

Relation entre la durée de pluie et le développement de la cercosporiose noire sur le bananier plantain

Proposition d'un système d'avertissement biométéorologique

F JIMENEZ
AC TAPIA
N GRIBUIS,
JV ESCALANT

Centro Agrónomo Tropical
de Investigación y Enseñanza
CATIE
7170, Turrialba
Costa Rica

Reçu : novembre 1994

Accepté : février 1995

Relation entre la durée de pluie et le développement de la cercosporiose noire sur le bananier plantain.

RÉSUMÉ

Différentes recherches conduites dans la région atlantique du Costa Rica ont montré que le niveau d'infection de la feuille de rang 4 du bananier plantain et la durée cumulée des pluies pendant les quatre premières semaines des six semaines précédant l'évaluation biologique variaient dans le même sens. Ces observations ont servi de base au développement d'un système d'avertissement biométéorologique permettant de déterminer le moment le plus opportun à l'application des traitements fongiques. Le système a été testé dans des conditions réelles de production. Ce système simple fonctionne à l'aide de règles de décision objectives et permet de faire une prévision à 2 semaines, ce qui favorise une lutte précoce à des stades où la maladie peut être sensible aux produits fongiques. Pour la suite, il apparaît cependant essentiel de tester ce système d'avertissement dans d'autres conditions climatiques et de production.

MOTS CLÉS

Musa (plantains), contrôle de maladies, cercosporiose, *Mycosphaerella fijiensis*, avertissement agricole, pluie.

Relationship between rainfall accumulation and development of black Sigatoka on plantain.

ABSTRACT

Different research works carried out in the Atlantic Region of Costa Rica showed that the trends of temporal variation for infection level in plantain leaf 4 and the accumulative duration of rain, over the first four of the six weeks before biological evaluation, are very similar. This data constituted the base for developing a biometeorological forecasting system to define the timing of fungicide treatment. This system has been tested under actual production conditions. It is a simple system working under objective decision rules and resulting in a two weeks forecast, which allows treatment of the disease during its sensible development stages to fungicides. It would be useful to test this system under different climatic and production conditions.

KEYWORDS

Musa (plantains), disease control, blotches, *Mycosphaerella fijiensis*, agricultural warning services, rain.

Relación entre la duración de la lluvia y el desarrollo de la Sigatoka negra en plátano.

RESUMEN

Diferentes investigaciones realizadas en la Región Atlántica de Costa Rica mostraron que las tendencias de la variación temporal del nivel de infección de la hoja 4 del plátano y de la duración acumulada de la lluvia, durante las cuatro primeras de las seis semanas anteriores a la evaluación biológica, son muy similares. Estas observaciones sirvieron de base para desarrollar un sistema de previso biometeorológico destinado a definir el momento oportuno de efectuar las aplicaciones de fungicida. El sistema ha sido probado en condiciones reales de producción. El sistema es simple, funciona con reglas de decisión objetivas y permite hacer una previsión a dos semanas, lo que favorece un combate de la enfermedad en estados de desarrollo sensibles a los fungicidas. Es importante probar el sistema en otras condiciones de clima y de producción.

PALABRAS CLAVES

Musa (plátanos), control de enfermedades, Sigatoka negra, *Mycosphaerella fijiensis*, avisos agrícolas, lluvia.

● introduction

La culture du bananier plantain (*Musa* AAB) représente une activité agricole essentielle pour de nombreux pays tropicaux, du fait de sa double vocation, vivrière et commerciale (JIMENEZ, 1994a). La maladie appelée cercosporiose noire, due à l'action du champignon *Mycosphaerella fijiensis*, est considérée aujourd'hui comme l'un des principaux facteurs limitatifs de la production de bananier plantain dans la plupart des régions productrices (FOURE et MOREAU, 1992 ; MARIN et ROMERO, 1992). La protection phytosanitaire raisonnée de cet agrosystème nécessite une étude approfondie des interactions entre l'hôte, l'agent pathogène et le milieu.

Les systèmes d'avertissement sont un outil fondamental pour la lutte raisonnée et intégrée contre les maladies (JIMENEZ, 1994b). Ils peuvent contribuer à la réalisation planifiée et opportune des traitements chimiques, à la réduction des coûts de production et au maintien des plantations dans un état sanitaire satisfaisant (GANRY et LAVILLE, 1983). Pour la maladie de la cercosporiose jaune (*Mycosphaerella musicola*), de nombreux travaux (GUYOT et CUILLE, 1958 ; KLEIN, 1960 ; GANRY et MEYER, 1972) ont permis d'élaborer un système d'avertissement. GANRY et MEYER (1972), en particulier, ont développé, pour le contrôle de cette maladie, un système performant basé sur deux composantes : l'une biologique concernant le développement de la maladie (avertissement biologique), l'autre météorologique basée sur la température de l'air et l'évaporation du piché (avertissement climatique). Par la suite, l'avertissement biologique, résultant de l'avertissement climatique, a été modifié pour être utilisé dans la lutte contre la cercosporiose noire, aussi bien pour le bananier plantain que pour la banane dessert (FOURE, 1988 ; BUREAU, 1990). Quant à l'avertissement climatique, il n'est actuellement utilisé qu'en Guadeloupe pour le contrôle de la cercosporiose jaune.

Bien que le système d'avertissement biologique soit très efficace pour lutter contre la cercosporiose noire du bananier plantain, il reste néanmoins très complexe, et relativement onéreux à utiliser pour de petits producteurs. Cela a entraîné la recherche d'un système aussi efficace, mais plus

simple à appliquer. À partir de la définition de tels objectifs, les travaux entrepris ont cherché à corréler le développement de la cercosporiose noire sur le bananier plantain à une (ou plusieurs) variable(s) météorologique(s). Les résultats obtenus ont permis d'aboutir à l'élaboration d'un système d'avertissement biométéorologique simple, qui permette de définir le moment opportun pour l'application des traitements fongicides.

● matériels et méthodes

sites expérimentaux et conditions culturelles

L'étude des relations existant entre les variables météorologiques et le développement de la maladie a été basée sur des expérimentations effectuées sur trois parcelles de bananier plantain *Musa* AAB, type faux Corne (cv Curaré), situées sur deux sites de la région atlantique du Costa Rica (site de La Lola et domaine du CATIE). Ces parcelles avaient une superficie approximative d'un hectare chacune ; elles présentaient une topographie plane. Deux parcelles du site de La Lola ont permis d'étudier certains paramètres du climat pour les périodes de janvier à avril 1990 et de juillet à décembre 1991. La parcelle située sur le domaine du CATIE a permis d'obtenir des données complémentaires pour la période de juin à décembre 1991. Les principales caractéristiques climatiques du site de La Lola et de celui du CATIE sont regroupées dans le tableau I. Le système d'avertissement, élaboré à partir de ces données, a été testé ensuite en conditions réelles d'exploitation, entre novembre 1992 et août 1993, sur une plantation de 2 ha appartenant à un agriculteur de Santa Teresita de Turrialba. En l'absence d'enregistrements climatiques spécifiques de ce dernier site, le même topoclimat que celui du domaine du CATIE, distant de 10 km, lui a été attribué.

Le contrôle agronomique des parcelles expérimentales a été réalisé conformément aux pratiques recommandées dans chaque zone. Chaque parcelle a été divisée en deux sousparcelles ; l'une a été traitée avec des fongicides suivant le système de l'avertissement biologique modifié par FOURE (1988) (MARIN et ROMERO, 1992 ; BUREAU *et al*, 1992), l'autre n'a reçu aucun traitement fongicide. Les fongicides utilisés dans les parcelles

Tableau I
Caractéristiques climatiques des sites expérimentaux La Lola et du CATIE (Costa Rica).

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
La Lola*												
Précipitations (mm/mois)	312	205	175	317	279	304	396	302	189	261	403	478
Jours de pluie	19	16	16	16	19	20	23	21	16	19	20	22
Température moyenne (°C)	23,6	23,8	24,3	24,8	25,5	25,5	25,1	25,2	25,3	25,1	24,6	23,9
Humidité relative (%)	87	86	84	84	84	87	89	88	85	87	88	88
Insolation (h/j)	4,5	5,1	5,1	4,9	4,6	3,7	3,4	4,2	4,7	4,5	4,1	3,8
CATIE**												
Précipitations (mm/mois)	170	132	84	130	230	277	276	255	257	254	271	293
Jours de pluie	18	15	14	15	23	25	26	25	23	24	22	21
Température moyenne (°C)	20,3	20,5	21,3	21,7	22,5	22,3	21,9	21,9	22,1	21,9	21,5	20,6
Humidité relative (%)	87,4	86,5	85	86	87	89	89	89	89	89	90	89
Insolation (h/j)	4,7	5,1	5,3	5,1	4,7	4,1	3,7	4,2	4,5	4,8	4,3	4,1

* 10° 6' de latitude N, 83° 23' de longitude O, altitude de 40 m ; ** 9° 53' de latitude N, 83° 38' de longitude O, altitude de 602 m.

traitées ont été le propiconazole triazol (Tilt), le bénomyl (Benlate), le tridémorphe (Calixine), le pyrazophos (Siganex) et un mélange de bitertanol (Baycor) et de triadiméfon (Bayleton). Pour les traitements de l'exploitation testée à Santa Teresita, l'itinéraire technique habituellement utilisé pour cette plantation a été suivi.

variables épidémiologiques et météorologiques évaluées

Les variables épidémiologiques, évaluées chaque semaine à partir de dix bananiers, correspondent :

- au rang de la plus jeune feuille nécrosée ;
- à la somme brute des coefficients de sévérité des feuilles de rangs 2, 3 et 4 ;
- à l'état d'évolution de la maladie (variables issues de l'avertissement biologique dont les règles sont présentées en annexe).

Le niveau d'infection de la feuille de rang n (NIF_n) a été défini comme étant la somme des coefficients de sévérité de la maladie attribués à la feuille de rang n.

Les informations épidémiologiques recueillies sur les parcelles non traitées (La Lola 1990, La Lola

1991 et CATIE 1990) ont été utilisées en corrélation avec les variables météorologiques.

Par la suite, les informations obtenues sur les parcelles traitées ont été exploitées afin de déterminer les seuils de décision pour l'application des fongicides.

Enfin, les dates à partir desquelles ont été réalisés les traitements fongiques déclenchés par l'avertissement biologique ont été comparées avec des dates simulées au moyen du système biométéorologique.

Les variables météorologiques, mesurées sur les deux sites à l'aide d'hygrothermographes et de pluviomètres WILH LAMBRECHT, ont été :

- la température (T) ;
- l'humidité relative (HR) ;
- les hauteurs de précipitations (HP).

Toutes ces données météorologiques ont été relevées avec une périodicité horaire.

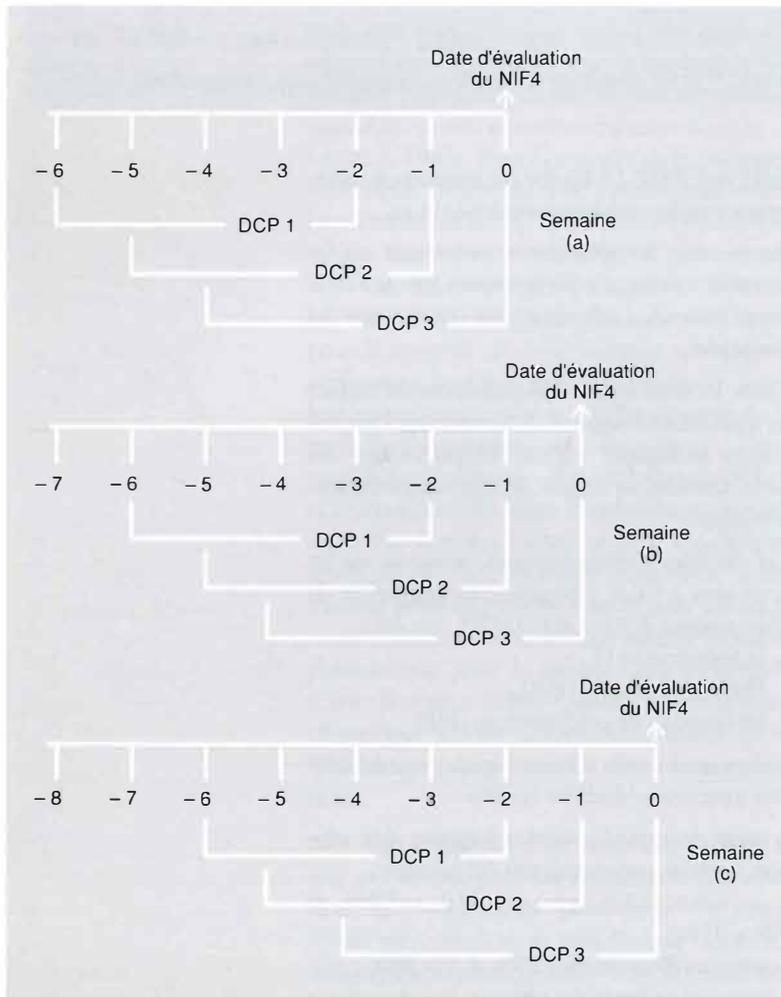
À partir des données météorologiques ainsi relevées, certains paramètres ont été calculés :

- nombre d'heures avec HR > 90% et HR > 95% ;
- nombre d'heures avec 23°C < T < 28°C ;
- quantité et durée des pluies.

La durée des pluies a été obtenue à partir des bandes du pluviomètre.

Le temps de pluie (en min) de chaque jour a été cumulé. Ensuite, pendant une période de 42 jours (6 semaines) précédant la date d'évaluation du NIF₄, les durées de pluie journalière ont été sommées séparément sur 4 semaines : du 1^{er} au 28^e jour inclus (1^{re} durée cumulée de pluie = DCP 1), du 8^e au 35^e jour inclus (DCP 2) et du 15^e au 42^e jour inclus (DCP 3). Après la première période de 6 semaines, seule la valeur de la DCP 3 a dû être calculée, car la valeur de la DCP 1 correspondait alors à celle de la DCP 2 de la semaine précédente et la valeur de la DCP 2 était la même que celle de la DCP 3 la semaine précédente (fig 1).

Figure 1
Diagramme illustrant la détermination des paramètres DCP 1, DCP 2 et DCP 3 dans le système d'avertissement biométéorologique, en commençant par la première (a), la deuxième (b) et la troisième (c) semaine d'opération du système.



L'établissement des courbes d'évolution des variables épidémiologiques et météorologiques ont permis de mettre en évidence certaines tendances proches ou liées. L'analyse de la progression, au cours du temps, des variables épidémiologiques (rang de la plus jeune feuille nécrosée, niveau d'infection des feuilles de rangs 2, 3 et 4, et état d'évolution de la maladie) montre que les courbes relatives au niveau d'infection de la feuille de rang 4 (NIF₄) ont des profils semblables à celles qui visualisent l'évolution de la durée de pluie hebdomadaire.

Pour déterminer la période de corrélation statistique maximale entre la durée cumulée de pluie et le NIF₄, on a fait varier, suivant un calendrier hebdomadaire, d'une part la position de cette période (repérée par rapport à la date d'évaluation du NIF₄), et d'autre part la durée de cette même période.

● résultats et discussion

L'analyse statistique des mesures hebdomadaires des paramètres de durée cumulée de pluie (DCP) et du niveau d'infection de la feuille de rang 4 (NIF₄) a montré que, pour l'ensemble des trois parcelles expérimentales étudiées (La Lola en 1990, La Lola en 1991 et CATIE en 1990), le couple « DCP-NIF₄ », qui fournit la meilleure corrélation, correspond à la durée cumulée de pluie des 4 premières semaines de la période des 6 semaines précédant la date d'évaluation du NIF₄. Les coefficients de régression (r^2) correspondants sont respectivement de 0,60, 0,68 et 0,50 pour les données des parcelles de La Lola en 1990 et en 1991 et du domaine du CATIE en 1991. Les résultats relatifs au couple « DCP-NIF₄ » sont représentés sur les figures 2, 3 et 4, où les profils des deux courbes (NIF₄ et DCP), dans les différents sites étudiés, apparaissent similaires malgré des niveaux d'infection assez différents. Il est important de souligner ici que l'objectif principal de cette analyse réside dans l'évaluation de l'évolution dans le temps de ces deux paramètres et non dans l'obtention d'une relation statistique qui les lierait. De fait, cette relation statistique pourrait varier entre les sites, et, pour un même site, dans le temps.

L'analyse de ces données a permis d'identifier deux résultats intéressants pour l'élaboration d'un système d'avertissement.

Le premier est que la valeur de la variable NIF₄ permet de prédire le développement ultérieur de la maladie, donc de prendre des décisions en temps utile à partir du niveau d'infection de la 4^e feuille. Cela n'est pas toujours possible dans le cas de l'observation de la feuille nécrosée la plus jeune, dont la valeur a pu également être mise en relation avec la durée de pluie (STOVER, 1980), car, quand la maladie se propage plus largement sur l'ensemble de la plantation, les symptômes observés sur ces feuilles les plus jeunes sont tels que les fongicides ne peuvent plus avoir d'effet.

Le second résultat significatif est que le niveau d'infection de la feuille de rang 4 a été relié à la durée cumulée de pluie des 4 premières semaines de la période des six semaines précédant la date d'évaluation du NIF₄. Pour un jour *j*, il est donc possible de prédire, avec 15 jours d'anticipation, si les conditions pluviométriques antérieures ont été favorables ou non à un développement de la maladie qui se produirait dans les 2 semaines à venir, et qui se traduirait par une variation du NIF₄. Dans le cadre d'un système d'évaluation hebdomadaire de la maladie, on cumulera la durée de pluie des périodes allant de la semaine - 5 à la semaine - 1 et de la semaine - 4 à la semaine 0 précédant l'évaluation du NIF₄ (fig 1).

D'un point de vue pratique et dans le cas particulier du bananier plantain, il est intéressant que la relation « durée cumulée de pluie - niveau d'infection » puisse être établie à partir de l'examen de la feuille de rang 4, car celle-ci présente l'avantage, par rapport aux feuilles de rangs 1, 2 et 3, d'être inclinée vers le bas. Cela facilite l'observation, qui peut alors se faire depuis le sol, même pour les plantes proches de la floraison.

Sans avoir vraiment réalisé d'études aussi détaillées, plusieurs auteurs (MEREDITH *et al.*, 1973 ; ROMERO, 1986 ; BLANCO, 1987 ; STOVER et SIMMONDS, 1987 ; STOVER, 1987 ; MARTINEZ, 1989 ; GAUHL, 1990 ; WIELEMAKER, 1990) ont souligné l'importance de la pluie dans la production et la dissémination des spores, et dans la contamination, le développement et la variabilité saisonnière de la cercosporiose noire, que ce soit à l'intérieur d'une même plantation ou à l'échelle d'une zone plus importante.

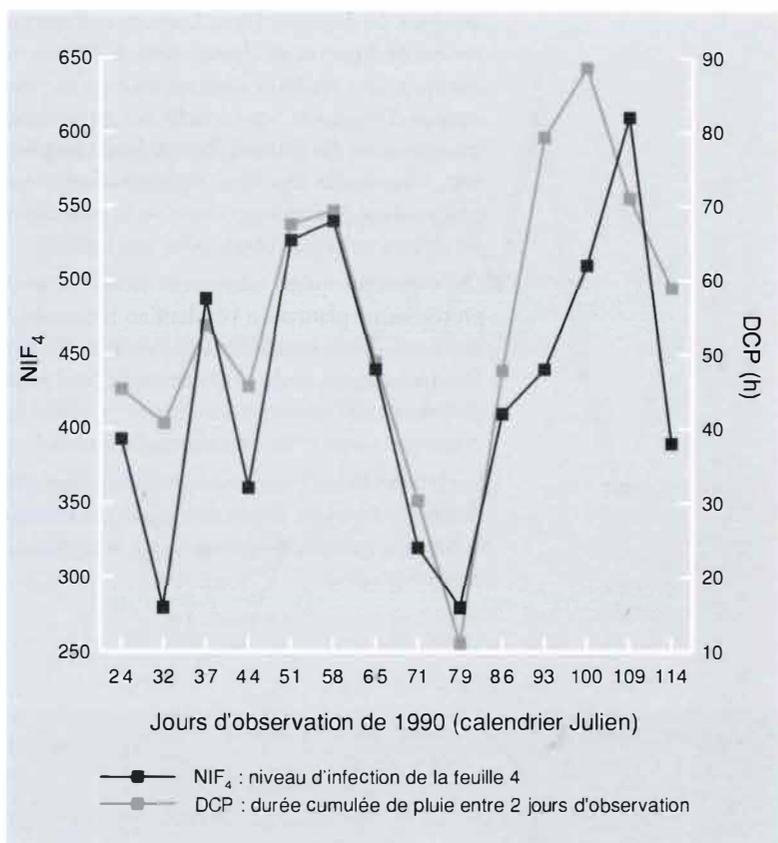


Figure 2
Évolution comparée des paramètres « durée cumulée de pluie mesurée sur les 4 semaines précédant 1 jour *j* » et « niveau d'infection de la feuille de niveau 4 (NIF₄, mesure faite sur dix plantes) au jour *j* + 14 » (La Lola, 1990).

le système d'avertissement biométéorologique

La définition des valeurs biométéorologiques nécessaires à l'établissement des règles de décision a été obtenue en comparant les dates d'application dans les parcelles traitées et les variations hebdomadaires du NIF₄ et des DCP 1, DCP 2 et DCP 3. Or, ces parcelles traitées ont été contrôlées au moyen du système d'avertissement biologique qui tient compte de l'état d'évolution de la maladie. L'utilisation de ce critère a permis de déterminer que la grande majorité des applications de fongicides coïncidait avec l'augmentation d'au moins 260 unités de la valeur de NIF₄, et/ou avec des augmentations d'au moins 6 h de la DCP 3 par rapport à la DCP 2, et de la DCP 2 par rapport à la DCP 1. Afin de conserver une marge de sécurité et de travailler avec des seuils plus faciles à utiliser, des augmentations minimales de 5 h de la durée de la pluie, et de 200 unités de la valeur du niveau d'infection de la feuille de rang 4, ont été établies comme valeurs

critiques de décision. Dans le système d'avertissement biologique, un changement de 200 unités dans la valeur du NIF₄ correspond à un accroissement d'une unité sur l'échelle des symptômes (moyenne sur dix plantes). Pour le bananier plantain, cela signifie une forte augmentation quantitative dans le développement de la maladie et un indicateur préoccupant pour son contrôle.

On considère qu'un traitement chimique peut protéger une plantation pendant au moins deux semaines, même quand il n'a pas été très efficace. Dans tous les cas, ce délai est nécessaire pour juger clairement de l'efficacité du traitement quand les évaluations sont effectuées chaque semaine.

Sur la base des critères précédents, certaines règles de décision ont pu être établies, qui constituent la base du système d'avertissement biométéorologique proposé.

Un traitement fongicide ne devra être effectué que s'il s'est écoulé plus de 2 semaines depuis la dernière application, et si au moins une des deux conditions suivantes est vérifiée :

- le niveau d'infection de la feuille de rang 4 (NIF₄) a augmenté de plus de 200 unités par rapport à la semaine qui a précédé, indépendamment de la durée des pluies ;
- la DCP 2 et la DCP 3 ont augmenté de plus de 5 h par rapport, respectivement, à la DCP 1 et la DCP 2 ; il convient d'insister ici sur le fait que les valeurs des deux DCP doivent avoir augmenté pour déclencher un traitement.

Il est donc nécessaire, avant de pouvoir utiliser le système d'avertissement biométéorologique, de disposer des valeurs de la durée de pluie durant au moins six semaines, ainsi que de celles du niveau d'infection de la feuille de rang 4 sur 2 semaines consécutives.

Les pratiques culturales adéquates, principalement l'effeuillage et l'alternance de fongicides, doivent être considérées comme des éléments de la lutte intégrée contre la cercosporiose noire. La figure 5 présente un schéma du système d'avertissement biométéorologique proposé.

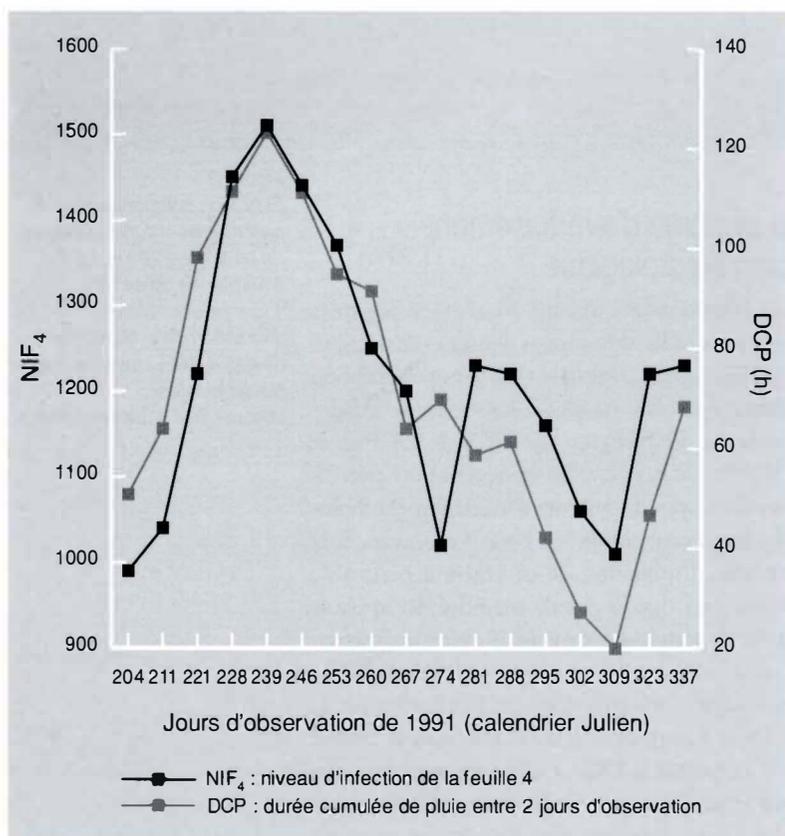


Figure 3
Évolution comparée des paramètres « durée cumulée de pluie mesurée sur les 4 semaines précédant un jour j » et « niveau d'infection de la feuille de niveau 4 (NIF₄, mesure faite sur dix plantes) au jour j + 14 » (La Lola, 1991).

évaluation du système d'avertissement biométéorologique

Le système d'avertissement biométéorologique (SAB) a été utilisé avec succès par comparaison au système d'avertissement biologique validé antérieurement dans de nombreux sites. En l'absence d'une référence constituée par une méthode de lutte chimique appliquée, par exemple, à une plantation commerciale à grande échelle, c'est le système d'avertissement biologique qui a été retenu pour apprécier les performances du système d'avertissement biométéorologique en situation de plantation vivrière.

Le tableau II rassemble les résultats obtenus dans la plantation de Santa Teresita de Turrialba, lors du contrôle de la cercosporiose noire par l'un et l'autre des deux systèmes préalablement présentés. Dans le cas des huit traitements réalisés d'après le système biométéorologique, ceux correspondant aux jours juliens 35, 112 et 168 ont obéi à la règle de décision 1, tandis que ceux effectués les jours 345, 133 et 207 ont obéi à la règle de décision 2. Dans le cas du traitement du

jour 85, les deux règles ont été vérifiées simultanément.

Au cours des jours 40, 89, 96, 424, 145, 187 et 194, la DCP 2 et la DCP 3 ont augmenté respectivement de plus de 5 h par rapport à la DCP 1 et la DCP 2 ; cependant, comme il ne s'était pas écoulé plus de 2 semaines depuis la dernière application, un traitement fongicide ne se justifiait pas.

Dans la plantation étudiée, le nombre d'applications prévues par l'un et l'autre système d'avertissement (biométéorologique et biologique) a été équivalent, et relativement faible en comparaison des quelques 25 applications effectuées dans les exploitations commerciales à grande échelle, dans une même période de 10 mois. En revanche, si l'on observe, sur la plantation de Santa Teresita, la variation hebdomadaire du rang de la plus jeune feuille nécrosée (variable indicatrice de l'état sanitaire général de la plantation), il apparaît (fig 6) que l'on a, presque toujours, plus de feuilles saines lorsque le contrôle a été effectué avec le système biométéorologique.

comparaison des applications de fongicides

Dans les parcelles expérimentales traitées en utilisant les règles du système d'avertissement biologique (PB) (La Lola, 1990 et 1991 ; CATIE, 1991 ; Santa Teresita, 1992), une simulation du nombre de traitements fongicides qui auraient été nécessaires en utilisant le système d'avertissement biométéorologique (SAB) a été réalisée. Ces résultats sont présentés dans les tableaux III à VI.

Les données obtenues sur le site de La Lola en 1990 (tableau III) montrent qu'une application de fongicide a été effectuée au début de l'évaluation pour initialiser le système PB. Ce premier traitement a permis de minimiser les variations spatiales de l'infection des feuilles les plus jeunes, à l'échelle de la plantation. Par la suite, le nombre d'applications correspondant aux deux systèmes a été identique. L'observation des dates auxquelles ont été effectuées les traitements prévus par le système PB montre que si la deuxième application avait été programmée en utilisant le SAB, elle aurait été réalisée une semaine plus tôt ; le troisième traitement effectué à la suite de l'application des règles du système PB paraît avoir été tardif, si l'on considère l'état d'évolution avancé de la maladie. Cela laisse supposer que si l'application avait été réalisée en suivant les règles de

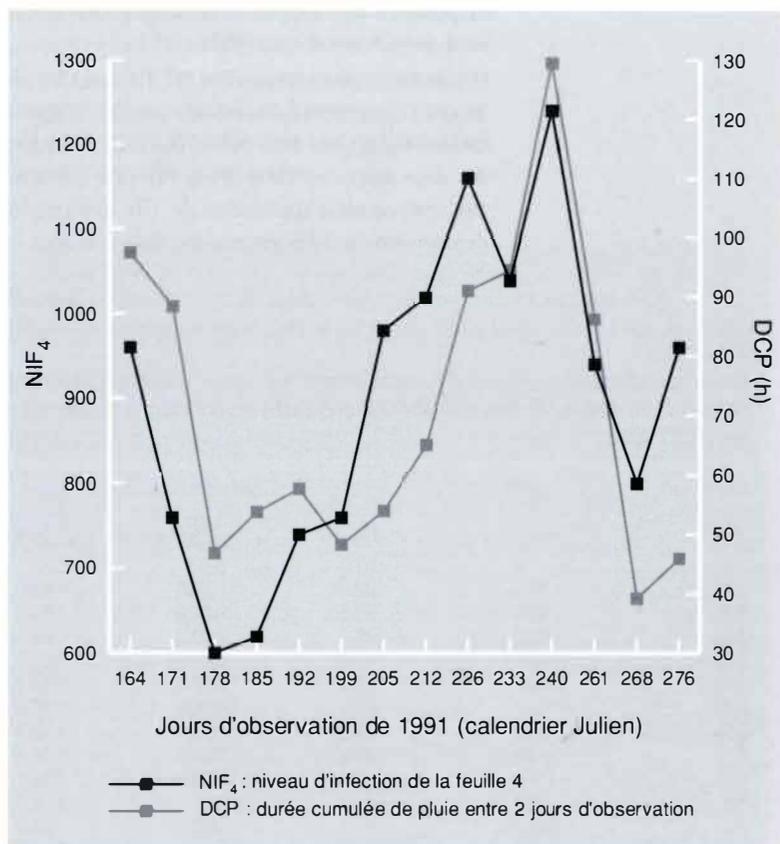


Figure 4
Évolution comparée des paramètres « durée cumulée de pluie mesurée sur les 4 semaines précédant un jour j » et « niveau d'infection de la feuille de niveau 4 (NIF₄, mesure faite sur dix plantes) au jour $j + 14$ » (CATIE, 1991).

décision du SAB, il aurait été probablement possible de maintenir un niveau d'infection plus bas pendant une période plus longue. Le 79^e jour en particulier, les augmentations considérables de la DCP 2 et de la DCP 3 ont entraîné une augmentation très élevée du niveau d'infection de la plantation, ce qui a été montré par la variation de l'état d'évolution de la maladie.

Les données obtenues à La Lola en 1991 (tableau IV) montrent que, dans ce cas, un même nombre de traitements fongiques (quatre) ont été prévus par l'un ou l'autre des deux systèmes PB ou SAB. L'état d'évolution de la maladie révèle cependant que ces traitements n'ont pas été très efficaces et que, tant au début qu'à la fin de la période étudiée, une application de fongicide aurait été nécessaire pour baisser le niveau d'infection, comme l'aurait suggéré le SAB. Le manque de règles relatives à la définition d'une date précise de traitement, mis en évidence au cours de cette expérimentation, pourrait constituer un facteur limitatif pour l'utilisation du système PB. À l'heure actuelle, c'est sur la base de

l'expérience développée dans chaque zone que la date de traitement est arrêtée.

Les données obtenues au CATIE (tableau V) indiquent également qu'un même nombre d'applications fongiques était prévu par l'un et l'autre des deux systèmes. Le système PB a été initialisé par une première application de Tilt. Si les règles de décision du SAB avaient été alors réalisées, la

deuxième application aurait eu lieu une semaine avant la date à laquelle elle a été effectuée en suivant les prévisions du système PB.

Pour le troisième traitement programmé par ce dernier système, il y a eu coïncidence avec la deuxième application simulée par le SAB. Bien qu'il n'y ait pas eu de quatrième application, l'état d'évolution de la maladie au jour julien 276 aurait justifié

Tableau II

Comparaison des systèmes d'avertissement biométéorologique (SAB) et d'avertissement biologique (PB) en termes de prévision des dates des traitements fongicides en conditions réelles d'exploitation à Santa Teresita (Costa-Rica) en 1992/1993.

Jour julien	NIF ₄	Durée de la pluie			Traitement SAB	Avertissement biologique PB	
		DCP 1	DCP 2	DCP 3	EEM	Traitement	
322	640	82,3	77,5	41,6			
329	540	77,5	41,6	40,5		2624	B + B
336	620	41,6	40,5	61,1		2233	
343	480	40,5	61,1	87,6	Tilt, 345*	2417	Tilt
350	520	61,1	87,6	88,9		2524	
357	580	87,6	88,9	90,6		2245	
364	600	88,9	90,6	127,1		1688	
5	640	90,6	127,1	100,6		1581	
12	760	127,1	100,6	99,1		1617	
19	620	100,6	99,1	108,7		2126	Bavistin
26	540	99,1	108,7	69,8		2303	
33	940	108,7	69,8	135,3	Tilt, 35	2392	
40	1040	69,8	135,3	152,1		2671	Tilt
47	980	135,3	152,1	130,1		2332	
54	860	152,1	130,1	128,3		1788	
61	900	130,1	128,3	49,6		1621	
68	1060	128,3	49,6	26,7		1531	
75	840	49,6	26,7	82,6		1096	
82	1100	26,7	82,6	102,9	B + B, 85	1446	
89	640	82,6	102,9	125,7		1713	B + B
96	560	102,9	125,7	132,7		2129	
103	700	125,7	132,7	78,5		2319	Tilt
110	1140	132,7	78,5	36,5	Tilt, 112	1761	
117	720	78,5	36,5	44,2		1610	
124	780	36,5	44,2	61,7		1469	
131	700	44,2	61,7	98,3	Tilt, 133	1219	
138	460	61,7	98,3	125,3		1330	
145	460	98,3	125,3	131,1		2107	Tilt
152	340	125,3	131,1	125,1		2283	
159	280	131,1	125,1	107,2		1515	
166	540	125,1	107,2	97,4	Tilt, 168	1421	
173	820	107,2	97,4	76,3		1635	
180	1080	97,4	76,3	82,4	Siganex, 183	3126	Tilt
187	780	76,3	82,4	96,6		1872	
194	540	82,4	96,6	112,9		1580	
201	680	96,6	112,9	134,8	Tilt, 207	2202	Siganex
208	240	112,9	134,8	119,6		1678	
215	540	134,8	119,6	110,1		1279	
222	620	119,6	110,1	113,6		1328	
229	540	110,1	113,6	95,1		1225	
236	600	113,6	95,1	115,1		1481	

NIF₄ : niveau d'infection de la feuille 4; EEM: état d'évolution de la maladie; B + B: Bayor + Bayleton; * jour julien où a été effectué le traitement.

qu'une telle application soit réalisée au plus tard une semaine après (jour 276) la date indiquée par le SAB. Les données recueillies à Santa Teresita (tableau VI) montrent qu'une première application a été effectuée pour homogénéiser spatialement le niveau d'infection. Pour les deuxième,

troisième, quatrième et sixième applications, les deux systèmes PB et SAB coïncident. Cependant, d'après le SAB, les cinquième et septième traitements fongiques réalisés en fonction du système PB auraient dû être effectués une semaine avant la date à laquelle ils ont eu lieu.

Tableau III

Comparaison des dates de traitements fongicides effectués conformément au système d'avertissement biologique (PB) et des dates programmées par le système d'avertissement biométéorologique (SAB), sur le site de La Lola (Costa Rica) en 1990.

Jour julien	NIF ₄	Durée cumulée de la pluie			Évolution de la maladie	Traitement	
		DCP 1	DCP 2	DCP 3		PB	SAB
24	486	45,3	40,7	53,9	2342	Tilt	
32	280	40,7	53,9	45,7	1155		
37	273	53,9	45,7	67,5	587		
44	247	45,7	67,5	69,4	510		
51	480	67,5	69,4	49,1	1368		**
58	513	69,4	49,1	30,3	1546	Tilt	
65	513	49,1	30,3	11,1	1272		
71	300	30,3	11,1	47,8	706		
79	213	11,1	47,8	79,3	328		**
86	300	47,8	79,3	88,7	471		
93	387	79,3	88,7	71,1	1146		
100	447	88,7	71,1	58,9	1575	Benlate	
109	540	71,1	58,9	27,8	2066		
114	390	58,9	27,8	24,3	760		

** Date de traitement prévue par le SAB.

Tableau IV

Comparaison des dates de traitements fongicides effectués conformément au système d'avertissement biologique (PB) et dates programmées par le système d'avertissement biométéorologique (SAB), sur le site de La Lola (Costa Rica) en 1991.

Jour julien	NIF ₄	Durée cumulée de la pluie			Évolution de la maladie	Traitement	
		DCP 1	DCP 2	DCP 3		PB	SAB
204	920	50,7	63,9	98,1	2268		**
211	760	63,9	98,1	111,3	2699		**
221	1340	98,1	111,3	123,1	3148		**
228	1420	111,3	123,1	111,1	3244	Tilt	
239	1240	123,1	111,1	94,8	2930		
246	1500	111,1	94,8	91,4	3383	Tilt	**
253	1600	94,8	91,4	63,9	3294		
260	1240	91,4	63,9	69,7	2866		
267	1200	63,9	69,7	58,6	2879	Calixin	
274	880	69,7	58,6	61,3	2720		
281	1080	58,6	61,3	42,2	2903		
288	920	61,3	42,2	27,2	2690	Calixin	
295	860	42,2	27,2	20,1	2536		
302	840	27,2	20,1	46,6	2503		
309	880	20,1	46,6	68,3	2614		**
323	940	46,6	68,3	98,3	2643		
337	1120	68,3	98,3	88,4	2662		

** Date de traitement prévue par le SAB.

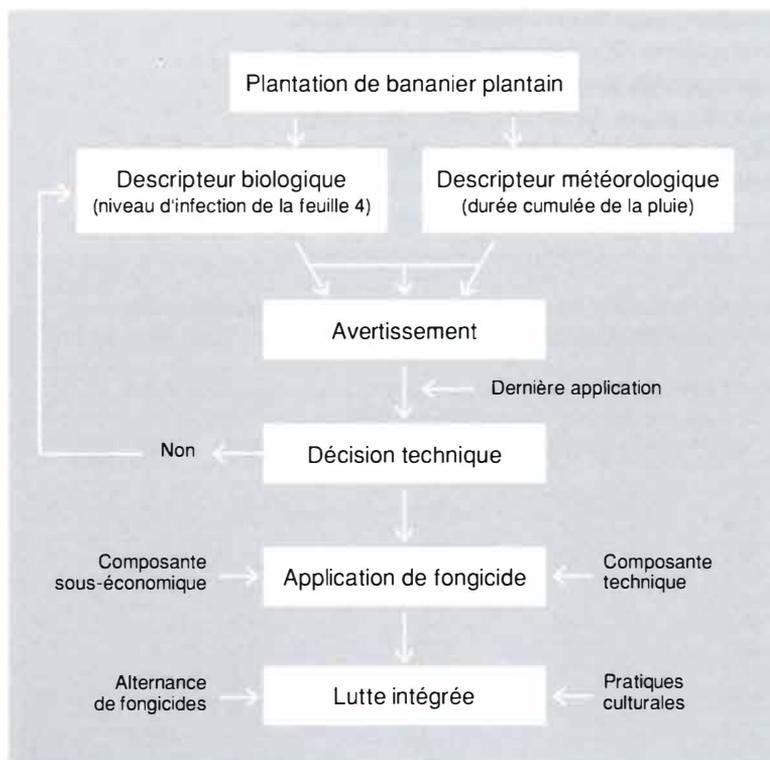


Figure 5 Schéma du système d'avertissement biométéorologique pour la cercosporiose noire du bananier plantain.

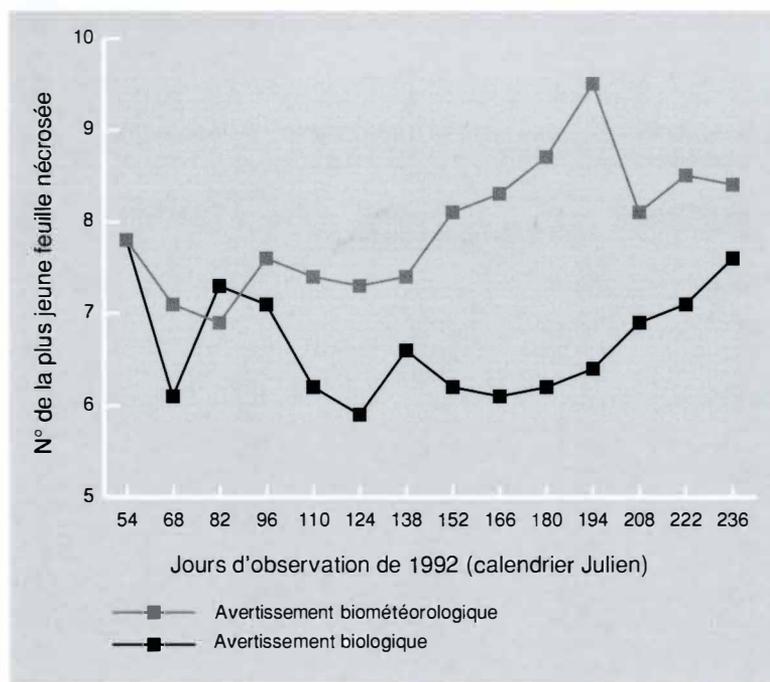


Figure 6 Comparaison des systèmes d'avertissement biologique et d'avertissement biométéorologique en termes de rang de la plus jeune feuille nécrosée sur le site de Santa Teresita en 1993.

conclusions

Les durées de pluie affectent de façon importante le développement de la cercosporiose noire dans la culture du bananier plantain. Les courbes d'évolution dans le temps des variables « niveau d'infection de la feuille quatre » et « durée cumulée des pluies durant les quatre premières semaines de la période de six semaines précédant l'évaluation biologique » se sont révélées identiques, ce qui a permis de mettre au point un système d'avertissement biométéorologique appelé SAB.

Certains résultats, présentés dans le tableau II, montrent que le SAB permet une utilisation rationnelle des produits fongiques. Le système est simple, rapide et il fait appel à des règles de décisions objectives. Il a un caractère prédictif de deux semaines, ce qui permet de combattre la maladie à des stades plus sensibles aux produits fongiques, et par conséquent à un moment plus opportun, que ceux définis par le système PB.

Les simulations effectuées pour comparer les deux systèmes SAB et PB ont montré que le système d'avertissement biométéorologique (SAB) avait tendance à mieux prédire les traitements que le système PB. Cela est important dans le cadre de la lutte contre la cercosporiose noire puisque l'avance de la maladie peut être alors fortement ralentie à un moment où le niveau d'infection est bas, et, par conséquent, à un moment où l'intervention peut être efficace. Par ailleurs, cela permet de disposer d'une certaine marge de sécurité, en cas d'empêchements météorologiques ou logistiques, avant que le niveau d'infection dans la plantation ne devienne trop difficile à contrôler.

L'ensemble des résultats obtenus montrent que le système biométéorologique peut être réellement intéressant pour la prise de décision d'applications de fongicides. Cependant, ces études sur le SAB devront être poursuivies en comparant principalement l'efficacité de ce système et celle de l'avertissement biologique, dans d'autres parcelles réparties dans différentes régions. Par ailleurs, l'adaptation du SAB au cas du bananier dessert pourra être envisagée.

Le système d'avertissement biométéorologique pourrait constituer une outil de décision accessible au petit producteur de bananier plantain, dont les faibles possibilités financières requièrent une gestion simple et efficace du contrôle des maladies.

CERCOSPORIOSE NOIRE SUR LE BANANIER PLANTAIN

Tableau V

Comparaison des dates de traitements fongicides effectués conformément au système d'avertissement biologique (PB) et des dates programmées par le système d'avertissement biométéorologique (SAB), sur le domaine du CATIE (Costa Rica) en 1991.

Jour julien	NIF ₄	Durée cumulée de la pluie			Évolution de la maladie	Traitement	
		DCP 1	DCP 2	DCP 3		PB	SAB
164	740	97,4	88,3	46,9	2187	Tilt	
171	900	88,3	46,9	53,8	3826		
178	660	46,9	53,8	57,7	2771		
185	600	53,8	57,7	48,3	2061		
192	540	57,7	48,3	54,1	1963		
199	600	48,3	54,1	65,1	2392		**
205	760	54,1	65,1	91,2	2449	Benlate	
212	1000	65,1	91,2	94,6	2556		
226	1400	91,2	94,6	129,5	2814	Tilt	**
233	800	94,6	129,5	86,2	1903		
240	760	129,5	86,2	39,3	1889		
261	680	86,2	39,3	46,1	1865		
268	860	39,3	46,1	53,3	2321		**
276	1020	46,1	53,3	56,3	2558		

** Date de traitement prévue par le SAB.

Tableau VI

Comparaison des dates de traitements fongicides effectués conformément au système d'avertissement biologique (PB) et des dates programmées par le système d'avertissement biométéorologique (SAB), sur la plantation de Santa Teresita (Costa Rica) en 1992.

Jour julien	NIF ₄	Durée cumulée de la pluie			Évolution de la maladie	Traitement	
		DCP 1	DCP 2	DCP 3		PB	SAB
154	720	121,8	89,9	59,9			
161	680	89,9	59,9	33,1	2035	Tilt	
168	440	59,9	33,1	50,8	1495		
175	300	33,1	50,8	47,8	758		
182	280	50,8	47,8	53,9	900		
189	620	47,8	53,9	70,1	1820	Tilt	**
196	660	53,9	70,1	60,2	1955		
203	480	70,1	60,2	66,9	1433		
210	400	60,2	66,9	79,4	1545	Calixin	**
217	460	66,9	79,4	97,1	1423		
224	660	79,4	97,1	91,2	1861		
231	1060	97,1	91,2	81,7	2762	Tilt	**
238	1020	91,2	81,7	81,6	3167		
245	1400	81,7	81,6	59,3	3162		
252	1140	81,6	59,3	72,7	2238		
259	660	59,3	72,7	77,8	1454		**
266	1160	72,7	77,8	78,3	2244	Tilt	
273	1040	77,8	78,3	68,1	2280		
280	860	78,3	68,1	62,1	1883		
287	860	68,1	62,1	67,6	1411		
295	1000	62,1	67,6	89,8	1324	Tilt	**
302	700	67,6	89,8	90,3	1984		
309	680	89,8	90,3	82,3	1569		
316	940	90,3	82,3	77,5	1900		
323	1340	82,3	77,5	41,6	2560		**
330	1040	77,5	41,6	40,5	2111	B + B	

** Date de traitement prévue par le SAB.

● références

- Blanco MV (1987) *Relación de los factores climáticos con los niveles de esporulación e infección de Mycosphaerella fijiensis var difformis en el cultivo de banano en la zona de Río Frío, Costa Rica*. Tesis Ing Agr, San José, Costa Rica, 60 p
- Bureau E (1990) Adaptation d'un système d'avertissement à la lutte contre la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis*, Morelet) en plantation de banane plantain au Panama. *Fruits* 45, 329-338
- Bureau E, Marin D, Guzman JA (1992) *El sistema de preaviso para el combate de la Sigatoka negra en banano y plátano*. Panamá, UPEB, 42 p
- Fouré E (1988) Stratégies de lutte contre la cercosporiose noire des bananiers et des plantains provoquée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. L'avertissement biologique au Cameroun. Évaluation des possibilités d'amélioration. *Fruits* 43, 269-274
- Fouré E, Moreau A (1992) Contribution à l'étude épidémiologique de la cercosporiose noire dans la zone bananière du Mounjo au Cameroun de 1987 à 1989. *Fruits* 47, 3-16
- Ganry J, Meyer JP (1972) La lutte contrôlée contre le cercospora aux Antilles. Bases climatiques de l'avertissement. Technique d'observation et de numération de la maladie. *Fruits* 27, 665-676
- Ganry J, Meyer JP (1972) La lutte contrôlée contre le cercospora aux Antilles. Bases climatiques de l'avertissement. Technique d'observation et de numération de la maladie. *Fruits* 27, 767-774
- Ganry J, Laville E (1983) Les cercosporioses du bananier et leur traitements. Évolution des méthodes de traitement. *Fruits* 38, 3-20
- Gauhl F (1990) *Epidemiología y Ecología de la Sigatoka negra Mycosphaerella fijiensis Morelet en plátano Musa sp en Costa Rica*. UPEB, Panamá, 126 p
- Guyot H, Cuille J (1958) Essai de prévision des attaques de cercospora en Guadeloupe. *Fruits* 13, 85-94
- Jimenez F (1994a) *Études agrométéorologiques appliquées à la lutte contre la Sigatoka noire (Mycosphaerella fijiensis) du bananier plantain (Musa AAB)*. Thèse de Docteur de l'Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 129 p
- Jimenez F (1994b) Los sistemas de preaviso de Sigatoka en banano y plátano. In: *V^e Congreso Internacional de Manejo Integrado de plagas*. San José, Costa Rica, 18 al 22 de julio de 1994. CATIE, Costa Rica, 14 p
- Klein HH (1960) Control of Sigatoka leaf spot of bananas with application of oil spray based on the disease cycle. *Phytopathology* 50, 488-490
- Marin D, Romero R (1992) *El combate de la Sigatoka negra*. CORBANA, Boletín No 4, San José, Costa Rica, 22 p
- Martinez OM (1989) *Determinación del ciclo biológico del patógeno de la Sigatoka negra del plátano Mycosphaerella fijiensis var difformis, Mulder y Stover en Teapa, Tabasco, México*. Tesis Ing Agr, Universidad Autónoma de Chiapas, México, 71 p
- Meredith DS, Lawrence JS, Firman ID (1973) Ascospore release and dispersion in black streak of banana *Mycosphaerella fijiensis*. *Trans Br Mycol Soc* 60, 547-554
- Romero R (1986) Observaciones sobre la incidencia de Sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis* var difformis en el cultivo del banano en la Zona Atlántica de Costa Rica. *ASBANA (Costa Rica)* 10, 22-25
- Stover RH (1980) Sigatoka leaf spots of bananas and plantains. *Plant Dis* 64, 750-755
- Stover RH (1987) Producción de plátano en presencia de Sigatoka Negra. *UPEB Informe mensual* 82, p 50-56
- Stover RH, Simmonds NW (1987) Bananas. Third edition, Longman, Scientifics and Technical, Singapore, 468 p
- Wielemaker F (1990) Practical notes on black sigatoka control. In: *Sigatoka leaf spot diseases of bananas*, Proceedings of an international workshop held at San José, Costa Rica, March 28-April 1, 1989 (R Fullerton, RH Stover, eds), San José, Costa Rica, 111-115

● annexe

description du système d'avertissement biologique (PB)

Le système d'avertissement biologique (MARIN et ROMERO, 1992 ; BUREAU *et al.*, 1992) est utilisé avec succès dans différents pays. Pour cette raison, il a été choisi, dans cette étude, comme élément de référence aux résultats obtenus avec le système d'avertissement biométéorologique expérimenté.

La méthode d'avertissement biologique est basée sur la quantification de la variation de l'état d'évolution (EE), ou vitesse de développement, de la maladie, dans le feuillage de la plantation.

Après quelques modifications, l'utilisation de ce système consiste, actuellement, à choisir, au niveau du champ ou de la parcelle, dix plantes représentatives (âge, vigueur, état sanitaire, etc) de la population. Les observations sont alors toujours réalisées sur ces mêmes plantes dès lors qu'elles ont cinq ou six vraies feuilles, et elles se poursuivent jusqu'à l'émission de l'inflorescence. Elles consistent en l'observation hebdomadaire du niveau d'infection par la cercosporiose noire sur les feuilles de rangs 2, 3 et 4, comptées à partir

de la feuille cigare ; l'état de développement du cigare est déterminé sur une échelle comportant cinq niveaux (0, 2, 4, 6 et 8) et le rythme d'émission foliaire est calculé.

Pour déterminer le niveau d'infection, l'état le plus avancé des symptômes est identifié sur le tiers apical des feuilles. Pour cela, on utilise une échelle de six niveaux de symptômes ; chacun d'eux est divisé en deux sous-niveaux (+ et -) correspondant à la densité de l'attaque : s'il y a plus de 50 lésions du symptôme le plus développé, le sous-niveau se note +, s'il y a moins de 50 lésions, le sous-niveau se note -.

Chacun des (6 x 2) niveaux de symptômes est pondéré par des coefficients de sévérité présentés dans le tableau VII, qui varient suivant le numéro de la feuille qui est évaluée. Les valeurs de ces coefficients traduisent le fait que, pour un niveau de symptômes donné, l'infection d'une feuille a d'autant plus de conséquence sur la maladie que la feuille considérée est plus jeune. En présence du niveau de symptôme le plus bas (1 -), les coefficients sont 20, 40 et 60 pour les feuilles de rangs 4, 3 et 2 respectivement. À partir de cette valeur, chaque niveau de symptôme successif est augmenté de 20 unités. Ainsi, pour dix feuilles, deux niveaux de symptôme consécutifs (relatifs aux feuilles de rangs 2, 3 ou 4) correspondent à une augmentation de 200 unités (= 10 feuilles x 20 unités) de la somme brute.

L'addition de la somme brute (coefficients de sévérité) des feuilles de rangs 2, 3 et 4 (sur les dix plantes), corrigée par l'état de développement du cigare et par le rythme d'émission foliaire, permet d'obtenir finalement l'état d'évolution de la maladie (EEM).

Le facteur le plus important qui permet de prendre la décision d'application est la courbe de cette

Tableau VII
Coefficients de sévérité de cercosporiose noire, attribués en suivant le système d'avertissement biologique (PB).

Niveau de symptôme	Numéro de la feuille		
	II	III	IV
1-	60	40	20
1+	80	60	40
2-	100	80	60
2+	120	100	80
3-	140	120	100
3+	160	140	120
4-	160	140	
4+	160		

évolution de la maladie mesurée à une fréquence hebdomadaire. Il n'existe pas, en principe, un seuil critique d'état d'évolution. Seuls les résultats expérimentaux pourront permettre de déterminer quels seuils considérer et comment les définir pour les différents sites. Généralement, la règle retenue conduit à décider une application dès lors que deux accroissements successifs de la somme brute, espacés d'une semaine, sont observés. Cependant, cette décision peut parfois être modifiée par le phytopathologiste responsable du suivi biologique.

En fait, ce système est assez lourd à appliquer. Dans la pratique, la difficulté d'effectuer les observations des symptômes sur les feuilles de rangs 2 et 3 du fait de la hauteur des plantes et du port encore assez dressé de ces feuilles, représente une limitation opératoire importante.