donc efforcée de réduire ces contraintes en étudiant de plus près la biologie du pathogène afin de n'intervenir qu'à bon escient (méthodes d'observation de l'évolution de la maladie et avertissement), en limitant les volumes de formulations épandues sur chaque hectare et à chaque traitement (application à bas volume L.V. et à très bas volume U.L.V.) et en choisissant des molécules fongicides plus efficaces et plus rémanentes (fongicides systémiques).

TRAITEMENTS FONGICIDES

Une première évolution s'est faite sur le mode d'application.

Après une période pendant laquelle les bouillies cupriques étaient appliquées par pulvérisation (2 000 litres par hectare), on a cherché à réduire les volumes épandus à l'aide d'atomeurs portés ou tractés, puis on est rapidement passé à l'application aérienne (avion, hélicoptère).

Les volumes épandus par hectare sont donc en quelques années passés d'environ 2 000 litres à 40 litres et 15 litres par traitement et par hectare.

Cette évolution a été rendue possible par la découverte des qualités des huiles minérales, qui se sont révélées être d'excellents véhicules de produits fongicides, soit seules, soit en mélange à l'eau. Elles ont montré des activités fongistatiques directes sur le pathogène et ont assuré une bonne pénétration dans les tissus des feuilles en évitant ainsi le lessivage par les pluies survenant après un traitement.

* - IRFA-GERDAT - B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER Cedex

La deuxième évolution a concerné les produits fongicides eux-mêmes.

Fongicides de contact.

A une période d'emploi presque exclusif de formulations cupriques, hérité du règne incontesté de la bouillie bordelaise, a succédé l'utilisation de fongicides de synthèse et plus particulièrement du groupe des dithiocarbamates dont le Zinèbe, le Manèbe, le Mancozèbe sont les représentants les plus couramment utilisés. Ils ne sont pas phytotoxiques ; leur polyvalence est assez grande et ils possèdent une certaine action bénéfique directe sur la végétation. Ils sont utilisés sur la base d'environ 1 kg à 1,5 kg de matière active par hectare et par traitement en formulation huileuse ou aqueuse. Ils sont appelés fongicides de «contact» par référence aux fongicides dits «systémiques».

A ce groupe des dithiocarbamates se sont ajoutés récemment plusieurs fongicides, que l'on range également dans le groupe des fongicides dits de contact, le chlorothalonil, le tridémorphe et le bitertanol.

Le chlorothalonil est utilisé sur la base d'environ 1,5 à 2 kg de m.a./ha. Il ne peut être mélangé qu'à l'eau (il est phytotoxique en présence d'huile) ; il est légèrement irritant.

Le tridémorphe est actif à partir de 300 g m.a./ha ; il est miscible à l'huile et à l'eau. Il pénètre dans les feuilles, mais ne migre pas.

Le bitertanol présente des qualités voisines de celles du tridémorphe.

Les inconvénients principaux de ces fongicides de contact résident dans le fait qu'ils sont facilement lessivés par les pluies, que leur répartition sur les faces inférieures des feuilles est médiocre et qu'ils ne protègent (et pour cause) que les feuilles présentes au moment du traitement.

Fongicides systémiques.

Depuis une dizaine d'années, l'industrie chimique a proposé plusieurs séries de fongicides dits «systémiques» appelés ainsi parce qu'après pénétration dans les tissus (feuilles, rameaux, racines), ils sont partiellement véhiculés dans la plante et peuvent atteindre indirectement les parties non traitées initialement. Ces produits migrent d'abord et préférentiellement par le xylème, mais quelques traces peuvent être décelées dans le phloème.

Une première série comprend plusieurs molécules du groupe des benzimidazoles, dont le bénomyl, le carbendazim, le méthyl-thiophanate, le thiabendazole.

Ils présentent quelques différences mais ont en commun d'être efficaces entre 125 g et 350 g m.a./ha, de pénétrer rapidement dans les feuilles de bananier et de migrer partiellement dans les jeunes feuilles apparues après traitement.

Ils sont donc peu sensibles aux pluies et permettent de diminuer le nombre de traitements annuels.

Ils sont compatibles avec les formulations huileuses et aqueuses.

Une deuxième série plus récente, dont la fonction commune est d'être inhibiteurs des synthèses des stérols, regroupe

l'Imazalil, le Triadimefon, le Triadimenol, le Propiconazole et le Nuarimol. Leur efficacité se situe entre 100 g et 300 g m.a./ha ; ils pénètrent rapidement dans les feuilles et migrent dans le reste de la plante. Ils sont compatibles avec les formulations huileuses et aqueuses.

Outre ces qualités, leur intérêt principal réside dans le fait qu'ils demeurent actifs sur les races de *Cercospora* devenues résistantes aux fongicides du groupe des benzimidazoles.

Situation actuelle des traitements aériens.

Plusieurs méthodes efficaces de traitement des Cercosporioses du bananier sont actuellement utilisées dans les régions géographiques où sévissent ces maladies.

Elles présentent des avantages et inconvénients, d'ordre technique ou économique, et c'est pourquoi le choix d'un mode de traitement doit être soigneusement étudié en fonction de chaque situation, car il ne sera pas possible ensuite d'espérer d'une technique ce qu'elle ne peut pas donner. En revanche, il reste toujours possible de changer de méthode en fonction de l'évolution de la situation.

Il faut aussi rappeler qu'en cas de très forte infection généralisée, les traitements que l'on soit devienne pratiquement inefficaces et que la solution la plus sage consiste à recéper les plantes atteintes, à détruire ou enterrer les vieilles feuilles contaminées et à reprendre les traitements dès que les nouvelles feuilles des rejets sont susceptibles d'être à leur tour contaminées.

Actuellement, deux «doctrines» ou plutôt deux «écoles» de traitement sont suivies et sont parfois en compétition.

Une première école, que nous qualifierons de française ou de méthode IRFA puisque ce sont les travaux des ingénieurs de notre Institut qui en ont assuré la mise au point, utilise comme base de formulation essentiellement l'huile, additionnée ou non de fongicides (de contact ou systémiques).

L'autre école, que nous appellerons «américaine», développée et mise au point par des chercheurs américains initialement en Amérique centrale, fait appel à des mélanges huile + eau comme base de formulation, additionnée de fongicides (de contact ou (et) systémiques).

Les caractéristiques de ces deux méthodes de base sont résumées dans le tableau ci-contre. (Les doses et volumes indiqués sont des bases minimums et des moyennes. Dans la pratique, il arrive que l'on puisse les diminuer légèrement ou qu'on soit dans l'obligation de les augmenter).

Nous exposerons maintenant les avantages et inconvénients de ces différentes possibilités.

Traitements selon la méthode IRFA.

● Huile seule.

On recommande, en principe, de traiter sur la base de 12 à 15 litres d'huile par hectare, au rythme des émissions foliaires, c'est-à-dire environ tous les 10 à 12 jours.

Une légère diminution du volume d'huile par hectare peut être acceptée sans trop de risques si l'on est certain que les surfaces à traiter ont été correctement estimées (y compris les chemins et bordures), que les appareils «micronair» sont

méthode «IRFA»	méthode «américaine»
huile seule sur la base de 12 litres/ha ou huile (12 litres/ha) additionnée de fongicide de contact ou huile (12 litres/ha) additionnée de fongicide systémique - traitement déclenché sur avertissement - 20 à 30 traitements par an pour l'huile seule et huile additionnée de fongicide de contact - 4 à 15 traitements par an (selon régions et niveau d'infestation) pour les mélanges avec le fongicide systémique	mélange (par ha) : huile (5 à 10 litres) + eau (30 litres) + fongicide de contact ou+ fongicide systémique ou+ fongicide de contact et fongicide systémique - traitement régulier systématique - 30 à 30 traitements par an selon régions

parfaitement réglés, enfin que l'épandage est effectué à bonne altitude et avec un excellent ajustement des bandes de passage, notamment dans les bordures des parcelles, et que l'état sanitaire est satisfaisant.

L'actor fongistatique de l'huile s'exerce sur le *Mycosphaerella musicola*, sur les *Mycosphaerella fijiensis* et sur les races de ces espèces devenues résistantes aux fongicides.

Les pluies survenant plusieurs heures après traitement ne sont guère susceptibles de lessiver l'huile épandue qui pénètre en quelques heures dans les feuilles. Les deux faces sont protégées puisque l'huile migre bien d'une face à l'autre.

En période favorable à la maladie, le rythme des traitements doit impérativement suivre l'émission des nouvelles feuilles. Le nombre de traitements par an et par hectare est donc élevé.

On a signalé, dans certaines régions, une action légèrement dépressive de l'huile, si l'on traite à des cadences très élevées (un traitement tous les 6 à 7 jours par exemple) et par ensoleillement maximum.

● Huile additionnée de fongicides de contact.

- Dithiocarbamates.

Le volume d'huile est le même (12 à 15 litres) auquel on ajoute environ 1 kg m.a. de Manèbe ou de Zinèbe ou de Mancozèbe.

Des mouillants assurent une miscibilité acceptable de ces fongicides avec l'huile.

On note une efficacité légèrement supérieure de ces mélanges par rapport à l'huile seule.

On rencontre parfois quelques difficultés de formulation et le prix du traitement est plus élevé qu'à l'huile seule.

Ces formulations ne permettent guère de diminuer le nombre des traitements.

- Tridémorphe.

A un volume de base d'huile de 12 à 15 litres, on ajoute environ 300 g m.a. de Tridémorphe.

La miscibilité de ce fongicide avec l'huile est bonne.

La pénétration du Tridémorphe dans les feuilles évite en partie le lessivage par les pluies et permet de diminuer légèrement le nombre des traitements. Il serait légèrement plus efficace sur les *M. fijiensis* que sur *M. musicola*.

- Bitertanol.

Ce produit encore en expérimentation présente à dose égale des efficacités très voisines de celles du Tridémorphe.

On peut considérer que ces deux derniers fongicides se situent, pour leur qualité, entre les fongicides de contact du type dithiocarbamate et les fongicides systémiques.

● Huile additionnée de fongicides systémiques.

Les fongicides systémiques ont la propriété de migrer dans les feuilles traitées et dans certaines conditions de migrer également dans les feuilles non traitées ou pas encore développées au moment du traitement.

On dispose actuellement des produits suivants :

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| - le Carbendazime ou M.B.C. | groupe des benzimidazoles |
| - le Bénomyl | |
| - le Thiabendazole | |
| - le Méthylthiophanate | |
| - l'Imazalil | groupe des inhibiteurs des stérols |
| - le Triadimefon | |
| - le Triadimenol | |
| - le Propiconazole | |
| - le Nuarimol | |

Ces produits ont les avantages et les inconvénients suivants:

1. Carbendazime.

Très bonne pénétration et migration dans les feuilles. Miscibilité acceptable avec l'huile.

Utilisé sur la base de 125 à 150 g de m.a. dans 12 à 15 litres d'huile par hectare, il assure un bon contrôle des Cercosporioses et permet de diminuer notablement le nombre de traitements par an. On peut obtenir des intervalles de traitement de 20 à 40 jours (et parfois plus) selon l'état sanitaire et la climatologie.

Il est efficace sur *Mycosphaerella musicola* et les *Mycosphaerella fijiensis* (avec sur ces dernières espèces une efficacité un peu plus faible), mais a tendance à induire et à sélectionner en quelques années des races nouvelles résistantes.

2. Bénomyl.

C'est le fongicide systémique qui a été le premier utilisé sur les Cercosporioses du bananier. Il présente une excellente pénétration et une très bonne migration dans la plante.

La dose recommandée est de 125 à 150 g m.a. par hectare dans 12 à 15 litres d'huile.

Tout comme le Carbendazime, il permet une diminution très sensible du nombre de traitements par an.

Il est actif sur *M. musicola* et les *M. fijiensis* mais il a tendance à induire l'apparition de races qui lui sont résistantes.

Sa miscibilité à l'huile est médiocre.

3. Thiabendazole (TBZ).

Sa pénétration dans les feuilles est excellente. En revanche sa migration dans la plante est plus faible.

Il est utilisé sur la base de 300 à 350 g m.a. par hectare dans 12 à 15 litres d'huile.

Il assure un bon contrôle des Cercosporioses à des intervalles de traitements de 20 à 40 jours (et parfois plus) selon l'état sanitaire et la climatologie.

Il est efficace sur *Mycosphaerella musicola* et les *Mycosphaerella fijiensis* (avec sur ces dernières espèces une efficacité légèrement plus faible).

Il ne semble pas sélectionner trop rapidement des races résistantes, mais devient inefficace sur la plupart des races devenues résistantes au Bénomyl et au Carbendazime.

4. Méthylthiophanate.

Sa pénétration et sa migration dans les feuilles sont excellentes. Très bonne miscibilité avec l'huile pour la formulation commerciale.

Il est utilisé sur la base de 350 à 400 g de m.a. par hectare dans 12 à 15 litres d'huile.

Il permet, comme les fongicides systémiques précédents, un bon contrôle des Cercosporioses aux mêmes rythmes de traitement.

Il ne semble pas sélectionner trop rapidement des races résistantes, mais devient inefficace sur la plupart des races devenues résistantes au Bénomyl, au TBZ et au Carbendazime.

5. Imazalil.

Très bonne pénétration et migration dans les feuilles. Très bonne miscibilité à l'huile.

Il est utilisé sur la base de 250 à 300 g de m.a. par hectare dans 12 à 15 litres d'huile et permet, comme les fongicides systémiques précédents, un bon contrôle des Cercosporioses aux mêmes rythmes de traitement.

Il est actif sur *Mycosphaerella musicola*, très actif également sur les *Mycosphaerella fijiensis*, et demeure actif sur les races devenues résistantes aux fongicides systémiques précédents (Carbendazime, Bénomyl, Thiabendazole, Méthylthiophanate). Il n'induit pas lui-même de races résistantes.

6. Propiconazole.

Ce produit plus récemment découvert est encore l'objet de travaux de recherche. Cependant ses qualités essentielles ont pu être mises en évidence.

Il possède une très bonne pénétration et une bonne migration dans les feuilles.

Il est actif à environ 100 g m.a./ha et est facilement miscible à l'huile.

Son spectre d'activité est assez large ; il agit sur *M. musicola* et sur les *M. fijiensis* résistants ou non aux benzimidazoles.

Il permet, comme les autres fongicides systémiques, de diminuer fortement le nombre de traitements annuels.

Il ne semble pas présenter de phytotoxicité ni à court terme ni à long terme.

7. Triadimefon - Triadimenol - Nuarimol.

Ces produits sont également expérimentés depuis peu de temps. Leurs qualités concernant les doses hectare efficaces, leur pénétration, leur migration, le rythme des applications, semblent tout à fait voisines de celles du Propiconazole.

● En résumé, l'avantage le plus important des fongicides systémiques, c'est qu'additionnés à l'huile seule, déjà fongistatique par elle-même, ils permettent une diminution très importante du nombre des traitements annuels, lorsqu'ils sont associés à une méthode d'avertissement, tout en assurant une excellente protection avec des doses inférieures à celles des fongicides de contact.

Ils présentent cependant un inconvénient, surtout pour le groupe des benzimidazoles, puisque c'est au sein de cette série que les cas d'apparition de races résistantes ont été les plus fréquents au cours de ces 10 dernières années.

Traitements selon la méthode américaine.

Cette «école» recommande essentiellement le mélange de base 3/4 eau + 1/4 huile pour obtenir un volume d'environ 35 à 40 litres à épandre par hectare, auquel on ajoute soit un fongicide de contact, soit un fongicide systémique, soit un «cocktail» des deux catégories.

Dans le mélange eau + huile, il semble que l'huile ne joue qu'un rôle de véhicule et que son action fongistatique, réelle lorsqu'elle est utilisée seule, n'existe plus.

1. Avec les fongicides de contact, du groupe des dithiocarbamates, les doses sont d'environ 1 à 1,5 kg de m.a. par hectare.

La fréquence des traitements suit de près le rythme de l'émission foliaire ; l'avertissement n'est pas ou peu utilisé, les traitements sont donc programmés à l'avance et sont appliqués systématiquement.

La répartition globale à l'hectare reste bonne, même en cas de petites imperfections des traitements puisque le volume épandu est plus élevé que dans le cas de traitement à l'huile.

En revanche, la protection de la face inférieure des feuilles adultes est médiocre.

Le volume plus élevé de mélange impose un nombre plus

important de rotations aux avions de traitement.

Les risques de lessivage en cas de pluie survenant après traitement sont élevés.

2. Avec les fongicides comme la Calixine et le Bitertanol, utilisés à environ 250 à 300 g m.a./ha, les risques de lessivage sont réduits et le nombre de traitements peut être légèrement diminué.

Les deux faces des feuilles sont mieux protégées.

3. Avec le Chlorothalonil, la formulation est uniquement aqueuse, sur la base de 3 à 5 litres de produit commercial pour 25 à 27 litres d'eau.

(Rappelons en effet que le Chlorothalonil engendre une forte phytotoxicité en présence ou en mélange à l'huile).

Les avantages et inconvénients des traitements au Chlorothalonil sont semblables à ceux des traitements utilisant les fongicides de contact dans le mélange huile+ eau.

4. Avec les fongicides systémiques du groupe des benzimidazoles, Imidazoles, Pyrimidines, et du groupe des Tritylazoles, on obtient de meilleures performances qu'avec les fongicides de contact.

On évite le lessivage par les pluies éventuelles et on peut se permettre de diminuer légèrement le nombre des traitements sans toutefois jamais atteindre celui obtenu avec les traitements à base d'huile, s'appuyant sur un système d'avertissement.

Il semble en outre que les races résistantes au groupe des benzimidazoles soient apparues nettement plus tôt (après 2 à 4 ans d'utilisation) dans les zones traitées aux benzimidazoles avec le mélange de base eau + huile que dans les zones où ces mêmes benzimidazoles étaient appliqués dans la base huile seulement (après 7 à 10 ans d'utilisation).

On peut enfin, à la base eau + huile, adjoindre en mélange fongicides de contact et fongicides systémiques en utilisant les doses propres à chaque fongicide lorsqu'il est utilisé seul.

L'avantage au niveau de l'efficacité n'est pas évident. Ces mélanges ont surtout été développés pour lutter contre l'apparition de races résistantes aux benzimidazoles (mélanges Bénomyl + Mancozèbe), mais dans ce cas également leur efficacité n'est pas totale.

Ceci d'ailleurs pose le problème de la stratégie d'emploi des fongicides face au risque d'apparition de races résistantes à l'un d'eux ; est-il préférable de mélanger des molécules d'origine chimique différente ou faut-il les utiliser en alternance ?

Conclusions.

C'est grâce à la découverte des propriétés de l'huile et à l'apparition des fongicides systémiques que de gros progrès ont pu être faits depuis 20 ans dans le traitement des Cercosporioses du bananier ; mais il faut souligner que l'un des éléments de ce progrès, la réduction considérable du nombre annuel de traitements, n'a pu être atteint qu'en utilisant toutes les connaissances de la biologie des Cercospora et en bâtissant sur ces données un système d'avertissement de qualité.

AVERTISSEMENT*

Un avertissement, pratiqué dans le cadre d'une lutte phytosanitaire, telle que la lutte contre la Cercosporiose du bananier, est destiné à minimiser le nombre d'applications tout en maintenant un état sanitaire satisfaisant de la culture.

L'analyse en continu d'un certain nombre de descripteurs climatiques et biologiques permet de suivre l'évolution de la maladie zone par zone et ainsi de n'effectuer les traitements qu'à bon escient, c'est-à-dire aux moments les plus propices à une efficacité maximum pour le coût minimum.

L'avertissement pratiqué dans le cadre de la lutte intégrée contre la Cercosporiose du bananier ne pourra être correctement utilisé que si les traitements sont généralisés sur l'ensemble du bassin de production bananière.

La technique d'avertissement est basée sur deux types de descripteurs :

- des descripteurs climatiques, évaporation et température, qui permettent de déterminer une durée d'efficacité des traitements par zone climatique ou géographique ; on parle dans ce cas d'avertissement climatique.
- des descripteurs biologiques, consistant en des contrôles systématiques de l'évolution de la maladie dans les diverses zones écologiques, par observation des divers stades de la maladie sur le feuillage.

La part de chacun de ces deux types de descripteurs variera selon les conditions d'application de la lutte.

Si l'ensemble des zones traitées peut être divisé en zones climatiquement homogènes, pouvant recevoir les traitements dans des conditions identiques, on interviendra, principalement, par l'avertissement climatique.

Si, par contre, les zones traitées sont caractérisées par une multitude de microclimats difficilement contrôlables par des stations climatologiques, et si certaines zones ne peuvent pas être traitées normalement (obstacles divers), il sera nécessaire de donner plus de poids aux observations de la maladie sur le feuillage.

Aux Antilles françaises par exemple, la présence de foyers d'infestation en certaines zones ne permet pas d'utiliser l'avertissement climatique sur l'ensemble de la zone bananière.

L'avertissement climatique.

Principes de base de l'avertissement climatique.

La méthode de prévision utilisée est basée sur l'observation hebdomadaire de deux descripteurs climatiques : l'évaporation PICHE et la température.

a) L'évaporation PICHE est mesurée sous AMPS (abri météorologique Piche simplifié - voir plan en annexe).

Les relevés peuvent être journaliers (évaporimètre simple gradué) ou hebdomadaires (évaporimètre Piche, type ballon).

* - Ce système d'avertissement a été mis au point pour *Mycosphaerella musicola*. Il sera modifié pour *Mycosphaerella fijiensis*.

Ce descripteur a été retenu initialement car intégrant un certain nombre de paramètres qui interviennent au niveau de la couche limite de la feuille (vent, déficit de saturation de l'air, température), donc pouvant refléter assez bien le statut hydrique du parasite à la surface de la feuille.

On a ainsi montré (GANRY, MEYER, 1972) que l'évaporation PICHE mesurée sous AMPS permettait d'expliquer assez bien l'évolution du parasite dans une situation de températures non limitantes.

On a pu établir des classes d'évaporation hebdomadaire correspondant à des conditions plus ou moins favorables à la maladie, en conditions thermiques non limitantes :

Conditions d'action de l'évaporation	Evaporation Piche en mm/semaine
favorables	moins de 22 mm
assez favorables	22 à 30 mm
peu favorables	30 à 40 mm
défavorables	plus de 40 mm

b) La température est mesurée sous un abri météorologique classique normalisé. Elle permet de calculer des sommes de vitesses de développement hebdomadaires - SVDH - (appelées couramment, mais improprement, sommes thermiques). Comme base de calcul de ces SVDH on utilise une loi d'action de la température sur *Mycosphaerella musicola*.

On a montré (GANRY, 1979) qu'il était préférable, en vue des avertissements d'utiliser la loi d'action de la température sur la phase ascosporee, loi définie par BRUN (Thèse, 1963), plutôt que la loi d'action sur la phase conidienne selon CALPOUZOS (1955) (figure 1).

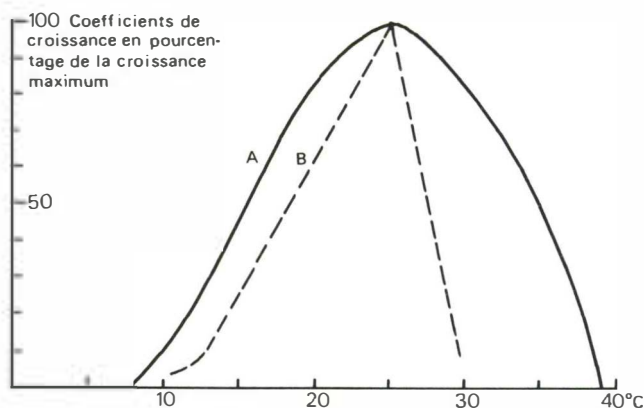


Figure 1 - COURBES D'ACTION DE LA TEMPERATURE SUR LA VITESSE DE CROISSANCE.

A - de *Mycosphaerella musicola* (forme ascosporee), d'après BRUN, (vitesse d'allongement des tubes germinatifs et vitesse de germination sur fragments détachés de feuilles de bananier).

B - de *Cercospora musae* (forme conidienne), d'après CALPOUZOS, (vitesse de croissance des filaments mycéliens en milieu liquide).

Compte tenu de la loi d'action de la température, avec un optimum à 25°C, il n'apparaît pas possible d'utiliser un modèle linéaire, type somme de température. Il est nécessaire d'associer à chaque température instantanée une vitesse de développement pour ensuite calculer une somme de vitesses de développement.

Afin d'éviter un dépouillement fastidieux des thermogrammes, tel que cela était pratiqué initialement (GUYOT, CUILLE, 1958 ; GANRY, MEYER, 1972), on a mis au point une méthode qui permet de calculer plus rapidement les SVD hebdomadaires à partir des températures minimales et maximales journalières, grâce à l'emploi d'abaques ou de programmes informatiques (GANRY, 1979). Pour effectuer ces calculs, il convient de tenir compte de l'époque de l'année (longueur du jour), ce qui nous a amené à considérer trois périodes (périodes HIVER, INTER, ETE).

La figure 2 représente les abaques qui permettent d'obtenir la somme de vitesses de développement journalière, la vitesse instantanée (moyenne horaire) étant exprimée en p. 100 de la vitesse maximum à 25°C.

De la SVD journalière, on passe aisément à la SVD hebdomadaire en effectuant un cumul sur 7 jours.

- Seuils d'action de la température.

On a ainsi pu établir des classes de SVD hebdomadaire correspondant à des conditions de température plus ou moins favorables au développement du parasite.

Conditions d'action de la température	SVDH
favorables	+ de 15.000
assez et peu favorables	14.000 - 15.000
défavorables	- de 14.000

c) Caractérisation d'une situation climatique donnée. Grâce au couple «évaporation-température», il est possible de caractériser toute situation climatique qui peut ainsi être classée en conditions favorables (F), assez favorables (AF), peu favorables (PF) ou défavorables (DF) à la maladie.

C'est ce qu'indique le tableau 1.

Fonctionnement de l'avertissement climatique.

Deux cas de stratégie de lutte doivent être examinés, en fonction de la longueur des cycles de traitement.

a) Stratégie de traitements à cycles courts.

Tel est le cas de traitements avec de l'huile seule, ou avec un fongicide de contact.

Le tableau 1 permet de classer les diverses époques de l'année en périodes plus ou moins favorables à l'évolution de la maladie pendant lesquelles il conviendrait d'accroître ou de réduire le nombre des applications.

L'avertissement consiste donc à définir un rythme des applications plus qu'une durée d'efficacité des traitements.

Ainsi, dans le cas d'application à l'huile seule on utilise la base d'avertissement suivante :

Conditions climatiques	Rythme des traitements
favorables à la maladie	2 semaines
assez favorables à la maladie	3 semaines
peu favorables à la maladie	4 semaines
défavorables à la maladie	pas de traitement

b) Stratégie de traitements à cycles longs.

Tel est le cas de traitements réalisés avec des fongicides systémiques à longue durée d'action, appliqués dans l'huile.

Compte tenu de la durée d'efficacité des traitements (en moyenne de deux mois), il n'apparaît plus possible de baser l'avertissement sur un rythme d'applications par période de l'année (en raison de l'évolution importante des conditions climatiques qui peut avoir lieu entre deux applications).

L'avertissement climatique est ici basé sur une estimation de la durée d'efficacité du traitement à partir de l'évaporation et de la somme de vitesse de développement.

- Prise en compte de l'évaporation.

On calcule chaque semaine «la moyenne pondérée de l'évaporation hebdomadaire» (Ep) depuis le dernier traitement, selon le mode théorique suivant :

N° semaine après traitement	Evaporation de la semaine	Evaporation pondérée
1	E ₁	Ep ₁ = E ₁
2	E ₂	Ep ₂ = $\frac{E_1 + E_2}{2}$
3	E ₃	Ep ₃ = $\frac{E_3 + Ep_2}{2}$
4	E ₄	Ep ₄ = $\frac{E_4 + Ep_3}{2}$
...
n	E _n	Ep _n = $\frac{E_n + Ep_{(n-1)}}{2}$

TABLEAU 1 - Caractérisation d'une situation climatique à partir de l'évaporation Piche et de la température sous abri, permettant de distinguer des conditions plus ou moins favorables à l'évolution du Cercospora.

	S.V.D.H.		
	- de 15.000	14.000 - 15.000	+ de 15.000
- de 22	DF	AF-PF	F
22 - 30	DF	AF-PF	AF
30 - 40	DF	PF	PF
+ de 40	DF	DF	DF

F : conditions favorables ; AF : conditions assez favorables ; PF : conditions peu favorables ; DF : conditions défavorables.

Remarque.

Pratiquement on ne tient pas compte de la date du traitement dans le calcul de Ep, ce qui en facilite l'exploitation : au lieu d'écrire Ep₁ = E₁ pour la semaine n° 1 après le traitement, on écrit $Ep_1 = \frac{E_1 + Ep_0}{2}$

avec Ep₀ = évaporation pondérée de la semaine du traitement. L'écart aux valeurs normales devient très rapidement négligeable en raison du poids important donné à l'évaporation de la semaine en cours.

Tel est le cas, 4 ou 5 semaines après traitement, moment à partir duquel on peut envisager une prévision.

A partir de Ep on détermine la durée d'efficacité «d» du traitement en utilisant une relation qui a été établie entre Ep et «d» aux Antilles dans des conditions normales d'application (GANRY, MEYER, 1973).

$$d_i = 0,5 Ep_i$$

La durée d_i obtenue pour une semaine «i» est la durée d'efficacité qu'aurait le traitement si les conditions climatiques à venir restaient identiques aux conditions passées (Ep_{i+1} = Ep_i).

Tel n'est en général pas le cas. Aussi chaque semaine on redétermine une durée d, permettant ainsi, par approches successives, de prévoir un traitement quelques semaines à l'avance.

- Prise en compte de la température.

Parallèlement au calcul de d_i à partir de Ep_i, on calcule la somme de vitesses de développement hebdomadaire SVDH.

Si SVDH est inférieure à 14.000, on prolonge la durée du cycle de traitement d'autant de semaines à SVDH < 14.000, dans le cas où l'évaporation de la semaine n'est pas limitante (E < 30 mm). Dans le cas d'évaporation limitante (E > 30 mm), on ne tient pas compte de la température.

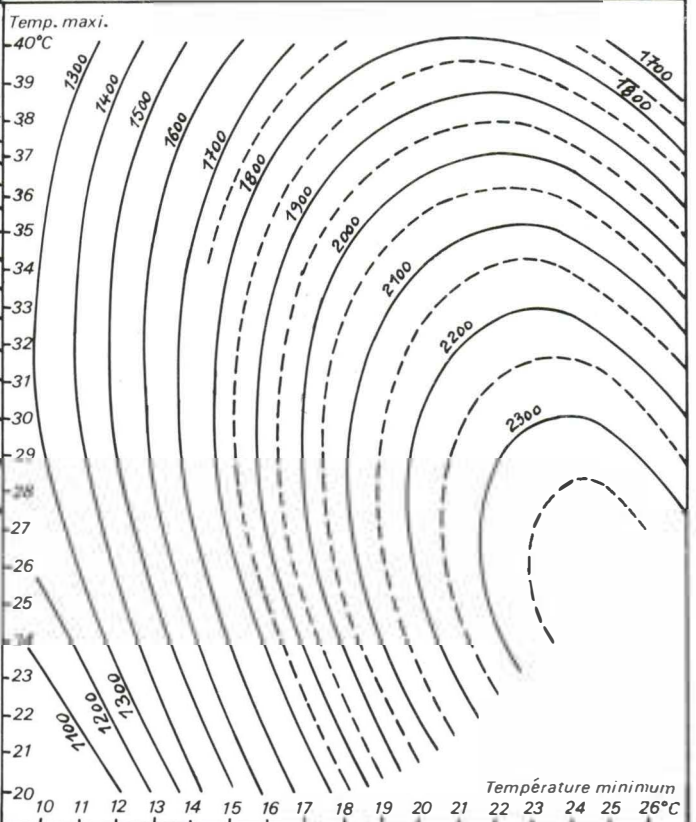
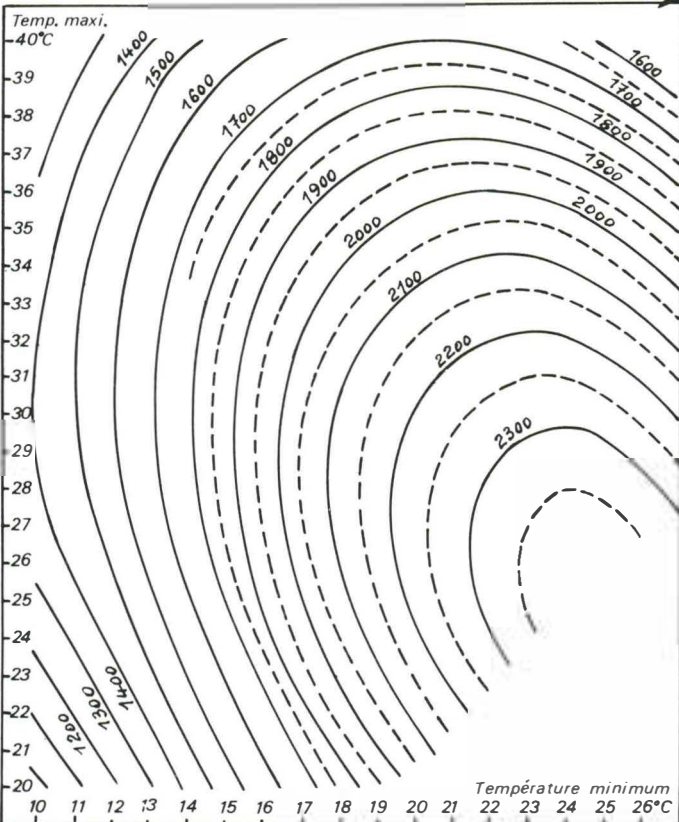
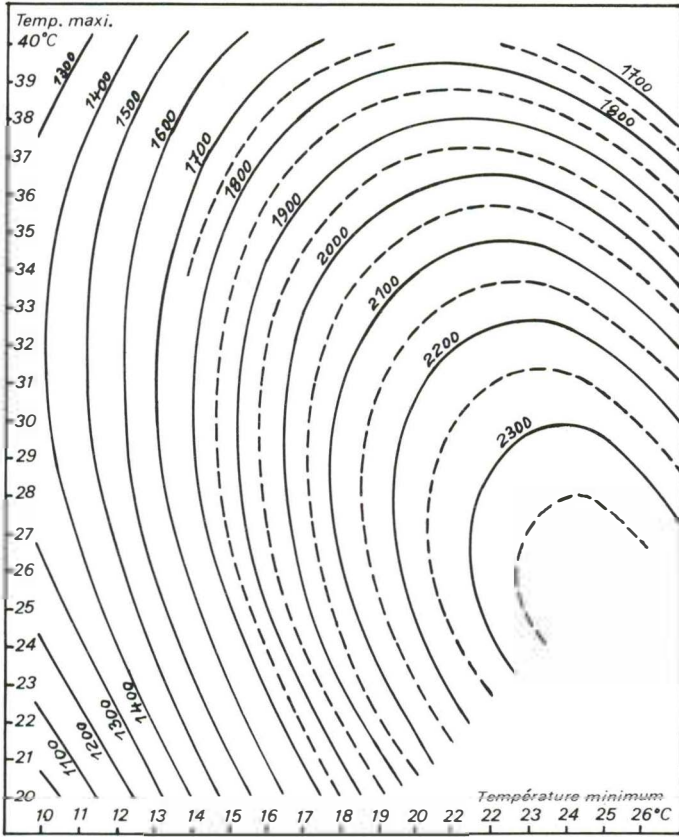
Figure 2 a-b-c

ABAQUES DONNANT LA VITESSE JOURNALIERE DE CROISSANCE DE MYCOSPHAERELLA MUSICOLA (PHASE ASCOSPOREE) (COEFFICIENTS DE BRUN, EXPRIMES EN P. CENT DE LA VITESSE MAXIMUM) A PARTIR DU MAXIMUM ET DU MINIMUM JOURNALIERS DE TEMPERATURE MESURES SOUS ABRI METEOROLOGIQUE, POUR LES MOIS DE :

Fig. 2a • INTER OU ANNEE
mars - avril - septembre - octobre

Fig. 2b • ETE
mai - juin - juillet - août

Fig. 2c • HIVER
novembre - décembre - janvier - février



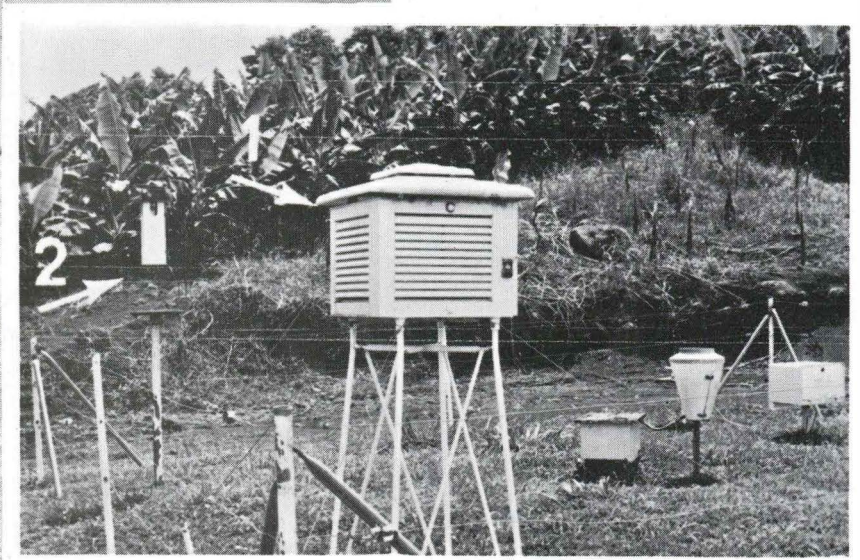
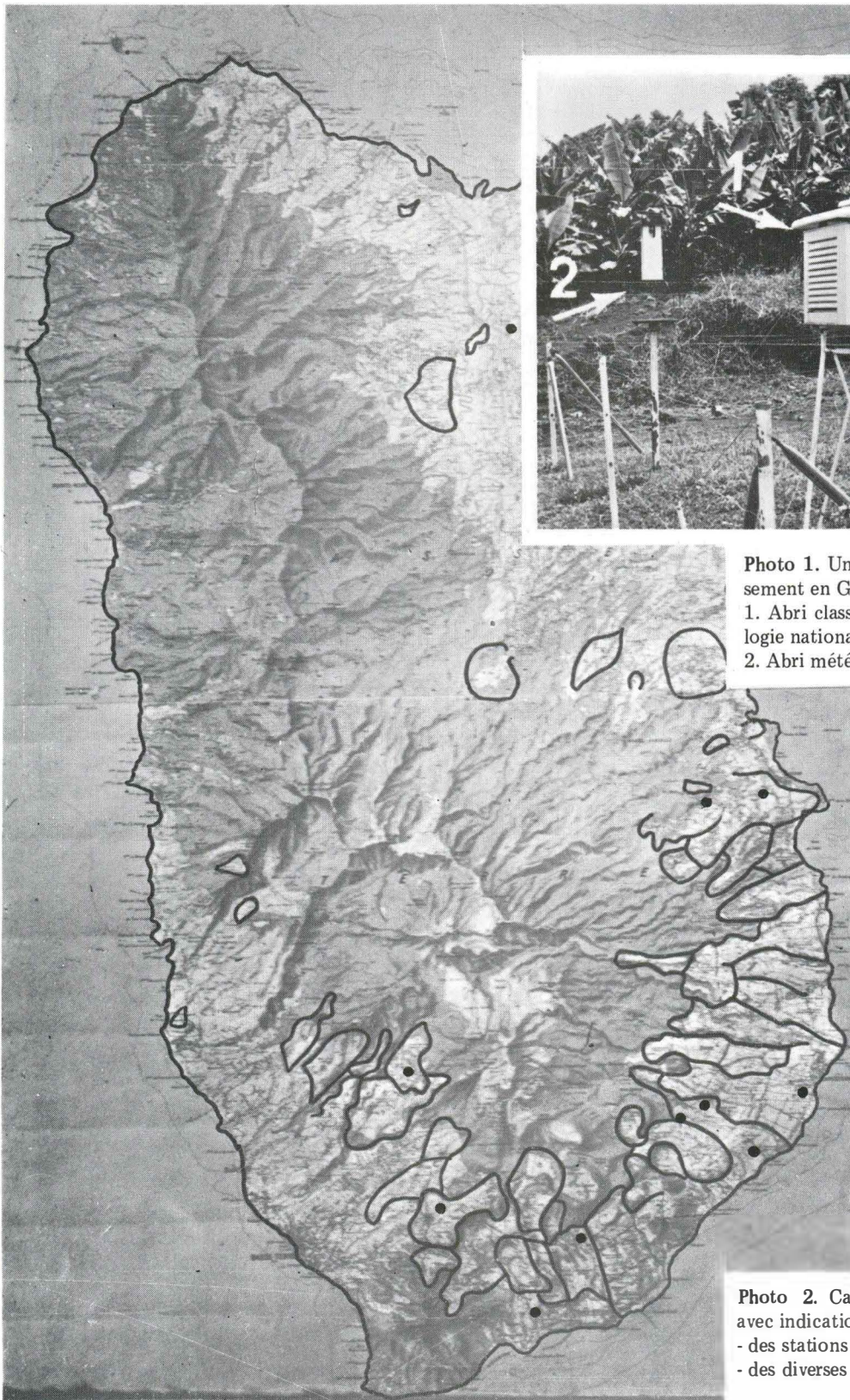


Photo 1. Un parc agrométéorologique du réseau d'avertissement en Guadeloupe.

1. Abri classique en plastique (petit modèle de la Météorologie nationale).
2. Abri météorologique Piche simplifié (AMPS).

Photo 2. Carte des zones bananières de la Guadeloupe avec indication :

- des stations agrométéorologiques (points noirs) ;
- des diverses microzones.

TABLEAU 2 - Exemple pratique d'application.

Zone A : conditions thermiques non limitantes : SVDH > 14.000												
Zone B : conditions thermiques limitantes durant deux semaines (5 et 6)												
Semaines après traitement				E	Ep	d						
				mm	mm	sem.						
1				18,5	18,5	9					SVDH > 14.000	
2				20,2	19,4	10						
3				15,7	17,5	9						
4				16,4	17,0	9						
			situation stationnaire			aggravation			amélioration			
			I			II			III			
			E	Ep	d	E	Ep	d	E	Ep	d	
			mm	mm	sem.	mm	mm	sem.	mm	mm	sem.	
5	18,2	17,6	9	11,5	14,2	7	25,8	21,4	11	} SVDH < 14.000		
6	17,2	17,4	9	12,2	13,2	7	24,3	22,8	11	}		
7	17,7	17,5	9	13,7	13,5	7*	26,0	24,4	12	}		
8	16,8	17,1	9				23,7	24,0	12	}		
9	18,0	17,6	9*			**	24,8	24,4	12	} SVDH > 14.000		
10							25,2	24,8	12	}		
11			**				23,0	23,9	12	}		
12							23,8	23,8	12*	}		
13										}		
14										**	}	

* - Réalisation des traitements en conditions thermiques non limitantes. (Zone A).

** - Réalisation du traitement en conditions thermiques limitantes pendant les semaines 5 et 6. (Zone B).

Exemple pratique d'application (tableau 2).

(1) soit une zone écologique A dans laquelle les températures ne sont pas limitantes pour la Cercosporiose (SVDH > 14.000).

Dans le tableau 2, on porte chaque semaine l'évaporation hebdomadaire E (mm), sa moyenne pondérée Ep (mm) et, en regard la durée probable du cycle «d» (d = 0,5 Ep).

Quatre semaines après traitement, on peut prévoir une durée probable du cycle de traitement de 9 semaines.

On peut donc dès à présent envisager un traitement probable pour la neuvième semaine.

Cas n° 1 : les conditions climatiques varient peu ; au cours des semaines suivantes on confirme le traitement à réaliser la neuvième semaine.

Cas n° 2 : dès la cinquième semaine on note une aggravation des conditions climatiques (E = 11,5 mm). On devra réduire la durée du cycle à 7 semaines. Le traitement qui était prévu la neuvième semaine devra être avancé de 2 semaines.

Cas n° 3 : dès la cinquième semaine, on assiste à une amélioration des conditions climatiques. La moyenne pondérée atteint la valeur de 21,4 mm ce qui correspond à un cycle probable de onze semaines. On peut donc ajourner le traitement prévu et en fixer l'exécution probable au cours de la onzième semaine.

L'amélioration se poursuivant on pourra prévoir le traitement pour la douzième semaine.

Les cas «situation stationnaire», «aggravation», «amélioration», peuvent se combiner dans leur succession.

On devra modifier tout programme probable de traitement au regard des variations hebdomadaires.

(2) soit une zone écologique B, identique à A en évaporation, mais dont les températures sont limitantes (SVDH < 14.000) au cours des semaines 5 et 6. Dans les trois cas envisagés, on prolongera le cycle de traitement de 2 semaines, (en aucun cas l'évaporation n'est limitante).

Remarque importante. En pratique, si l'expérience montre que les températures ne sont jamais, ou presque jamais, limitantes au cours d'une année, on pourra tout simplement se passer de mesures de températures et n'effectuer l'avertissement qu'à partir des données d'évaporation du Piche.

Méthode d'observation du Cercospora à appliquer dans le cadre de l'avertissement.

La méthode d'observation de la maladie à utiliser dans le cadre de l'avertissement doit répondre à trois objectifs.

1. permettre d'affiner l'avertissement climatique et de l'adapter à de nouvelles zones. Il est donc nécessaire de disposer

d'une méthode suffisamment fiable pour quantifier les réactions instantanées de la maladie aux variations climatiques.

2. permettre un contrôle de l'avertissement climatique zone par zone afin de vérifier son application compte tenu de variations conjoncturelles (apparition d'un foyer d'infestation, traitement trop tardif, ou mal exécuté, etc.).
3. permettre d'établir un planning des traitements là où l'avertissement climatique n'est pas utilisable pour des raisons structurelles (points chauds).

Pour répondre à ces trois objectifs on doit disposer d'une méthode à la fois simple et fiable.

A cette fin on utilise la méthode dite de «l'état d'évolution» (GANRY et MEYER, 1972) qui est une expression de la vitesse d'évolution de la maladie (elle-même fonction des conditions climatiques et du potentiel infestant).

Elle est adaptée à l'avertissement, car elle permet de déceler le plus tôt possible les risques d'attaques et elle donne une information qui peut être reliée directement aux conditions climatiques

On abandonne donc la méthode dite du «niveau d'infestation» qui avait pour but de donner une information quantitative sur l'état de gravité de la maladie. Cette dernière information est secondaire pour l'avertissement.

L'utilisation de la seule méthode de l'état d'évolution permet de simplifier le système au niveau de l'observation et du calcul.

Technique d'observation.

Au niveau de la parcelle, on choisit dix à trente bananiers représentatifs de l'ensemble par leur âge et leur vigueur apparente. Sur chaque bananier, on effectue d'une part une observation qualitative de la maladie sur les cinq premières

feuilles comptées à partir du cigare (et notées FI à FV) et d'autre part des observations concernant le stade cigare et le rythme d'émission des feuilles.

● Observation du Cercospora au niveau de la feuille.

Cette observation est purement qualitative et consiste à repérer sur le tiers apical de la feuille, le stade le plus évolué de la maladie. On utilise les cinq stades d'évolution de la maladie définis par BRUN (1) (*Mycosphaerella musicola*) :

Stade 1 : petit point ou tiret vert clair (ou jaunâtre) mesurant au maximum 1 mm de longueur.

Stade 2 : tiret vert clair ou jaunâtre de plusieurs millimètres de longueur.

Stade 3 : jeune tache de forme ovale allongée, de coloration brun-rouille assez uniforme, à contours assez mal définis se fondant progressivement avec la coloration normale du limbe. Il n'y a ni marge nette, ni halo.

Stade 4 : tache aux dimensions définitives avec un centre brun foncé, se déprimant progressivement. Souvent présence d'un halo jaune brillant.

Stade 5 : tache correspondant au stade final de la lésion, et présentant, en son centre, des tissus desséchés d'une couleur grise blanchâtre uniforme. Chaque tache est délimitée par une marge noire bien marquée.

Sur le tableau d'observation, les stades déjà inscrits à la ligne 2 en regard du numéro de chaque feuille, sont repérés par une croix au niveau de chaque bananier.

● Observations de la plante : stade cigare - rythme d'émission de feuilles.

A chaque observation (une fois par semaine) on repère :

- le numéro de la dernière feuille déroulée (FI)
- le stade du cigare.

On a arbitrairement distingué 5 stades du cigare repérés de

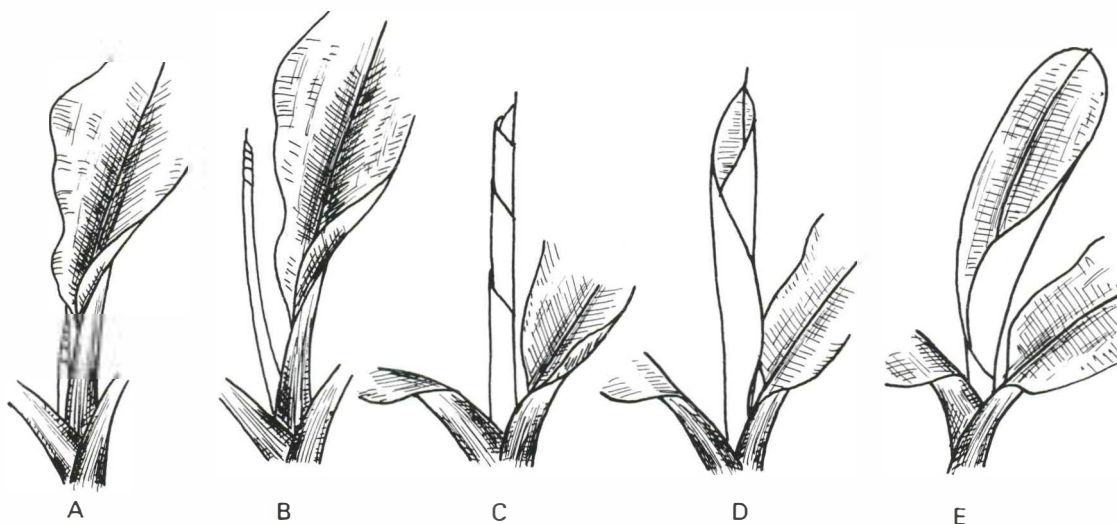


Figure 3 • STADES DE DEROULEMENT DU CIGARE : A-B-C-D-E.

0 à 4, correspondant aux stades déjà définis par BRUN (1963) (figure 3).

Stade A	0,0
Stade B	0,2
Stade C	0,4
Stade D	0,6
Stade E	0,8

Sur la fiche d'observation (établie pour 10 bananiers) on note le stade végétatif au moment de l'observation (colonne 3) et celui de la semaine précédente (colonne 2).

Techniques de calcul.

● Somme brute (SB).

Le couple «numéro de feuille - stade Cercospora» se traduit par un coefficient de base arbitraire qui caractérise la vitesse d'évolution de la maladie et déterminé selon la grille suivante :

N° feuille Stade Cercospora	I	II	III	IV	V
1	100	80	60	40	20
2		100	80	60	40
3		120	100	80	60
4			120	100	80
5				120	100

Dans chaque colonne «stade» on compte le nombre de bananiers ayant ce stade comme stade le plus évolué pour la feuille considérée (nombre de croix) ; on multiplie le chiffre obtenu (ligne C) par le coefficient de base figurant juste en dessous sur la ligne D et on note le résultat obtenu sur la ligne E.

On fait la somme de tous les chiffres obtenus sur la ligne E, soit SB (somme brute).

Exemple numérique (voir tableau 3).

en feuille I	aucune feuille n'a de tache ; note :	0
en feuille II	1 feuille a du stade 1	80 x 1 = 80
	9 feuilles n'ont aucune tache	0
en feuille III	2 feuilles ont du stade 3	100 x 2 = 200
	3 feuilles ont du stade 2	80 x 3 = 240
	4 feuilles ont du stade 1	60 x 4 = 240
	1 feuille n'a aucune tache	0
en feuille IV	3 feuilles ont du stade 4	100 x 3 = 300
	5 feuilles ont du stade 3	80 x 5 = 400
	2 feuilles ont du stade 2	60 x 2 = 120
en feuille V	5 feuilles ont du stade 5	100 x 5 = 500
	4 feuilles ont du stade 4	80 x 4 = 320
	1 feuille a du stade 3	60 x 1 = 60
	Somme brute (SB)	2400

● Correction par le stade cigare - Somme corrigée.

Cette correction a pour but d'atténuer les variations brutales de cotation consécutives au passage d'une feuille à une autre. Dans la méthode de l'état d'évolution, le passage d'une feuille à l'autre se traduit par une différence de cotation de 20 (voir grille).

Le passage d'un stade cigare à un autre est donc caractérisé par une différence de 20/5 (5 stades cigare) = 4.

Pour ramener toute cotation au stade A, on retranche par feuille à note non nulle les quantités.

4 pour le stade B noté	(0,2)
8 pour le stade C noté	(0,4)
12 pour le stade D noté	(0,6)
16 pour le stade E noté	(0,8)

Pratiquement, on multiplie, par bananier, la partie décimale du coefficient «stade cigare» de la colonne 3, par le nombre de feuilles à note non nulle, et on porte le résultat dans la colonne 5 (CE).

Le total des valeurs de la colonne 5 multiplié par 2 donne le terme correctif pour l'état d'évolution soit CE - La somme corrigée SEV est donc (SB - CE).

Exemple numérique :

Bananier	Cigare au stade	Partie décimale du coefficient stade cigare x nombre de feuilles à numérique non nul	Correction stade cigare (col. 5)
A2	A	0 x 3 =	0
A3	C	4 x 3 =	12
A4	A	0 x 3 =	0
B3	C	4 x 3 =	12
B1	D	6 x 3 =	18
B5	B	2 x 2 =	4
C2	E	8 x 4 =	32
D3	C	4 x 3 =	12
D7	A	0 x 3 =	0
D6	B	2 x 3 =	6

Correction par stade cigare (CE) = 96 x 2 = 192.

La somme corrigée par le stade cigare (S.EV) est donc de : 2400 - 192 = 2208.

TABLEAU 3 - Exemple de fiche d'observation et de calcul de l'Etat d'évolution de la Cercosporiose du bananier (cas de 10 bananiers).

1 Ban.	2		3		4		5		F I				F II				F III				F IV					F V					A B
	F d	F à	R E	F	CE	1	2	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5							
	C	C	F	F																											
A2	14	15	0,8	0								x					x							x							
A3	13	14	0,8	12							x						x							x							
A4	14	15	1,0	0							x					x									x						
B1	13	14	0,8	12													x								x						
B5	15	16	0,8	18													x								x						
C2	15	16	1,0	4													x								x						
D3	14	14	0,8	32			x					x											x		x						
D7	15	16	1,0	12								x												x	x						
D8	14	15	0,8	0								x											x		x						
D9	13	14	0,6	6								x											x		x						
S.REF			8,4				1			4	3	2			2	5	3						1	4	5	C					
N			7		100	120	80	100	120	60	80	100	120	40	60	80	100	120	20	40	60	80	100				D				
REF _i			1,2		80				240	240	200			120	400	300							60	320	500		E				
CE				192																								F			
SB				2400																								G			
S. EV.				2208	$\frac{\overline{\text{REF}} + \text{REF}_i}{2} = \frac{1,3 + 1,2}{2} = 1,25$																							Etat d'évolution [EE = 2760]	H		

Remarque. On pourra éventuellement, dans un souci de simplification, supprimer la correction stade cigare dans la mesure où un grand nombre de bananiers est observé (au moins 30).

- Correction par le rythme d'émission de feuilles. Etat d'évolution.

L'état d'évolution devant être l'expression d'une vitesse, le couple «stade Cercospora - numéro de feuille» ne pourra être ramené à un temps que par le biais du rythme d'émission de feuilles

Le rythme d'émission de feuilles REF (colonne 4) s'obtient en effectuant la différence des termes des colonnes 3 et 2.

REF_i est le rythme d'émission moyen ramené à 10 jours

$$REF_i = \frac{S.REF}{nb} \times \frac{10}{N}$$

avec :

S.REF : somme des REF par bananier

N : nombre de jours entre deux observations

nb : nombre de bananiers observés

Cette valeur est moyennée avec la moyenne pondérée de la semaine précédente :

- Exemple numérique

$$REF_i = 1,2 ; \overline{REF}_{i-1} = 1,3$$

$$\text{d'où } \overline{REF}_i = \frac{1,3 + 1,2}{2} = 1,25$$

La valeur finale de l'«état d'évolution» (EE) est obtenue en multipliant S.EV par \overline{REF}_i .

Soit pour l'exemple numérique : $E = 2208 \times 1,25 = 2760$.

Remarque : Le tableau 2 présenté en exemple a été établi pour 10 bananiers. On pourra l'adopter pour l'observation d'un plus grand nombre de bananiers.

Une simple règle de trois permettra de ramener le résultat à l'équivalent «10 bananiers».

Utilisation pratique de la méthode de l'état d'évolution en vue de l'avertissement (mise au point ou contrôle).

L'expérience a montré, aux Antilles, qu'un traitement doit être déclenché lorsque «l'état d'évolution» atteint le seuil 1.500. En aucun cas il ne devrait dépasser le niveau 2.500, le traitement devenant alors inefficace. Si l'on veut garder une certaine marge de sécurité compte tenu du délai nécessaire pour la réalisation du traitement, on peut abaisser ce seuil à 1.000-1.200. Mais ces seuils ne correspondront toujours qu'à des repères assez arbitraires et, plutôt que de se baser sur des niveaux quand à l'évolution de la maladie, il est préférable de s'en référer à l'allure de la courbe de l'état d'évolution au cours du temps. Dès que l'on note une tendance à la remontée, il est conseillé de prévoir le traitement, quitte à l'ajourner compte tenu des observations de la semaine suivante.

Un exemple pratique : l'utilisation de la technique d'avertissement dans la lutte contre la Cercosporiose du bananier en Guadeloupe.

Depuis 1972, l'ensemble de la zone bananière est traitée par avion avec un fongicide systémique du groupe des benzimidazoles (Bénomyl employé à 125 g m.a./ha) mélangé à de l'huile à raison de 15 à 18 litres par hectare.

Les traitements sont effectués sur avertissement.

• Avertissement climatique

La zone bananière (environ 7000 hectares) est divisée en 70 microzones. Chacune de ces microzones est rattachée à une des stations agrométéorologiques du réseau, la relation entre station de base et microzone étant affectée d'un coefficient pondérateur qui permet de tenir compte :

- du gradient climatique «a»,
- du gradient «épidémiologique» b (figure 4).

- Détermination d'une durée d'efficacité «climatique».

Pour chaque station agrométéorologique, l'analyse des descripteurs climatiques (évaporation et température) permet pour une semaine n de déterminer une durée d'efficacité dn_0 qui pourrait être appliquée à chaque microzone en l'absence de gradient.

- Gradient climatique a

Les durées d'efficacité pour chaque microzone «i» rattachée à cette station de base sont :

$$dn_i = a_i \times dn_0$$

a_i étant un coefficient pondérateur déterminé grâce à l'observation et qui tient compte du gradient climatique.

- Gradient épidémiologique b

Dans les zones perturbées par un foyer d'infestation ou par une topographie trop mouvementée, il convient d'avoir recours à des observations directes de la maladie.

Cependant, dans de nombreux cas, on arrive après plusieurs années d'observation, à affecter à la microzone concernée un coefficient pondérateur b_i qui tient compte des facteurs perturbateurs d'ordre essentiellement épidémiologique (inoculum plus important).

Dans ce cas le passage de la station de base à la microzone se fait comme suit :

$$dh_i = a_i \times b_i \times dn_0$$

• Observations de la maladie.

Des observations systématiques de la maladie (méthode de l'état d'évolution) sont réalisées chaque semaine dans certaines zones test (18 en tout) afin de contrôler en permanence l'avertissement climatique.

Des contrôles périodiques moins poussés sont effectués dans les zones réputées «sensibles» afin d'éviter tout redémarrage anormal de la maladie lié à une mauvaise application du produit (mauvaises conditions météorologiques lors de l'application ; mauvais passage de l'avion ; application gênée par des obstacles divers ...).

Ces contrôles sont indispensables si l'on veut maintenir le niveau d'inoculum suffisamment bas, ce qui est une condition primordiale de succès de la stratégie de lutte basée sur avertissement.

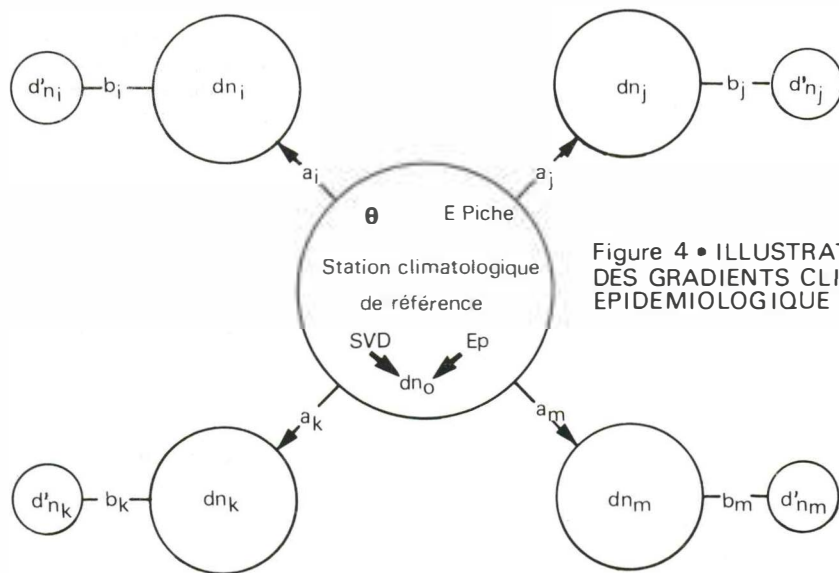


Figure 4 • ILLUSTRATION SCHEMATIQUE DES GRADIENTS CLIMATIQUE "a" ET EPIDEMIOLOGIQUE "b".

Commentaire de la figure 4.

soit 4 microzones i, j, k, m, rattachées à une même station agrométéorologique. A partir de la station de base, on détermine une durée d'efficacité dn_0 à partir de la température (θ) et de l'évaporation Piche (E Piche). Pour chaque microzone les durées d'efficacité des traitements seront égales à dn_i, dn_j, dn_k, dn_m (avec $dn_i = a_i \times dn_0$) s'il

n'y a qu'un gradient climatique (a_i, a_j, a_k, a_m) elles seront égales à $d'ni, d'nj, d'nk, d'n_m$ s'il existe en plus un gradient épidémiologique (b_i, b_j, b_k, b_m) avec $d'ni = a_i \times b_i \times dn_0$
 $d'nj = a_j \times b_j \times dn_0$
 $d'nk = a_k \times b_k \times dn_0$
 $d'n_m = a_m \times b_m \times dn_0$

● Résultats obtenus et perspectives.

Grâce à une telle stratégie d'avertissement, permettant de réaliser les traitements à bon escient, il a été possible d'atteindre un nombre moyen de traitements de l'ordre de 6 par an (tableau 4), étant entendu que ce nombre varie en fonction de la zone considérée (2 à 3 en zone basse ; 10 à 12 en zone d'altitude) (exemple pris en Guadeloupe).

On estime que l'avertissement seul a permis de réaliser une économie moyenne de 4 à 6 traitements par an, par rapport à une stratégie basée sur la sécurité (traitements systématiques).

Il apparaît possible de rendre cette stratégie encore plus performante grâce à un certain nombre de mesures incitatives auprès des planteurs, afin de limiter le nombre de foyers d'infestation et d'abaisser du même coup le niveau moyen

d'inoculum. Ces mesures incitatives peuvent être de plusieurs types :

- disparition des bananeraies abandonnées,
- traitement des bananiers isolés,
- meilleur zonage cultural,
- suppression des obstacles (arbres, ...).

L'urgence de telles mesures se fait de plus en plus pressante devant l'émergence de nouveaux problèmes tels que :

- l'apparition de races pathogènes résistantes aux benzimidazoles,
- la menace du Cercospora noir,
- l'augmentation du coût des traitements, parallèle à l'augmentation du prix des produits pétroliers.

TABLEAU 4 - Evolution du nombre moyen de traitement par année, de 1970 à 1981, en Guadeloupe.

Année	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
nombre moyen de traitements	18,4	15,2	8,5	6,1	6,8	6,1	5,8	6,1	6,4	6,6	5,8	7,9
	huile seule	huile seule et huile + fongicide systémique		huile + fongicide systémique								
												↑ apparition des races pathogènes résistantes aux benzimidazoles

La conjugaison de toutes ces composantes positives (avertissement, mesures incitatives, nouveaux fongicides, ...) au sein d'une même stratégie de lutte, devrait permettre de maintenir le coût de la lutte dans des limites économiquement raisonnables.

Conclusion.

Dans le contexte actuel, qu'il soit économique, avec l'augmentation rapide du coût des consommables, ou qu'il soit épidémiologique, avec l'apparition un peu partout de races résistantes aux benzimidazoles et du *Cercospora* noir, l'intégration d'une technique d'avertissement dans la stratégie de la lutte revêt un intérêt primordial.

Une gestion rationnelle du complexe «climat - parasite» permet de parvenir à une réduction du nombre d'applications phytosanitaires tout en maintenant un contrôle satisfaisant de la maladie, ce qui se traduit par une réduction des coûts et des nuisances, tout en contribuant à une économie substantielle d'énergie (huile, fongicides, heures d'avion).

En outre, il est probable que l'adoption d'une telle stratégie, combinée à l'emploi de formulations fongicides adéquates (huile + fongicides systémiques) puisse expliquer pourquoi l'apparition des races de champignons résistantes aux benzimidazoles ne se soit manifestée qu'environ 10 ans après les premières applications de ces produits, alors que dans d'autres zones, utilisant une stratégie différente, les races résistantes sont apparues dès les deuxième ou troisième années.

Fort de cette expérience positive, il convient de mettre en oeuvre tous les moyens nécessaires à un fonctionnement encore meilleur de l'avertissement, face à l'émergence de nouveaux problèmes et de nouvelles contraintes (races résistantes aux benzimidazoles - *Cercospora* noir - augmentation du coût des traitements).

. Des études sur la biologie des parasites doivent être poursuivies, sur le *Cercospora* noir en particulier, afin de fournir rapidement les bases scientifiques de systèmes d'avertissement adaptés à ces nouvelles formes du parasite ... et aux nouvelles formulations fongicides.

. Des systèmes d'avertissement doivent être testés dans les diverses zones de production bananière afin d'intégrer au mieux les variations d'ordre épidémiologique.

Les méthodes d'observation de la maladie doivent jouer un rôle prépondérant dans cette phase de mise au point, comme moyen de parvenir à l'avertissement climatique.

Ensuite elles ne devraient plus représenter qu'un moyen de contrôle permanent de l'avertissement climatique, sur lequel on doit faire porter tout l'effort. Cependant elles resteront le seul outil valable dans les zones où l'avertissement climatique ne peut être utilisé, en raison du niveau élevé d'inoculum.

. L'adaptation des méthodes d'avertissement doit aboutir à la planification des traitements qui devraient ainsi pouvoir être exécutés à bon escient, c'est-à-dire au moment où toutes les conditions sont réunies pour la reprise des attaques.

Seul l'avertissement climatique permet d'intervenir avant l'apparition des premiers symptômes sur les feuilles et donc d'espérer une efficacité maximum.

Encore faut-il que l'application phytosanitaire puisse être réalisée dès que l'avertissement en a révélé la nécessité. C'est ici qu'entrent en jeu toutes les contraintes d'exécution, quelquefois d'ordre technique ou météorologique, mais trop souvent d'ordre humain.

Dans toute stratégie de lutte, il est capital de prendre en compte cette dimension humaine sans laquelle toute technique, aussi sophistiquée soit-elle, restera inopérante.

Ce n'est que grâce à la collaboration de toute la profession bananière (agriculteurs, techniciens ...) qu'il sera possible d'intégrer dans la stratégie de lutte tout l'arsenal de mesures indispensables à un bon fonctionnement de l'avertissement en vue d'un maximum d'efficacité et de rentabilité.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En une vingtaine d'années, les traitements des Cercosporioses du bananier ont suivi une quadruple évolution touchant leurs différents composants.

Les études sur la biologie des pathogènes et sur celle du bananier ont permis de passer de traitements systématiques à des traitements sur avertissement, diminuant de près de 5 fois le nombre de traitements annuels nécessaires.

L'utilisation de l'huile minérale et celle des engins de dispersion à très bas volume a considérablement réduit, de près de 200 fois, les volumes de formulation épandus par hectare et a permis de s'affranchir des traitements au sol, et par conséquent, de traiter dans un minimum de temps des surfaces importantes.

Enfin, la dernière et quatrième évolution a été réalisée par le passage des fongicides de contact aux fongicides systémiques permettant une excellente répartition dans les feuilles traitées et assurant une bonne protection aux première, deuxième et troisième feuilles émises après le traitement.

Ces modifications ne se sont pas faites isolément et le succès des systèmes d'avertissement doit évidemment beaucoup à la possibilité d'utiliser des fongicides systémiques. De même, l'huile minérale a été l'élément essentiel nouveau pour l'utilisation de toutes les qualités des appareils de dispersion à bas volume, du type micronair par exemple.

Dans quel domaine peut-on raisonnablement prévoir des progrès dans les années à venir ?

Dans l'étude du pathogène, on ne peut pas s'attendre à des progrès décisifs dans un avenir proche, d'autant que l'évolution constante des caractéristiques des populations vient périodiquement remettre en cause les connaissances acquises.

Dans le domaine des fongicides en revanche, on peut espérer pouvoir disposer de molécules nouvelles soit du type de celles utilisées actuellement, soit du type de ce qu'on peut appeler la troisième génération de fongicides. Ce type de produit, dont il n'existe actuellement que deux exemples (*)

* - Phosethyl A1 : actif dans le cas de maladies à *Phytophthora* et genres voisins.

- molécule nouvelle essayée sur la *Pyriculariose* du riz.

possède un mode d'action totalement différent. Ces molécules, sans action toxique directe sur le pathogène, induisent dans la plante traitée où elles ont pénétré des réactions de défense qui permettent à une plante de variété sensible de se comporter pendant un temps donné comme une variété résistante.

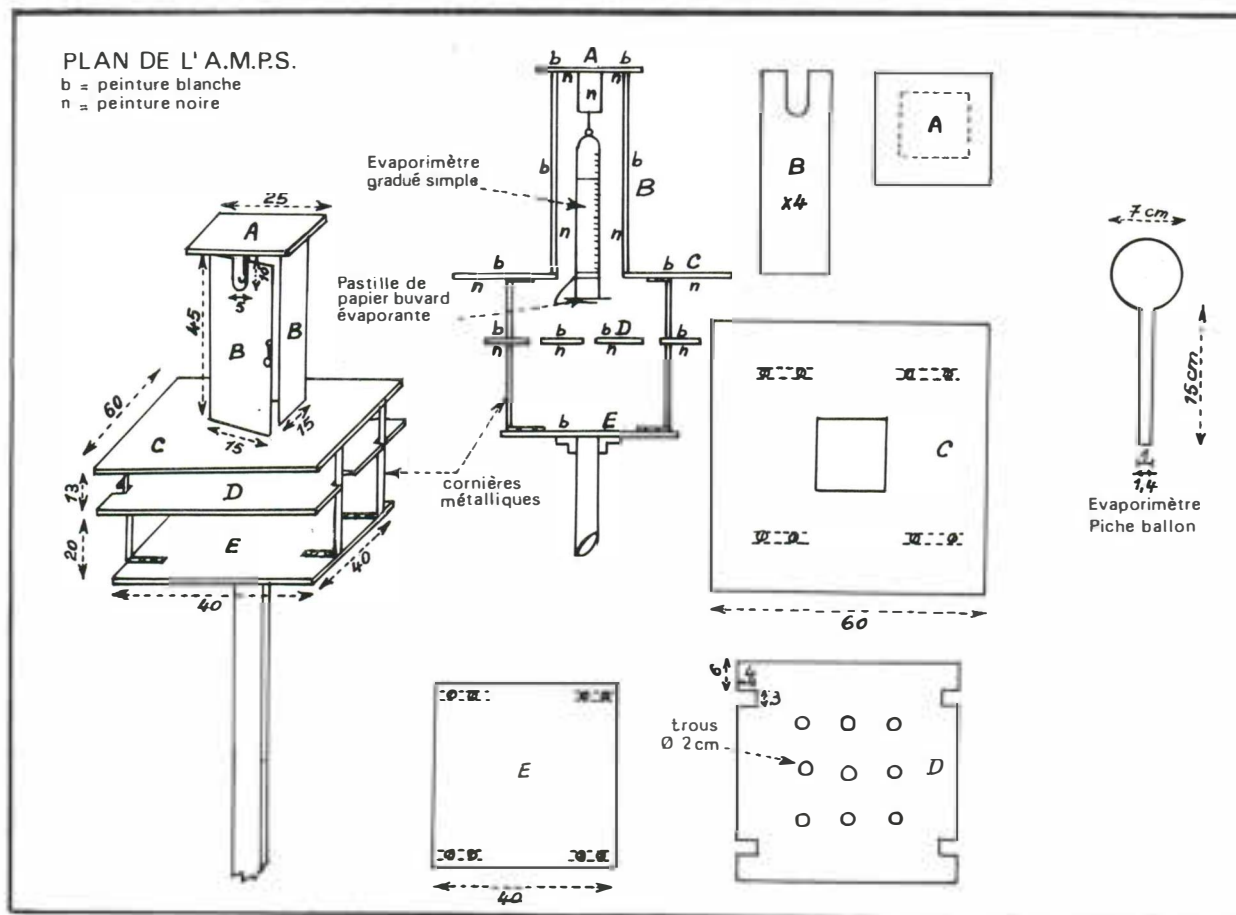
C'est une technique élégante de lutte chimique.

Pour les appareils de traitement, il est tout à fait légitime de prévoir des améliorations notables, et des études adaptées plus spécialement aux cultures bananières devraient permettre de progresser encore, aussi bien au niveau des volumes épanchés que de la qualité de l'épandage.

Rappel des principales molécules fongicides.

Dithiocarbamates		Triadimenol	Baytan
Manèbe	Dithane M 22 Polyram M	Propiconazole	Tilt
Zinèbe	Sepineb 80	Bitertanol	Baycor
Mancozèbe	Dithane LF	Imidazoles	
Benzimidazoles		Imazalil	Fungaflor 500 B
Carbendazime	Derosal - Bavistine - Rhoduil	Pyrimidines	
Bénomyl	Benlate	Nuarimol	Trimidal
Thiabendazole	Tecto B - Mertect F	Morpholines	
Méthylthiophanate	Peltis 40	Tridemorphe	Calixine
Tritylazoles		Autres	
Triadimefon	Bayleton	Chlorothalonil	Daconil (Bravo)

Annexe.



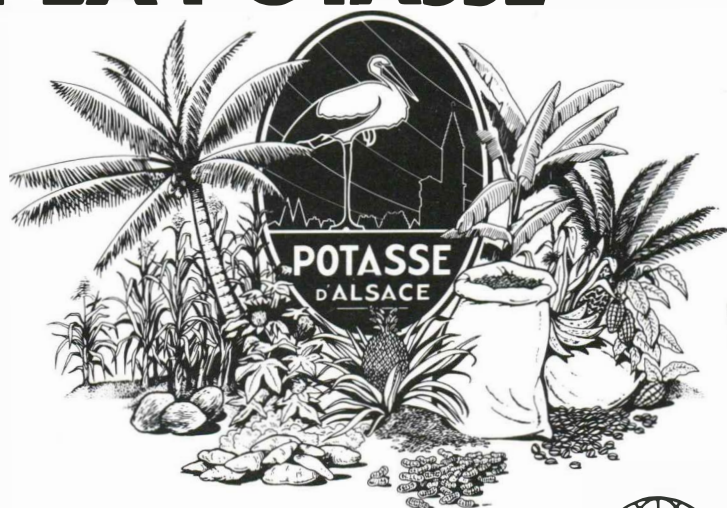
BIBLIOGRAPHIE

1. BRUN (J.). 1963.
La Cercosporiose du bananier.
Thèse Doctorat d'Etat, Université de Paris.
2. CALPOUZOS (L.). 1955.
Studies on the Sigatoka disease of bananas and its fungus pathogen.
Cienfuegos, Cuba.
3. GANRY (J.) et MEYER (J.P.). 1972. 1973.
La lutte contrôlée contre le *Cercospora* aux Antilles.
- Bases climatiques de l'avertissement.
Fruits, 27 (10), 665-676.
- Techniques d'observation et de numération de la maladie.
Fruits, 27 (11), 767-774.
- Application de techniques d'observation et de numération de la maladie. Bilan de trois années de traitement à cycle long.
Fruits, 28 (10), 671-680.
4. GANRY (J.). 1978.
Calcul des «sommes de vitesse de développement» et des températures moyennes journalières à partir du minimum et du maximum journaliers de température, sous climat tropical et équatorial.
Fruits, 33 (4), 221-236.
5. GANRY (J.). 1978.
Quelques précisions concernant l'action de la température sur la vitesse de développement de la Cercosporiose du bananier. Conséquences pour l'application à l'avertissement.
Fruits, 34 (4), 235-244.
6. GUYOT (H.) et CUILLE (J.). 1958.
Essai de prévision des attaques de *Cercospora* en Guadeloupe.
Fruits, 13 (3), 85-94.
7. STOVER (R., H.) 1965.
Leaf spot on bananas caused by *Mycosphaerella musicola* : Effect of temperature on germination, hyphal growth and conidia production.
Tropical Agriculture, Trin., 42 (4), 351-360.
8. STOVER (R.H.). 1971.
A proposal international scale for estimating intensity of bananas leaf spot.
Trop. Agric. (Trin.), 48 (3), 185-196.
9. STOVER (R.H.) et DICKSON (J.D.). 1970.
Leaf spot of bananas caused by *Mycosphaerella musicola* : methods of measuring spotting prevalence and severity.
Trop. Agric. (Trin.), 47, 289-302.
10. TEZENAS DU MONTCEL (H.). 1976.
Observations sur la Cercosporiose du bananier au Cameroun en 1974. Evaluation des possibilités d'avertissement.
Fruits, 31 (7-8), 437-458.

LES CULTURES TROPICALES AIMENT LA POTASSE

QUALITE
RENDEMENT
PROFIT

engrais
potassiques



GRUPE EMC

SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE
62-68, rue Jeanne d'Arc - 75646 PARIS CEDEX 13
Tél. : 584.12.80 Téléc : P.E.M.C. 20191 F

