

Contribution à la Gestion des Cercosporioses du bananier dues à *Mycosphaerella* spp. par l'utilisation du Fluopyram associé à l'huile minérale en Côte d'Ivoire

Gueu Hervé Sadia¹, Kouakou Théodore Kouadio^{2*}, Jean Pohé², Eric Olivier Tienébo²

¹Université Félix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherche des Biosciences, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Département de Formation et de Recherche Agriculture et Ressources Animales, Laboratoire de Phytopathologie et de Biologie Végétale, B.P. 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

* : auteur correspondant : tkouadiothed@gmail.com

Original submitted in on 24th April 2017. Published online at www.m.elewa.org on 31st May 2017
<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v113i1.5>

RESUME

Objectifs : En vue de contribuer à la gestion des cercosporioses du bananier, un essai a consisté à comparer l'efficacité biologique du Fluopyram (500g/l) associé à un émulsifiant mouillable à l'eau et sa suspension dans l'huile. Le but de cet essai est de trouver les mélanges qui donnent une efficacité maximale au produit pour lutter efficacement contre les cercosporioses du bananier. Il s'agit de Fluopyram + eau + émulsifiant, Fluopyram + huile +émulsifiant + eau et enfin de Fluopyram + Huile + eau.

Méthodologie : Le dispositif expérimental choisi est en blocs aléatoires complets (ou blocs de Fisher) avec 7 objets et 3 répétitions. Chaque parcelle élémentaire comportait 6 bananiers qui sont traités, mais les observations ont été portées sur 4 bananiers compte tenu des effets de bordure, soit 12 bananiers à observer sur 18 à traiter par objet. Les applications de fongicides ont été effectuées avec un atomiseur sur le feuillage et le pseudo-tronc des bananiers. Des observations hebdomadaires ont été faites sur les paramètres épidémiologiques et de croissance du bananier. Ces paramètres ont permis de calculer l'état d'évolution de la maladie après chaque traitement.

Résultats et Applications : Les mélanges Fluopyram + huile + émulsifiant + eau et Fluopyram + huile + eau sont très efficaces comme leurs références respectives. A partir de la quatrième semaine leurs effets se renforcent. Le mélange Fluopyram + eau + émulsifiant contrôle partiellement la maladie. Les traitements avec de l'huile prolongent la période d'incubation des ascospores et retardent la formation des premiers stades de la maladie (en tirets). Pour le traitement au Fluopyram + eau + émulsifiant, les fréquences d'application devraient être rapprochées pour qu'il y ait un meilleur contrôle de la maladie. Ce résultat devrait être pris en compte dans une gestion intégrée contre les cercosporioses du bananier.

Mots clés : efficacité, fongicide, bananier, cercosporioses, émulsifiant, huile

Contribution to the management of *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas by using Fluopyram associated with mineral oil in Ivory Coast

ABSTRACT

Objective : In order to contribute to the management of *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas, a trial was conducted to compare the biological effectiveness of Fluopyram associated with a waterble emulsifier wet suspension in oil. The objective of this test is to find compound that give the product a maxim effectiveness to fight effectively against the leaf spot of banana. There are Fluopyram + water + emulsifier, Fluopyram + oil + emulsifier + water and finally Fluopyram + Oil + Water.

Methodology : The experimental design was randomized block file with 7 items and 3 repetitions. Each parcel contains 6 bananas which are treated, but observations are taken four bananas, or 12 out of 18 to be treated by object. The test was conducted over a period of 12 weeks (three months) and weekly observations have been made on epidemiological parameters and growth of banana. These parameters allowed us to calculate the state of disease progression after each treatment.

Results and applications : This study has shown that mixes Fluopyram + oil + emulsifier + water, Fluopyram + oil + water are very effective as their respective references. Beginning the fourth week, their effectiveness increase. The mixture Fluopyram + water + emulsifier partially control the disease. The treatment with oil prolongs the incubation period of ascospores and delays the formation of the first stages of the disease (dashes). For the treatment Fluopyram + water + emulsifier, the frequency of application should be reconciled so that there is better control of disease. This result should be included in the integrated management for the disease.

Keywords: effectiveness, fungicide, banana three, leaf spot diseases, emulsifier, oil

INTRODUCTION

La banane est un fruit hautement énergétique et par conséquent de grande valeur alimentaire (Lassoudière, 2012). Les bananes desserts sont les fruits les plus importants des régions tropicales et les plus consommées dans le monde tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des tropiques (Lassois et al., 2009 ; Lassoudière, 2007). Sur le plan du commerce mondial des fruits, la banane dessert occupe la première place en chiffres d'affaires due à l'exportation (Lassoudière, 2012). Quant au plantain, il constitue l'un des aliments de base de beaucoup de populations d'Afrique centrale et occidentale (Lescot et Ganry, 2010 ; Loeillet et al., 2010). En Côte d'Ivoire, la production de banane dessert a été estimée à 244 000 tonnes en 2010 et le pays est considéré comme étant le premier fournisseur africain de banane dessert (Grande Naine et William, sous-groupe Cavendish, groupe génomique AAA) sur le marché de l'Union européenne (FAOstat, 2011). En outre, la banane est le premier fruit frais d'exportation de la Côte d'Ivoire (environ 95 % de sa production). Cependant, comme toute plante

cultivée, le bananier est confronté à de multiples contraintes incluant des maladies fongiques (Carlier et al., 2002 ; Zandjanakou-Tachin et al., 2013), des maladies bactériennes comme le flétrissement dû à *Xanthomonas* (Tripathi et al., 2009) ainsi que des maladies virales (Kumar et al., 2014). Parmi celles-ci, le genre *Mycosphaerella* responsable des cercosporioses est le champignon le plus redouté par les exploitants, car il s'attaque aux feuilles en détériorant l'aire foliaire, diminuant la capacité photosynthétique et affecte la croissance et le développement en occasionnant des pertes de rendements pouvant atteindre dans certains cas plus de 50 % (Mourichon et al., 1997 ; Carlier et al., 2002). Les espèces mises en causes sont *Mycosphaerella fijiensis* Morelet et *Mycosphaerella musicola* Leach ex Mulder, responsables respectivement de la maladie des raies noires (MRN) ou cercosporiose noire et de la maladie de Sigatoka (MS) ou cercosporiose jaune (Zapater et al., 2008). En Côte d'Ivoire, selon Jones (2003), la cercosporiose jaune a été découverte pour la

première fois en 1959 et la cercosporiose noire en 1985. La cercosporiose noire constitue une menace importante pour la culture bananière ivoirienne (Essis et al., 2016 ; Koné et al., 2006). Aujourd'hui, à cause des dégâts importants causés, l'augmentation des coûts de production, la réduction des zones productives et des revenus des producteurs, la gestion de cette maladie reste une préoccupation majeure pour les exploitants. En vue de limiter les pertes significatives occasionnées par ces maladies fongiques, la gestion intégrée incluant la récolte sanitaire et l'utilisation rationnelle ou raisonnée des substances agrochimiques demeure une des options durables (Lassoudière, 2012). Cependant, compte tenu de la forte diversité génétique de *Mycosphaerella* spp (Zandjanakou-Tachin et al., 2013), l'apparition de phénomène de résistance conduit à une recherche perpétuelle de substances

actives alternatives. L'objectif global de cette étude est donc d'évaluer l'efficacité biologique au champ du Fluopyram dans la gestion des Cercosporioses du bananier. C'est une nouvelle substance active de la famille des Pyridinyl-ethyl-benzamides possédant des propriétés uniques de biodisponibilité (EFSA, 2013). Les objectifs spécifiques se déclinent sous trois axes (i) Déterminer l'efficacité du fongicide VERANGO 500 SC (m.a.=Fluopyram), utilisé selon trois formulations différentes (Fluopyram + Emulsifiant + Eau; Fluopyram + Huile + Emulsifiant + Eau; Fluopyram + Huile + Eau), (ii) Comparer l'efficacité de VERANGO 500 SC à celle du produit de référence SICO 250 EC (m.a.= Difenoconazole) dans les mêmes conditions, (iii) Déterminer les périodes d'efficacité biologique du fongicide VERANGO 500 SC au cours des stades phénologiques du bananier.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude : Les essais ont été réalisés à Agboville, précisément à la station d'expérimentation agronomique ARHOS d'une superficie de 7 ha, située à 70 Km d'Abidjan sur l'axe Agboville-N'douci. Le climat d'Agboville est de type tropical humide avec quatre saisons : deux saisons des pluies dont une grande d'avril à juin et une petite de septembre-novembre et deux saisons sèches de décembre à mars et de juillet à août. Le site d'expérimentation dispose d'une station météo qui enregistre quotidiennement la pluviométrie et la température.

Matériel végétal : La variété de bananiers Grande Naine (Cavendish, sous-groupe AAA) a servi de matériel végétal. Cette variété est très sensible à la maladie des raies noires (Abo, 1994), cultivée par la Société d'Étude et de Développement de la Culture Bananière (SCB). Ce cultivar est issu de vitroplants produits au laboratoire de culture *in-vitro* de ladite société SCB. Cette collection de vitroplants est un ensemble d'environ 1 800 génotypes de ladite variété, conservés ou employés dans la production du matériel végétal.

Dispositif expérimental : Le dispositif est en blocs de Fisher randomisés avec sept objets et trois répétitions (Figure 1). Chaque parcelle élémentaire comporte six

bananiers qui sont traités, mais les observations portent sur quatre bananiers compte tenu des effets de bordure. Il y a donc 12 bananiers à observer sur 18 à traiter par objet. Les parcelles élémentaires sont séparées de deux rangées de bananiers non traités. Un plant exploite 4 m², c'est-à-dire 2 m sur la ligne et 2 m entre les lignes ; ce qui fait un total de 24 m² par parcelle élémentaire. Les blocs sont limités par des piquets et les bananiers observés sont numérotés et marqués. Le désherbage est chimique avec le Glyphosate et l'irrigation a été faite par microaspersion sous frondaison. La fertilisation a été réalisée avec le Chlorure de potassium + l'urée et le phosphate potassique + l'urée tous les mois en alternance. Les applications ont été effectuées avec un atomiseur sur le feuillage et le tronc des bananiers. Les traitements ont été réalisés 3 mois après la mise en place des parcelles. Un jour avant le premier traitement, une observation (observation avant traitement) a été faite pour voir le niveau d'infestation de la plantation, c'est le temps t-1. L'intervalle de temps entre deux traitements est de 14 jours. L'ordre de mélange des constituants de la bouillie est le suivant : huile + émulsifiant + produit + eau. La préparation des volumes de bouillie est résumée dans le tableau 1.

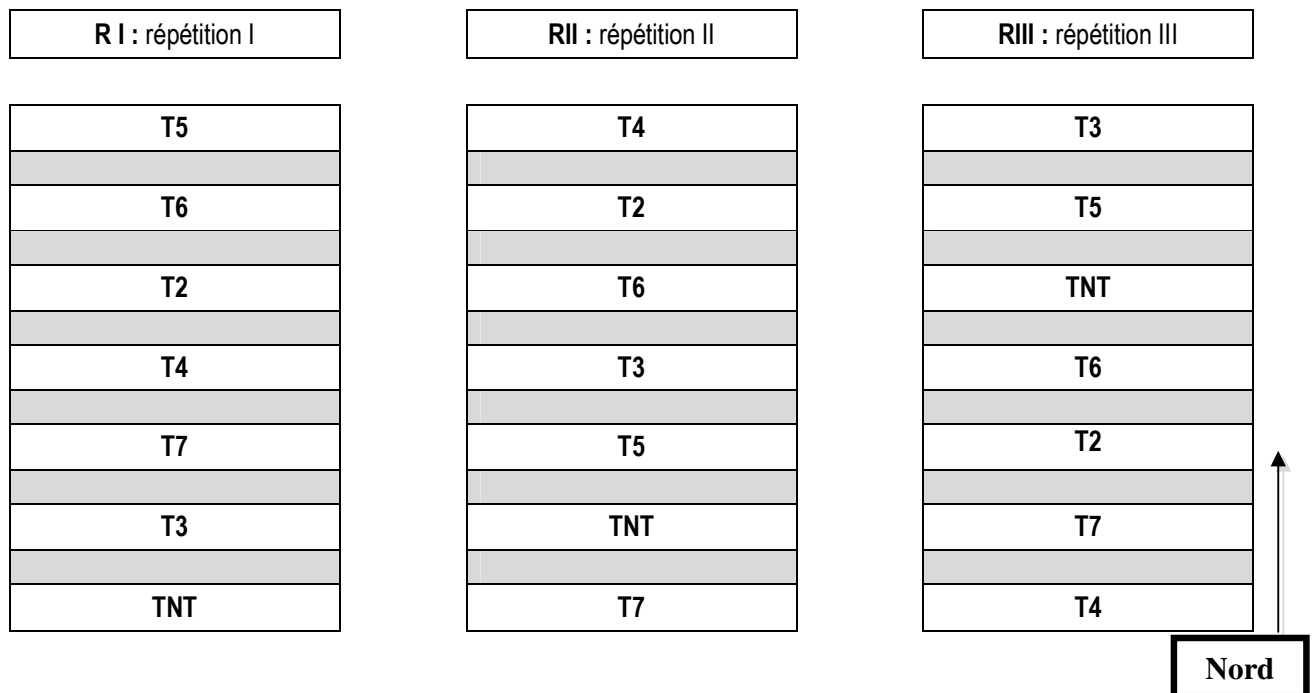


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental (Blocs de Fisher randomisés)

Tableau 1 : Code des traitements et composition des bouillies de fongicides

N°	PRODUIT	MA	DENS	FORM	CONC	DOSE			SOLUTION FINALE	
						KG-L/HA	G MA/HA	G-CC/PE	SM	CC EAU
T1	TNT								20 +	60
T2	VERANGO 5 émulsifiant eau	Fluopyram 500 g/l	1,2	SC	500	0,200	100	0,48000	20 +	0,6cc émulsifiant + 39,4 cc eau
T3	SICO 250 EC émulsifiant eau	Difenoconazole 250 g/l	1	EC	250	0,400	100	0,96000	20 +	0,6cc émulsifiant+ 39,4 cc eau
T4	VERANGO 5 Huile émulsifiant eau	Fluopyram 500 g/l	1,2	SC	500	0,200	100	0,48000	20 +	8 litres par hectare 0,1 % du volume de la bouillie 19,2 cc huile + 0,6 cc émulsifiant + 20,2 cc eau
T5	SICO 250 EC Huile émulsifiant eau	Difenoconazole 250 g/l	1	EC	250	0,400	100	0,96000	20 +	8 litres par hectare 0,1 % du volume de la bouillie 19,2 cc huile + 0,6 cc émulsifiant + 20,2 cc eau
T6	VERANGO 5 Huile eau	Fluopyram 500 g/l	1,2	SC	500	0,200	100	0,48000	20 +	8 litres par hectare 19,2 cc huile + 20,8 cc eau
T7	SICO 250 EC Huile eau	Difenoconazole 250 g/l	1	EC	250	0,400	100	0,96000	20 +	8 litres par hectare 19,2 cc huile + 20,8 cc eau

FORM : Formulation

KG-L/HA : Kilogramme litre par hectare

DENS : Densité
CONC : Concentration

G-MA/HA : Gramme matière active par hectare
G-CC/PE : Gramme centimètre cube par parcelle élémentaire

Paramètres observés

Paramètres de croissance : Chez le bananier il existe plusieurs paramètres de croissance. On pourra citer entre autres le nombre de feuilles vivantes (NFV), le nombre de feuilles émises (NFE), la hauteur du pied mère (HPM), la circonférence du pseudo-tronc à 10 cm (C 10), le rythme d'émission foliaire (REF) etc. Parmi tous ces paramètres de croissance, il a été retenu le rythme d'émission foliaire car il permet d'établir une relation entre la croissance des plants et l'évolution de la maladie. Il intervient aussi dans le calcul de l'état d'évolution de la maladie.

Paramètres épidémiologiques : Ces paramètres nous renseignent sur la sévérité des cercosporioses au champ. Il faut d'abord considérer la plantation dans son ensemble et y rechercher les foyers très atteints ainsi que les zones à risque. Dans les carrés correspondants, des postes d'observation ont été établis et il est préférable de multiplier les postes plutôt que d'augmenter le nombre de bananiers pour chacun. Chaque poste d'observation doit prendre naissance sur le bord de la piste d'accès et être signalé afin qu'un observateur étranger puisse avoir la possibilité de reprendre le travail d'un observateur permanent sans difficulté (Kermarrec, 1990). Les observations sont hebdomadaires (car le bananier émet au moins une feuille par semaine) et portent, sur les relevés suivants :

- dénombrement des feuilles y compris le stade « Cigare » qui en comporte 5 : ce sont les stades (0, 2, 4, 6, et 8) définis en fonction du degré d'ouverture du cigare ;
 - le stade le plus évolué de la maladie sur chacune des jeunes feuilles de rang (II, III, IV, V et VI) selon l'échelle de Brun (1963) qui comporte 5 stades ;
 - les plus jeunes feuilles avec des lésions au stade tirets (**PJFT**) (stades 1, 2, 3 confondus) ;
- Il s'agit du rang de la plus jeune feuille à tiret ; c'est-à-dire la première feuille à partir du cigare, qui porte le premier stade visible de la maladie (Orjeda, 1998).
- les plus jeunes feuilles portant des lésions nécrotiques suite aux attaques de *Mycosphaerella* spp (**PJFN**) (stade 4 et 5 confondus). En comptant du haut vers le bas, il s'agit de la première feuille entièrement déployée qui présente au moins 10 lésions nécrotiques matures distinctes ou une grande zone nécrotique contenant au moins 10 centres desséchés de couleur claire (Orjeda, 1998). Cette variable est évaluée sur les feuilles II, III, IV, V, VI, en se référant au stade le plus évolué de la maladie. Ces relevés permettent d'estimer les paramètres

qui entrent dans le calcul de l'état d'évolution (**EE**) des cercosporioses selon la formule de Ganry et Meyer (1972a,b et 1973).

Calcul de l'état d'évolution de la maladie : Les différents paramètres qui entrent dans le calcul de l'état d'évolution de la maladie sont :

-le rythme d'émission foliaire (REF) : correspond au nombre de feuilles émises par semaine. Il doit être calculé régulièrement pour chaque plant évalué et chaque plant de référence, de trois mois après la date de plantation jusqu'à l'émergence du régime (émission de l'inflorescence) (Orjeda, 1998). Au cours de l'expérimentation, le stade cigare a été indiqué par les chiffres 0, 2, 4, 6, 8 ou les lettres A, B, C, D, E qui sont les 5 stades de référence. Le nombre de jours entre deux observations est **N = 7** ;

- Correction par le REF (REFi) : Pour les bananiers observés, $REF_i = \frac{SREF}{N}$

On utilise REF_c pour la correction et

$$REF_c = \frac{REF_{semaine\ précédente} + REF_i}{2}$$

- Somme brute de la maladie (SB) : En se servant de la fiche de notation, on compte le nombre de bananiers atteints de cercosporiose. Les feuilles de même rang et du même stade de maladie sont additionnées et le nombre obtenu est multiplié par leur coefficient de base respectif. Les différentes valeurs obtenues sont additionnées et forment la somme brute de la maladie :

$$SB = \sum(\text{Nombre de bananiers} \times \text{coefficient});$$

- Correctif d'évolution par le stade cigare (SCE) : Pour chaque bananier, on compte le nombre de feuilles portant du *Cercospora*. On multiplie le chiffre par le stade cigare du jour et on porte la valeur obtenue dans la colonne **CE** de la fiche de notation. Ensuite, on fait la somme de toutes les valeurs obtenues qu'on multiplie systématiquement par 2, ce qui correspond à la

$$SCE : SCE = \sum CE \times 2$$

A partir de tous ces paramètres, le calcul de l'état d'évolution de la maladie (EE) s'effectue selon la formule suivante :

$$EE = (SB - SCE) * REF_c \text{ avec}$$

(SB - SCE) = SEV = Sévérité de la maladie

Analyses statistiques des données : Pour les analyses statistiques des données, le tableur Microsoft Office Excel 2007, des logiciels **SPSS** (Statistical Package for Social Sciences) **version 17.0** et **XLSTAT 2010 version 11.4.05**. ont été utilisés. Ces analyses porteront sur une ANOVA à

un facteur suivies d'un test de comparaison des moyennes des différents traitements en fonction de l'état d'évolution de la maladie, en cas de différence significative. C'est le test de Student Newman-Keuls au seuil de 5 %. En outre, une régression linéaire simple pour exprimer la cinétique de la maladie dans les différents traitements sera également effectuée ainsi qu'une analyse en composante principale (**ACP**) qui permet de structurer l'ensemble des variables et de déceler celles qui expliquent une part importante de la variabilité totale observée.

RESULTATS

Paramètre de croissance :

Rythme d'émission foliaire (REF) Il s'agit de savoir si les traitements ont une influence sur le REF (figure 2). L'évolution du REF montre une baisse générale à quelque niveau que se soit. En effet, jusqu'à la quatrième semaine (**S1 à S4**), le rythme d'émission foliaire est presque stable, constant sur toutes les parcelles quelque soit le traitement appliqué avec une valeur moyenne de 0,57. De la quatrième semaine jusqu'à la huitième (**S4 à S8**), il y a une chute significative du REF quelque soit le

traitement appliqué et on tend vers une moyenne de 0,30. Après la huitième semaine, le REF recommence à augmenter avec le même comportement d'oscillation presque sur les différentes parcelles sauf qu'au T2, il évolue un peu plus vite et tend vers une moyenne de 0,46 (figure 2). Aucune différence significative ($p=0,994$) n'a été mise en évidence. Donc au risque de 5 %, les traitements n'ont aucune influence significative sur le REF.

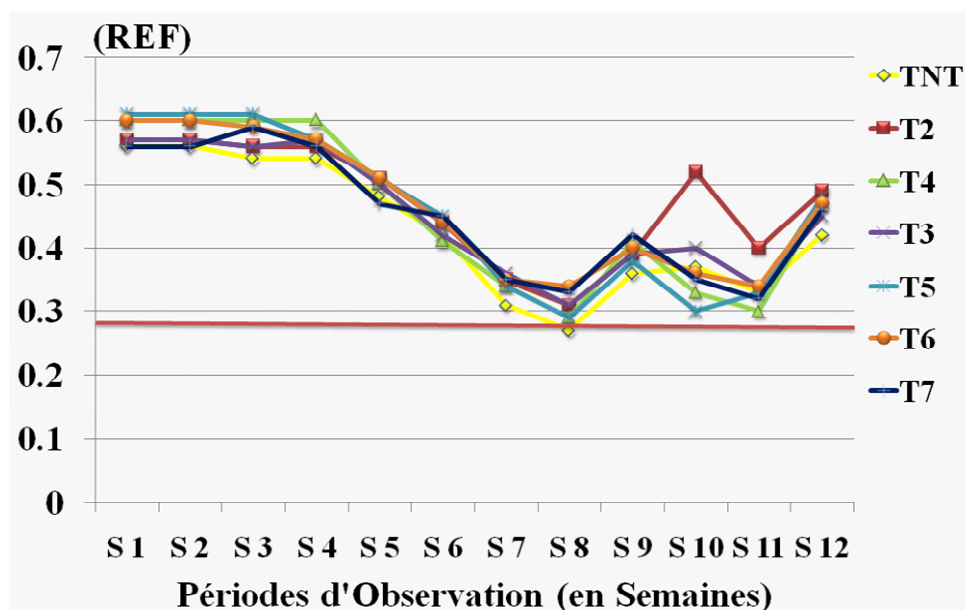


Figure 2 : Évolution du REF en fonction des traitements

Paramètres épidémiologiques : Il s'agit de connaître le rang de la plus jeune feuille portant des taches ou des

nécroses en fonction des traitements, d'apprécier l'état d'évolution et la cinétique de progression de la maladie.

Plus jeunes feuilles PJFT, PJFN : Aucune différence statistiquement significative n'a été révélée par l'analyse de variance entre les traitements pour ce qui concerne la variable PJFN, ce qui n'est pas le cas pour la variable PJFT. Le test de Student Newman-Keuls au seuil de 5 %

a montré que pour la variable PJFT, on a deux groupes homogènes de moyennes constitués respectivement des traitements T4, T5, T7, T3, T6, T2 d'une part et T3, T6, T2, TNT d'autre part (Tableau 2).

Tableau 2 : Test de Student Newman-Keuls pour les variables PJFT et PJFN

Traitements	PJFT	PJFN
T4	5 ^a	5 ^a
T5	5 ^a	5 ^a
T7	5 ^a	5 ^a
T3	4 ^{ab}	5 ^a
T6	4 ^{ab}	5 ^a
T2	4 ^{ab}	5 ^a
TNT	3 ^b	5 ^a

Dans chaque colonne, les moyennes affectées d'une même lettre sont identiques statistiquement d'après le test de Student Newman Keuls au seuil de 5 %.

Les extrêmes sont constitués par les traitements T4, T5, T7 et TNT qui ont pour sous-groupe intermédiaire les traitements T3, T6 et T2. Les premiers tirets apparaissent sur les feuilles de rang 5 pour les traitements T4, T5 et T7 et sur les feuilles de rang 3 pour le témoin non traité. En outre, pour les traitements T6, T2 et T3 ces tirets sont sur les feuilles intermédiaires de rang 4. Par contre les

nécroses apparaissent dans tous les traitements à partir des feuilles de rang 5 (Tableau 2).

Évolution de la maladie après traitement au Fluopyram + Emulsifiant + Eau : L'état d'évolution et la cinétique de progression de la maladie rendent compte du niveau d'infestation de chaque parcelle traitée.

État d'évolution de la maladie :

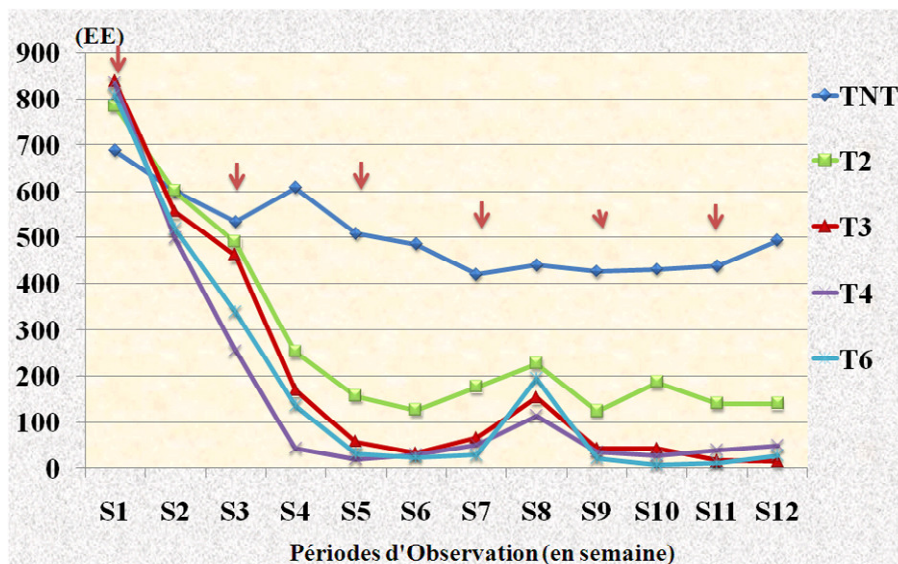


Figure 3 : Évolution de l'indice (EE) dans la parcelle traitée au Fluopyram + Emulsifiant + Eau

Les résultats sont présentés à la figure 3. Les flèches rouges descendantes indiquent les périodes de traitement. A la première observation **S1** (avant traitement), toutes les parcelles ont un indice **EE** élevé. Après traitements, le niveau global d'infestation diminue. Par contre, le niveau d'infestation de la parcelle témoin reste largement au dessus de celui des parcelles traitées. En effet, jusqu'à la sixième semaine, au niveau des parcelles traitées, il y a une baisse considérable de l'indice EE jusqu'à la note 61. A la huitième semaine, il y a une brusque augmentation du niveau de maladie formant un pic moyen de 155. A partir de la neuvième

semaine, les traitements T4, T6 et T3 tendent à se rapprocher vers une valeur d'équilibre de 67 (Figure 3). L'ANOVA indique une différence hautement significative ($p=0,004$). Le test de comparaison des moyennes de Student Newman-Keuls confirme que le témoin non traité demeure très infesté suivi du traitement **T2** (Fluopyram + émulsifiant + eau). Les parcelles où la maladie semble mieux contrôlée sont celles traitées respectivement au **T4** (Fluopyram + émulsifiant + huile + eau), **T6** (Fluopyram + huile + eau) et **T3** (Difenoconazole + émulsifiant + eau). Il n'existe pas de différence significative entre **T4**, **T6** et **T3** (Tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison des moyennes de Student Newman-Keuls avec un intervalle de confiance de 95 %

Traitements	Intervalle de confiance des moyennes	Statistique descriptive		
		Minimum	Maximum	Écart type
TNT	505,37 \mp 24,97 ^a	419,7	687,04	24,97
T2	283,67 \mp 63,05 ^{ab}	124,74	784,16	63,05
T3	203,15 \mp 77,27 ^b	14	837,24	77,27
T6	178,60 \mp 73,50 ^b	6,9	807,88	73,50
T4	166,32 \mp 72,89 ^b	18,96	833,96	72,89

Les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 %.

Cinétique de progression de la maladie : Tendence linéaire $Y = aX + b$

La position de chaque droite caractéristique dans le plan, la comparaison simultanée des pentes (**a**) et des coefficients de détermination **R²** des différents traitements : **T_i** (**a** ; **R²**) confirment les résultats des tests

statistiques. Le témoin a une pente plus grande que les parcelles traitées avec un $R^2 = 64,5 \%$, qui est la part de l'indice EE qu'il explique. Le traitement qui contrôle mieux la maladie est le T4 avec une pente de -49,26 et avec la plus petite part de l'indice EE, c'est-à-dire 49,5 %, suivi de T6 (figure 4).

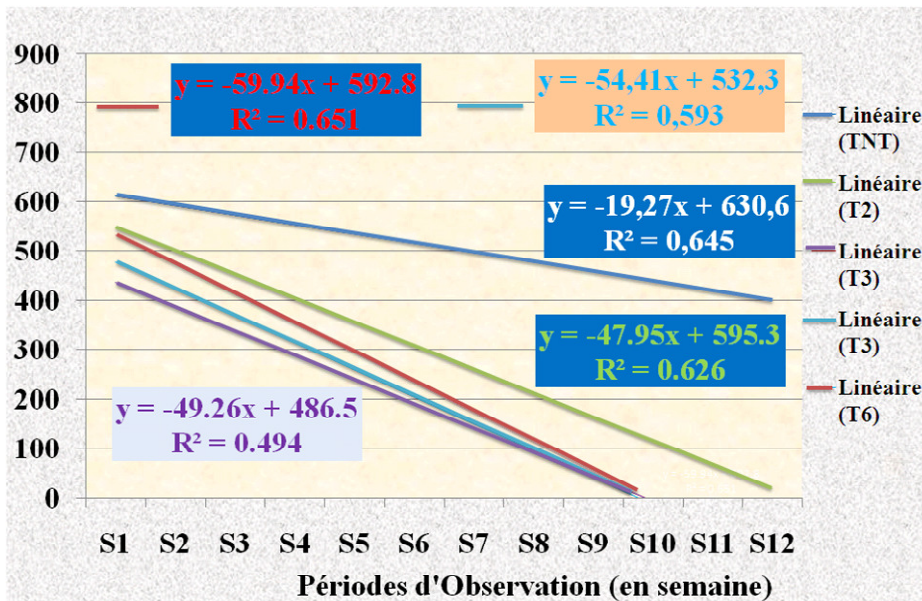


Figure 4 : Traitement au Fluopyram +Emulsifiant+Eau : tendance linéaire

Évolution de la maladie après traitement au Fluopyram + Huile + Emulsifiant + Eau

État d'évolution de la maladie : Le témoin non traité présente un haut niveau d'infestation par rapport aux parcelles traitées. Les parcelles traitées contrôlent la maladie sur toute la période de traitement. Ainsi, dans la période S1-S7, le niveau de maladie décroît très considérablement pour les traitements T4, T6 et T5 en

tendant vers une moyenne d'environ 30, suivis du traitement T2. A la huitième semaine (S8), le niveau de la maladie augmente légèrement pour tous les traitements. A partir de la neuvième semaine (S9), les traitements T4, T5 et T6 montrent leur efficacité en réduisant constamment le niveau de la maladie (Figure 5). D'après la table de l'ANOVA, il y a une différence hautement significative entre les traitements ($p < 1\%$).

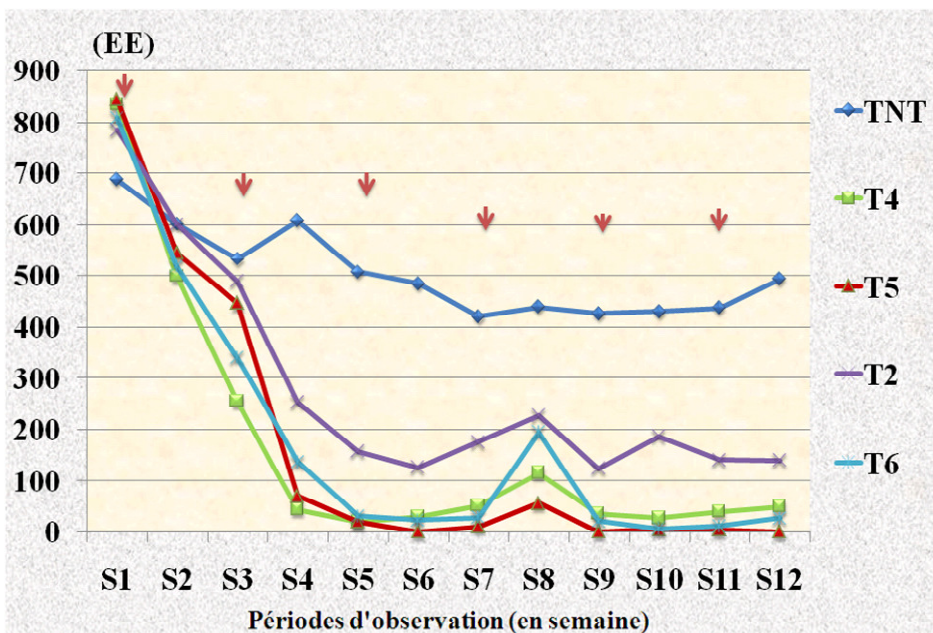


Figure 5 : Évolution de l'indice (EE) dans la parcelle traitée au Fluopyram+ Huile +Emulsifiant+ Eau

Le test de Student Newman-Keuls indique que la parcelle témoin est la plus attaquée. Par contre, les parcelles traitées présentent un meilleur contrôle de la maladie. Il n'y a aucune différence significative entre Fluopyram +

Huile + Emulsifiant + Eau (T4), Fluopyram + Huile + Eau (T6) et Difenconazole + Huile + Emulsifiant + Eau (T5) au seuil de 5 % (Tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison des moyennes de Student Newman-Keuls avec un intervalle de confiance de 95 %

Traitements	Intervalle de confiance des moyennes	Statistique descriptive		
		Minimum	Maximum	Écart type
TNT	505,37 ± 24,97 ^a	419,7	687,04	24,97
T2	283,67 ± 63,05 ^{ab}	124,74	784,16	63,05
T6	178,60 ± 73,50 ^b	6,9	807,88	73,50
T5	166,34 ± 81,80 ^b	00	843,92	81,80
T4	166,32 ± 72,89 ^b	18,96	833,96	72,89

Les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 %.

Cinétique de progression de la maladie : Tendance linéaire Y= aX+b

Le témoin a toujours une pente plus grande que les parcelles traitées. La position de chaque droite caractéristique dans le plan, les pentes (a) et les coefficients de détermination R² confirment les résultats

de l'ANOVA et du test de Student Newman Keuls. Le traitement T4 a le plus petit coefficient de détermination 49,89 %, suivi respectivement des T5 (-61,03 ; 60,33 %), T6 (-54,41 ; 59,37), T2 (-47,95 ; 62,67) et TNT (-19,27 ; 64,53). Ces informations sont illustrées dans la figure 6.

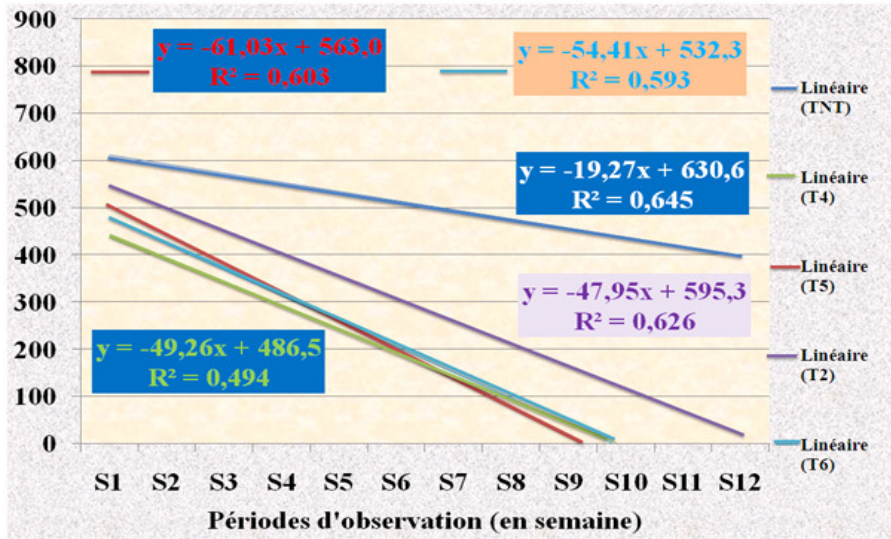


Figure 6 : Traitement au Fluopyram + Huile + Emulsifiant + Eau : tendance linéaire

Évolution de la maladie après traitement au Fluopyram + Huile + Eau : Les résultats sont identiques aux précédents toujours avec le témoin ayant un haut

niveau d'infestation par rapport aux parcelles traitées qui contrôlent mieux la maladie (Figure 7).

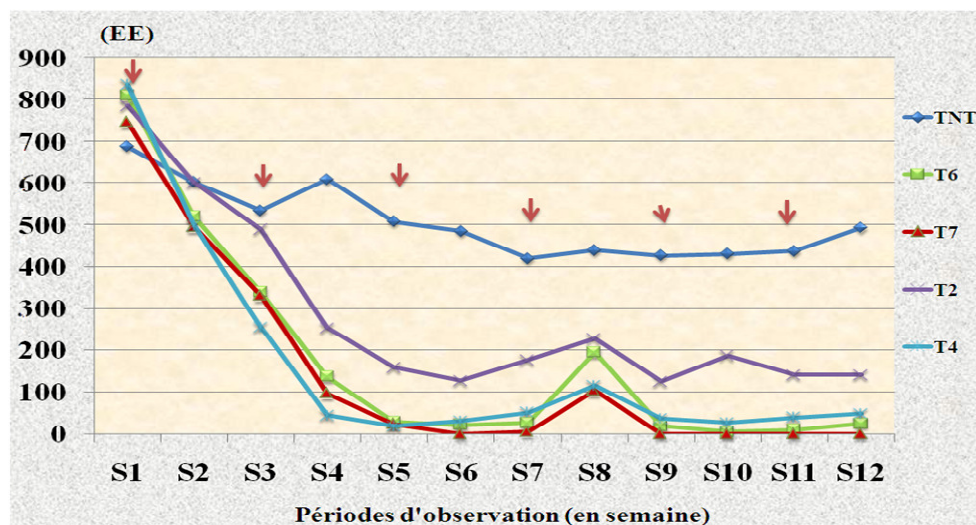


Figure 7 : Évolution de l'indice (EE) dans la parcelle traitée au Fluopyram + Huile + Eau

Les parcelles traitées au Difenoconazole + huile + eau, Fluopyram + huile + eau et au Fluopyram + huile + émulsifiant + eau contrôlent mieux la maladie que celle traitée au Fluopyram + eau + émulsifiant sans huile. Ces

résultats seront confirmés par l'ANOVA qui montre une différence hautement significative entre les traitements ($p=0,001$) et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5 % (Tableau 6).

Tableau 6 : Comparaison des moyennes de Student Newman-Keuls avec un intervalle de confiance de 95 %

Traitements	Intervalle de confiance des moyennes	Statistique descriptive		
		Minimum	Maximum	Écart type
TNT	505,37 \mp 24,97 ^a	419,7	687,04	24,97
T2	283,67 \mp 63,05 ^{ab}	124,74	784,16	63,05
T6	178,60 \mp 73,50 ^b	6,9	807,88	73,50
T4	166,32 \mp 72,89 ^b	18,96	833,96	72,89
T7	149,989 \mp 70,78 ^b	00	745,44	70,78

Les moyennes affectées d'une même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 %.

Il n'y a pas de différence significative entre T7, T4 et T6 au seuil de 5 %. Ces trois traitements contrôlent mieux la maladie.

expliquée par les composantes principales majeures et la structuration des variables initiales font respectivement l'objet du tableau 7 et de la figure 8.

Structuration des paramètres de croissance et épidémiologiques : La part de la variabilité totale

Tableau 7 : Valeurs propres et variances expliquées des axes principaux

Composantes	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Valeurs propres	4,322	0,669	0,009	0,001

Variances (%)	86,440	13,375	0,175	0,010
Variances cumulées	86,440	99,815	99,990	100,000

Les résultats de l'ACP ont montré que les deux premières composantes principales expliquent l'essentiel de la variabilité révélée par les cinq variables initiales. Ces

axes expriment 99,81 % de la variabilité totale observée (Tableau 7). Le tableau 8 présente les coordonnées des variables et leurs corrélations avec les facteurs.

Tableau 8 : Coordonnées des variables et leurs corrélations avec les facteurs

Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
SB	0,997	0,072	-0,020	-0,010
SCE	0,952	0,295	0,075	0,002
REF	-0,659	0,752	-0,021	-0,001
SEV	0,998	0,052	-0,028	-0,010
EE	0,995	0,092	-0,038	0,018

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Ces variables prédictives représentées sur les axes 1 et 2 expriment à eux seuls environ 99,81% de cette variabilité (Figure 8).

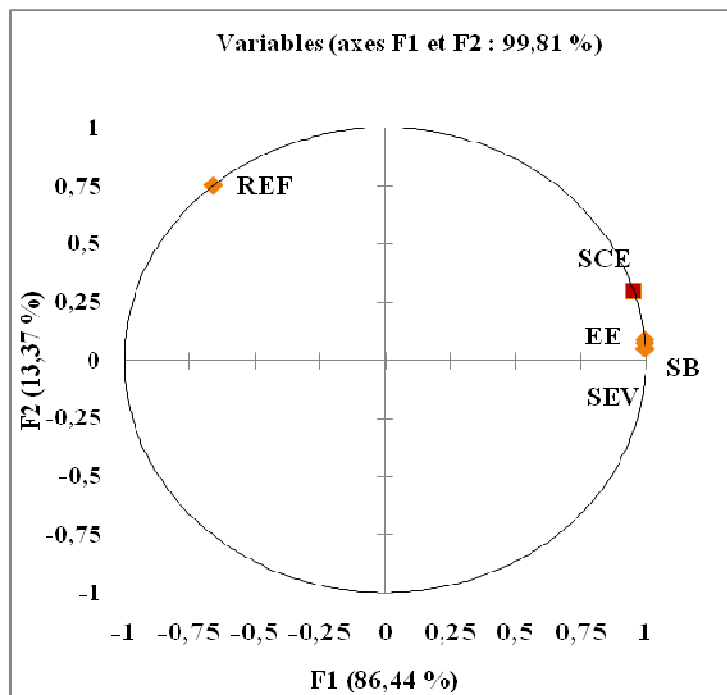


Figure 8 : Représentation des variables de croissance et épidémiologiques suivant les axes majeurs de l'ACP

Ce graphique révèle trois groupes de variables assez distincts. L'état d'évolution (EE), la somme brute (SB) et la sévérité (SEV) de la maladie ont contribué respectivement à 22,90 %, 23,00 % et 23,05 % à la

formation de l'axe F1. Cet axe majeur constituerait un excellent indicateur du niveau d'infestation de la plantation. Ce sont des paramètres purement épidémiologiques. Le correctif d'évolution SCE

constituant le second groupe exprime 20,99 % de la variabilité de l'axe F1. Il serait un indice de la stabilité du niveau d'infestation. C'est un paramètre de correction par le stade cigare. Le rythme d'émission foliaire (**REF**), axé sur la deuxième composante principale F2 dont il exprime 84,54 % de la variabilité représente la variable du troisième groupe ayant trait à la croissance des bananiers

par l'émission des feuilles. C'est un paramètre de croissance. Pour mieux expliquer les corrélations et les positions des différentes variables sur le cercle de corrélation, outre les coordonnées des variables et leur corrélation avec les facteurs (tableau 8) la matrice de corrélation de Pearson est présentée au tableau 9.

Tableau 9 : Matrice de corrélation de Pearson (n) des variables étudiées

Variables	SB	SCE	REF	SEV	EE
SB	1	0,969	-0,603	1,000	0,999
SCE	0,969	1	-0,407	0,964	0,972
REF	-0,603	-0,407	1	-0,618	-0,586
SEV	1,000	0,964	-0,618	1	0,999
EE	0,999	0,972	-0,586	0,999	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

A partir donc de la matrice de corrélation, en considérant les coefficients a_{ij} , on déduit qu'il y a une parfaite corrélation positive entre la somme brute (**SB**), la sévérité (**SEV**) et l'état d'évolution de la maladie (**EE**) d'une part, et une forte corrélation positive entre ces trois variables et la somme des correctifs d'évolution par le stade cigare

DISCUSSIONS

Paramètre de croissance : Rythme d'émission foliaire (REF) : Les traitements semblent ne pas avoir d'effet sur le REF. L'aspect global des courbes nous présente trois phases : une phase constante, une phase de chute et une phase de reprise. En effet, pendant la première phase, il y a eu chute des précipitations (de 126 mm à 26 mm). Cette valeur est insuffisante pour couvrir les besoins physiologiques des bananiers. Pendant la seconde phase, cette chute s'est accentuée. Enfin, à la troisième phase, de fortes pluies ont secoué les bananiers qui ont vu leurs REF augmenter à nouveau. Ces résultats sont en accord avec ceux de Hoarau et Huet (2002) qui remarquaient que le rythme d'émission foliaire est stable au cours du temps quel que soit le traitement appliqué aux différents plants. A cet effet, ils ajoutaient que le nombre total de feuilles émises par les bananiers des différents traitements est alors de 30 en moyenne.

Paramètres épidémiologiques : Les traitements n'ont pas d'impact sur les PJFN, contrairement aux PJFT. Cela peut s'expliquer par la forte pression exercée par l'inoculum présent qui a affecté les plantes dans tous les traitements. On déduit que le fongicide, quelque soit ses différentes préparations a le même effet sur la sévérité de la maladie en ce qui concerne les PJFN, tandis qu'il

(**SCE**) qui sont toutes corrélées avec la première composante principale (axe 1) (Tableaux 7 et 8). C'est pourquoi, ces trois variables sont très rapprochées, voire confondues sur le cercle de corrélation et de plus elles sont rapprochées de la **SCE**.

retarde l'apparition des premiers stades de la maladie. C'est pourquoi on observe les premiers stades de la maladie (tirets) sur les feuilles de rang 4 et 5 pour les parcelles traitées contrairement au témoin non traité qui présente des tirets déjà aux feuilles de rang 3. A partir de ces données, nous pouvons dire que les traitements T4, T5 et T7 prolongent considérablement la période d'incubation de *Mycosphaerella* spp, car avec eux, les premiers symptômes (tirets) apparaissent sur les feuilles de rang 5. Cet élément révèle un caractère d'efficacité de ces traitements. Ces résultats confirment ceux de Gómez et al., 2003 qui ont indiqué qu'il n'y a aucune différence significative entre les traitements en ce qui concerne la variable PJFN. En effet, ils ont montré que les PJFN dans le cas des cercosporioses se situent au rang 5. Cependant, contrairement à notre essai où la différence est significative entre les traitements en ce qui concerne la variable PJFT, ils n'ont indiqué aucune différence significative. Cela s'explique par le fait qu'ils ont utilisé des traitements constitués essentiellement de coupes jointes à une fertilisation optimum d'une part et ensuite de la combinaison de ces pratiques avec l'application de fongicides de contact et systémiques (Mancozèbe SC et de Propiconazole EC). La coupe bien faite des feuilles ou des fragments de feuilles sur lesquels la maladie est au

stade 4 et plus permet de réduire considérablement le développement de la maladie (Lassoudière, 2007). C'est pourquoi, ils ont obtenu des PJFT au rang (4 ou 5) même avec le témoin non traité. L'effet de contrôle des produits appliqués peut être distingué par la diminution du nombre des oscillations des valeurs de l'état d'évolution sur les graphes et par l'amplitude de ces fluctuations pour chacun de ces traitements. On a une note d'efficacité en fonction de la préparation de la bouillie. Pour le traitement au **Fluopyram + Emulsifiant + Eau**, après une chute considérable de l'indice EE, les oscillations commencent à se rapprocher surtout à partir de la sixième semaine. Ce résultat signifierait que l'émulsifiant, certes a permis de renforcer l'efficacité du produit, mais son effet est limité dans le temps lorsqu'il est utilisé avec de l'eau seulement.

Pour les traitements au **Fluopyram + Huile + Eau** et **Fluopyram + Huile + Emulsifiant + Eau**, on obtient un meilleur contrôle de la maladie. En effet, on a une faible fréquence des oscillations avec un seul pic à la huitième semaine. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que d'abord, l'huile a un effet fongistatique et agit à l'intérieur des tissus en bloquant la germination des ascospores (Kerमारrec, 1990). Elle interrompt également la pénétration des filaments germinatifs ainsi que la formation des premiers stades de la maladie et retarde le processus de l'infection en prolongeant la période d'incubation du parasite. Ensuite, lorsqu'on ajoute l'émulsifiant à l'huile, on a un effet combiné du produit, de l'huile (fongistatique) et de l'émulsifiant. L'émulsifiant va permettre un excellent mélange du produit et de l'huile et leur répartition homogène sur la surface foliaire. Hoarau et Huet (2002) ont également montré que le traitement (huile + fongicide) a un effet très important sur l'état sanitaire des plants mais n'augmente pas le rendement final. Dans chaque cas de figure, en comparant simultanément et la pente (**a**) et le coefficient de détermination (**R²**) des différentes droites d'équation (**Y= aX+b**), caractérisant la cinétique de la maladie (indices EE) en fonction des différents traitements, on a une différence significative entre les traitements. L'analyse

CONCLUSION

Les trois formulations de bouillie du produit testé (Fluopyram) se sont largement distinguées du témoin non traité et ont permis de baisser considérablement le niveau de la maladie. Ces résultats traduisent leur efficacité. Cependant, la formulation Fluopyram + eau + émulsifiant devient plus efficace que lorsqu'on y ajoute de l'huile ou

montre que le témoin a toujours une forte pente par rapport aux parcelles traitées et un grand coefficient de détermination. Pour les parcelles traitées, les traitements au **Fluopyram + Huile + Eau** et **Fluopyram + Huile + Emulsifiant + Eau** ont des pentes et coefficients de détermination faibles par rapport à ceux de la parcelle traitée au **Fluopyram + Emulsifiant + Eau**. Ce phénomène s'observe sur leurs témoins de références respectifs. On a dans ces cas un meilleur contrôle de la maladie pour ces dernières variables explicatives (traitements). Cela signifierait que le niveau de la maladie baisse rapidement pour ces derniers traitements d'où une progression très lente du parasite. Ces résultats s'accordent avec ceux de Hoarau et Huet, 2002 qui montrent que pour la modalité «**huile + fongicide**», le développement du champignon reste faible, constant au cours du temps. Les feuilles sont peu ou pas nécrosées contrairement aux autres traitements. Seuls les premiers stades du champignon sont observés : stade 2 et 3. Les propriétés de l'huile et du fongicide ralentissent l'émission de spores dans la bananeraie et par conséquent l'apparition des nécroses. A toutes ces affirmations, nous ajoutons que dans les cas de préparation du produit testé avec l'huile + eau et avec l'huile + émulsifiant + eau, le produit peut assurer un bon contrôle des cercosporioses presque au même rythme que ses témoins de références respectifs. On pourra donc en tenir compte dans la fixation de son prix sur le marché.

Ainsi la parfaite corrélation positive entre les variables **SB**, **SEV**, **EE** et **SCE** signifierait que l'augmentation d'une unité de l'une d'entre elles entraîne l'augmentation des autres, de même que la diminution. En outre, l'analyse de la matrice de corrélation montre que le **REF** est corrélé négativement avec les autres variables. De plus, il est fortement corrélé avec la deuxième composante principale, c'est-à-dire l'axe 2. C'est ce qui justifie sa position dans le cercle de corrélation. Son augmentation entraîne donc la diminution du niveau d'infestation et inversement.

qu'on remplace l'émulsifiant par de l'huile, à cause de l'effet fongistatique de l'huile. Néanmoins, ce résultat doit s'intégrer dans une gestion intégrée contre les cercosporioses du bananier en incluant le traitement sur avertissement et la récolte sanitaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la société ARHOS pour le financement des travaux.

RÉFÉRENCES

- Abo K. 1994. Contribution à l'étude épidémiologique de *Mycosphaerella musicola* Leach ex -Mulder, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet et *Cladosporium musae* Mason, parasites foliaires des bananiers (*Musa spp*). Mémoire de DEA. Université Nationale de Côte d'Ivoire. Faculté des sciences et techniques, 68 p.
- Brun J. 1963. La cercosporiose du bananier en Guinée. Études présentées à la faculté des Sciences de l'Université de Paris, centre d'Orsay pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences. Paris, France. 196 p.
- Carlier J, De Waele D. et Escalant JV., 2002. Évaluation globale de la résistance des bananiers à la fusariose, aux maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp et aux nématodes. Guides techniques INIBAP N°7, 56 p.
- European Food Safety Authority (EFSA), 2013. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance fluopyram. **EFSA Journal** 11(4) : 3052.
- Essis B, Kobenan K, Traoré S, Yati J, Koné D, Aby N. et Thiémélé D.E.F., 2016. Pression d'inoculum de la maladie des raies noires (MRN) causée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, dans les plantations industrielles de bananiers, en Côte d'Ivoire. **European Scientific Journal** 12 (3) : 37-52.
- FAOstat. 2011. Banana statistics 2011. Disponible en ligne sur le site www.fao.org/economic/est/en.
- Ganry J. et Meyer JP., 1972a. La lutte contrôlée contre le *Cercospora* aux Antilles. Bases climatiques de l'avertissement. **Fruits** 27(10) : 665 - 676.
- Ganry J. et Meyer JP., 1972b. La lutte contrôlée contre le *Cercospora* aux Antilles. Techniques d'observation et de numération de la maladie. **Fruits** 27(11) : 767 - 774.
- Ganry J. et Meyer JP., 1973. 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.
- Gomez B. et Castano Z., 2003. Lutte intégrée contre les cercosporioses noire et jaune chez la variété de bananier plantain cv. Africa. **Info Musa** 10(2), 7 pp.
- Hoarau I. et Huet P., 2002. Lutte contre *Eumusa leaf spot* disease ou ELSD sur bananier. Bulletin d'Information des Producteurs N° 7, C.T.E.A. - Cultures Fruitières, 4 pp.
- Jones DR. 2003. The distribution and importance of the *Mycosphaerella* leaf spot disease of banana in *Mycosphaerella* leaf spot disease of bananas : present status and outlook. INIBAP. pp 25-41.
- Kermarrec D. 1990. L'avertissement Cercosporiose. Manuel du planteur, Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes (IRFA), 81 pp.
- Koné D, Kouadio JY, Traoré S, Kobenan K. et Aké S., 2006. Épidémiologie comparée de la cercosporiose noire et de la cladosporiose chez le bananier en côte d'ivoire. **Agronomie Africaine** 18 (2) : 175-185.
- Kumar PL, Selvarajan R, Iskra-Caruana M-L, Chabannes M. and Hanna R., 2014. Biology, etiology and control of virus diseases of banana and plantain. **Advances of Virus Research** 91:229-269. DOI : 10.1016/bs.avir.2014.10.006
- Lassois L, Busogoro JL. et Jijakli H., 2009. La banane : de son origine à sa commercialisation. **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement** 13(4) : 575-586.
- Lassoudière A. 2007. Le Bananier et sa culture. Edition Quae, France, 383p.
- Lassoudière A. 2012. Le bananier. Un siècle d'innovations techniques. Editions Quae, France 352p.
- Lescot T. and Ganry J., 2010. Plantain (*Musa spp.*) cultivation in Africa: a brief summary of developments over the previous two decades. Proceedings IC on Banana & Plantain in Africa. Eds T. Dubois et al. **Acta Horticulturae** 879:445-456.
- Loeillet D, Imbert E. and Sanchez C., 2010. Bananas : Africa forced to innovate. Proceedings of international conference on banana and plantain in Africa. **Acta Horticulturae** 879: 169-174.
- Mourichon X, Carlier J. et Fouré E., 1997. Les cercosporioses : maladie des raies noires (cercosporiose noire)-maladie de Sigatoka (cercosporiose jaune). Maladie de *Musa* : fiche technique N° 8. INIBAP, 4p.

- Orjeda G. 1998. Évaluation de la résistance des bananiers aux cercosporioses et à la fusariose. Guides techniques INIBAP, 62 pp.
- Tripathi L, Mwangi M, Abele S, Aritua V, Tushemereirwe WK. and Bandyopadhyay R., 2009. *Xanthomonas* wilt : A threat to banana production in East and Central Africa. **Plant Disease** 93(5) : 440-451.
- Zandjanakou-Tachin M, Ojiambo PS, Vroh-Bi I, Tenkouano A, Gumedzoe YM. and Bandyopadhyay R., 2013. Pathogenic variation of *Mycosphaerella* species infecting banana and plantain in Nigeria. **Plant Pathology** 62: 298-308.
- Zapater M-F, Abadie C, Pignolet L, Carlier J. and Mourichon X., 2008. Diagnosis of *Mycosphaerella* spp., responsible for *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas and plantains, through morphotaxonomic observations. **Fruits** 63(6) : 389-393. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2008039>.