



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2021-2022

N° D'ORDRE :

052/2022

CANDIDAT

Nom : JOSEPH

Prénom : Kouamé Kouassi
James

THESE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et foresterie tropicale
Spécialité : Phytopathologie

**Utilisation efficiente des fongicides dans la lutte contre
la maladie des raies noires du bananier (*Musa spp*) due
au champignon *Mycosphaerella fijiensis* Morelet dans
les bananeraies industrielles ivoiriennes**

JURY

Président : M. AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé

Directeur : Mme TRAORE-OUATTARA Karidia, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé

Co-Directeur : M. TRAORE Siaka, Maître de recherches, Centre National
de Recherche Agronomique

Rapporteur : M. CAMARA Brahima, Maitre de Conférences, Université
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY

Examineur : Mme YAPO Sopie Edwige Salomé, Maitre de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé

Examineur : SEKA Koutoua, Maitre de Conférences, Université Nangui
Abrogoua

Date de soutenance :

28/05/2022

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	vi
AVANT-PROPOS	vii
REMERCIEMENTS.....	viii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	x
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DE FIGURES.....	xv
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	6
1. GENERALITES SUR LE BANANIER	7
1.1. Origine du bananier	7
1.2. Classification des bananiers	7
1.3. Description du bananier	9
1.4. Distribution et diversité génétique chez le bananier	12
1.5. Exigences écologiques du bananier.....	13
1.5.1. Exigences climatiques	14
1.5.2. Exigences édaphiques	14
1.6. Importance socio-économique et alimentaire de la banane.....	15
1.7. Principales contraintes biotiques liées à la culture du bananier	19
2. GENERALITES SUR LA CERCOSPORIOSE NOIRE DU BANANIER.....	33
2.1 Origine et distribution de la cercosporiose noire du bananier.....	33
2.2 Systématique, biologie et génétique de <i>Mycosphaerella fijiensis</i>	34
2.3 Symptômes de la maladie des raies noires du bananier	36
2.4 Epidémiologie de la maladie des raies noires du bananier	37
2.4.1 Cycle infectieux de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> et développement de la cercosporiose.....	37
2.4.2 Action des facteurs biotiques et abiotiques sur l'épidémie	40
2.4.3 Interaction <i>Mycosphaerella fijiensis</i> -hôte	41

2.5	Méthodes de lutte contre la cercosporiose noire	42
2.5.1	Pratiques culturales	43
2.5.2	Lutte biologique contre la cercosporiose noire	43
2.5.3	Utilisation de variétés résistantes de bananiers contre la cercosporiose noire	44
2.5.4	Lutte chimique contre la cercosporiose noire	45
3.	GENERALITES SUR LES FONGICIDES	47
3.1	Définition et description des fongicides	47
3.1.1	Définition de fongicides	47
3.1.2	Description des fongicides	47
3.2	Mode d'application des fongicides	51
3.3	Phénomène de résistance de <i>Mycophaerella fijiensis</i> aux fongicides	51
3.3.1	Mécanismes de la résistance de <i>Mycophaerella fijiensis</i> aux fongicides	53
3.3.2	Evolution de la résistance de <i>Mycophaerella fijiensis</i> aux fongicides	53
3.3.3	Gestion de la résistance de <i>Mycophaerella fijiensis</i> aux fongicides	54
	DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	55
4.	ZONE D'ÉTUDE	56
4.1.	Région du Sud-Comoé	56
4.2.	Région de l'Agneby-Tiassa	57
4.3.	Région des Grands Ponts	58
4.4.	Région d'Abidjan ou District Autonome d'Abidjan	58
5.	MATERIEL	61
5.1.	Matériel végétal	61
5.2.	Matériel fongique	61
5.3.	Matériel chimique	61
5.4.	Matériel technique	62
6.	METHODES	63
6.1.	Evaluation des effets des facteurs environnementaux et du niveau d'entretien des plantations sur la vitesse d'évolution de la cercosporiose noire	63
6.1.1.	Evaluation de l'état sanitaire des bananiers dans les plantations	63

6.1.2.	Observation du mode d'organisation des équipes phytosanitaires et évaluation de la gestion des paramètres environnementaux dans les bananeraies industrielles.....	63
6.1.3.	Evaluation du niveau d'attaque ou pression d'inoculum et de l'état d'évolution de la cercosporiose noire.....	64
6.2.	Enquête sur les méthodes et régimes d'utilisation des fongicides.....	68
6.3.	Evaluation de la sensibilité des isolats de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> des plantations industrielles et des isolats sauvages aux matières actives fongicides	68
6.3.1.	Echantillonnage des feuilles de bananiers dans les plantations industrielles.....	68
6.3.2.	Echantillonnage des feuilles de bananiers dans les plantations villageoises.....	69
6.3.3.	Tests de sensibilité <i>in-vitro</i> des isolats de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> aux fongicides	69
6.4.	Evaluation du comportement de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> en fonction des variétés de bananiers.....	75
6.4.1.	Dispositif expérimental et conduite de l'essai.....	76
6.4.2.	Evaluation du niveau de développement de la maladie sur les différentes variétés	76
6.4.3.	Détermination des caractéristiques des conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> sur différentes variétés de bananier.....	76
6.5.	Analyse statistique des données	77
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION		78
7.	RÉSULTATS.....	79
7.1.	Effet des facteurs environnementaux sur l'évolution de la maladie au champ et gestion des plantations industrielles	79
7.1.1.	Mode de gestion et entretien des différentes plantations industrielles.....	79
7.1.2.	Impact des facteurs environnementaux sur l'évolution de la maladie dans les bananeraies industrielles	79
7.2.	Méthodes et régimes d'utilisation de fongicides	93
7.3.	Effet des traitements antifongiques sur l'évolution de la sensibilité des différents isolats de <i>Mycosphaerella fijiensis</i>.....	100
7.1.3.	Evolution de la sensibilité <i>in-vitro</i> des conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> issues des plantations industrielles de 2016 à 2017	100

7.1.4. Sensibilité <i>in-vitro</i> des isolats de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> issues des plantations villageoises	109
7.4. Comportement de l'agent pathogène de la maladie des raies noires en fonction des variétés de bananiers	115
7.1.5. Paramètres de la maladie des raies noires en plantation (PJFA et PJFN).....	116
7.1.6. Caractéristiques de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> en fonction des variétés de bananiers.....	117
7.1.7. Influence de la sensibilité des différentes variétés de bananiers sur la sensibilité aux fongicides des conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i>	118
7.4.2. Influence de la sensibilité des différentes variétés de bananiers sur les paramètres de la maladie des raies noires	123
DISCUSSION	126
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	141
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	144
ANNEXES.....	167

DEDICACE

À ma famille.

À tous ceux qui ont cru en moi et qui n'ont cessé de me soutenir tout au long de ce parcours.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire a été rédigé pour l'obtention du doctorat en Agriculture et foresterie tropicale (Agritrop), dans la spécialité Phytopathologie, de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa (Côte d'Ivoire). Les travaux ont été réalisés au Laboratoire de Phytopathologie du Programme Plantain-Banane-Ananas du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), de la station de recherche de Bimbréso situé à Anguédédou, dans le District Autonome d'Abidjan. Ils ont été réalisés dans le cadre du projet « Monitoring cercosporiose du bananier dessert », avec l'appui financier du Fond Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA).

Le CNRA, depuis la prise en charge du « Monitoring Cercosporioses du bananier dessert » au profit des producteurs de Côte d'Ivoire en 2005, a permis de mettre en évidence, à chaque campagne, le niveau de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire du bananier aux familles de fongicides dans les plantations industrielles de banane dessert. Par la même occasion, un bilan critique de l'état sanitaire général des bananeraies a été réalisé. Tout ceci a contribué considérablement à l'amélioration de la qualité et de la compétitivité de la banane destinée à l'exportation.

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit de plusieurs années de travail et son aboutissement a été possible grâce à l'aide et au soutien de nombreuses personnes auxquelles, je tiens à adresser mes vifs remerciements. Il s'agit de :

- Professeur TIDOU Abiba Sanogo épouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) ainsi que les vices présidents, Professeur KONE Tidiani et Professeur AKAFFOU Doffou Sélastique, pour tout le travail qu'ils ont accompli afin de mettre à notre disposition un cadre d'étude sain où règnent la tranquillité et la rigueur scientifique ;
- Dr. YTE Wongbé Directeur de recherche, Directeur Général du CNRA qui a mis à en place toutes les conditions utiles pour nous permettre d'effectuer nos travaux ;
- M. ATSIN Yao, Directeur Exécutif du FIRCA, pour avoir mis en place les dispositions utiles pour la bonne conduite de ce projet ;
- Dr. TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche Agroforesterie de l'UJLoG, pour m'avoir accepté comme Doctorant dans cette unité qu'elle dirige ;
- Dr. GNONHOURI Philippe, Chargé de recherche, Directeur de la station CNRA Bimbresso, pour avoir autorisé ces travaux sur cette station de recherche ;
- Professeur TRAORE-OUATTARA Karidia, Professeur titulaire à l'UJLoG, pour avoir accepté d'assurer la co-direction scientifique de cette thèse, malgré ses nombreuses occupations et responsabilités ;
- Dr. TRAORE Siaka, Maître de recherche, Chef du programme Plantain-Banane-Ananas, et co-directeur scientifique de cette thèse, pour son aide et ses orientations durant les travaux ;
- Des membres du jury qui ont accepté de faire partie de ce jury et de contribuer à l'amélioration de ce travail ;
- Dr. KOBENAN Kouman, Directeur de Recherche au CNRA, à qui je dis un merci tout particulier, pour son implication dans ce travail, pour sa disponibilité, son assistance malgré ses nombreuses occupations et surtout pour ses précieux conseils ;
- Dr. N'GUETTA Adélaïde, Attaché de Recherche, pour l'aide, le soutien, les conseils et la disponibilité ;

- L'ensemble des chercheurs du programme Plantain-Banane-Ananas, Dr. ABY N'goran, Dr. ATSIN Olivier, Dr. KOUADIO Demby et Dr. KOFFI Cyrille, pour leurs conseils et leur soutien ;
- L'ensemble des chercheurs du programme Hévéa, particulièrement Dr. ELABO Angéline Chargée de Recherche, pour ses locaux qui ont servi de laboratoire pour la circonstance et grâce auxquels les travaux ont pu être achevés, Dr. KONAN Djezou, pour son aide lors de l'analyse des données, sans oublier ses conseils, Dr. OBOUAYEBA Sammuel, Dr. VAWA Ottro Serge et Dr. YAO Alban pour leurs conseils ;
- Dr. COULIBALY Siendou, pour son aide et ses conseils ;
- Dr. BALLO Espérance Kouadio, pour les moments partagés et surtout pour les conseils ;
- L'ensemble des stagiaires que j'ai eu la chance de rencontrer durant mon parcours de doctorant : Dr. ADOU Bini, Dr. ESSEHI Lopez, Dr. LEHI Irénée, M. KOFFI Antoine, M. KONAN Ulrich, M. KABORE Ferdinand, M. ZELE Fabien, Mlle MORO Perpetue, Mlle KOUAKOU Kan Pulchérie, Mlle DROH Suzy ;
- L'ensemble des techniciens et auxiliaires du Laboratoire de Phytopathologie du programme Plantain-Banane-Ananas, Mme KADIO Pierrette, Mme YAO Georgina, M. DAKOURI Gildas, M. N'DRI Elvis, M. BITY Wayoro et M. AGO Gauthier qui m'ont été d'une grande aide lors des travaux ;
- Mes amis de Daloa, M. KEKE Oscar, M. KOUASSI Etienne, M. SECONGO Wangboh, M. KOFFI Fabrice, M. KOUAME Kouassi Jean-Madrice, M. N'GORAN Lucien, M. KONE Minan, M. KONE Patrice, M. BLE Norbert, M. KOUAKOU Jean-Yves, M. KOUAKOU Guillaume, M. GBETIBOUO Abraham et M. YOBOUE Gaétan et Mlle GBAGNON Inès pour les conseils et le soutien ;
- Mes amis du groupe des lecteurs de la paroisse Saint Iréné d'Abadjin Doumé, M. AZO Landry, M. AGBA Maxime, M. KOUAME Sebastien, M. NANA Louis, M. KOUASSI Narcisse, Mlle AMANY Isabelle, Mlle YAO Eugénie, Mlle GNOUMOU Irène, Mlle BROU Désirée et Mlle AKOUNI Mauricette pour leur soutien ;
- Tous ceux dont les noms ne figurent pas dans ce document, mais qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de cette œuvre.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

- A : Génome *Musa acuminata*.
- ACP : Analyse en Composante Principale
- ATP : Adénosine Triphosphate
- B : Génome *Musa balbisiana*
- BATIA : Bananière de Tiassalé
- BBrMV : *Banana Bract Mosaic Virus* (virus de la mosaïque des bractées du bananier)
- BBTD : *Banana Bunchy Top Disease* (maladie de Bunchy Top du bananier)
- BBTV : *Banana Bunchy Top Virus* (virus de Bunchy Top du bananier)
- BITA : Banane de l'IITA
- BLSD : *Black Leaf Streak Disease* (maladie des raies noires des feuilles)
- BPV : Biologie et Protection des Végétaux
- BS : *Black Sigatoka* (Sigatoka noir)
- BSV: *Banana Streak Virus* (virus des stries du bananier)
- CE : Coefficient d'évolution
- CNRA : Centre National de Recherche Agronomique
- DAA : District Autonome d'Abidjan
- DMI : *De-Methylation Inhibitors* (Inhibiteurs de la 14 α -déméthylation des stérols)
- EC : Emulsifiable concentrate (Concentré émulsionnable)
- EE : État d'Evolution de la maladie
- ELSD: *Eumusae leaf spot disease* (maladie des taches foliaire des Eumusae)
- EW: *Emulsifiable in Water* (Emulsionnable dans l'eau)
- FAO: *Food and Agriculture Organization* (Organisation des nations unies pour l'agriculture et l'alimentation)
- FAOSTAT: *Food and Agriculture Organization Statistics* (Base de données statistiques de l'organisation des nations unies pour l'agriculture et l'alimentation)
- FHIA: *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola* (Fondation de recherche agricole d'Honduras)
- FIRCA : Fond Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles

FRAC : *Fungicide Resistance Action Committee* (comité d'action contre la résistance aux fongicides)

HEVETEC : Société de production de Caoutchouc Naturel

IBS : Inhibiteurs de Biosynthèse des stéroïdes

INIBAP: *International Network for the Improvement of Banana and Plantain* (Réseau international pour l'amélioration de la production de la banane dessert et de la banane plantain)

LM₀ : Longueur Moyenne de tubes germinatifs témoins

LM_T : Longueur Moyenne des traitements

MBC : *Méthyl Benzimidazole Carbamates* (Méthyl-benzimidazole carbamates)

MRN : Maladie des Raies Noires.

MS : Maladie de Sigatoka.

ND : Nombre de conidies Déformées

NGN : Nombre de conidies à Germination Normale

NNG : Nombre de conidies Non Germées

NTO : Nombre Total de conidies Observées

OCAB : Organisation des Producteurs-Exportateurs d'Ananas et de Bananes

OD : *Oil Dispersible* (Poudre à disperser dans l'huile)

OL : Liquide miscible à l'huile

PDA : *Potato Dextrose Agar* (agar dextrose et pomme de terre)

PIB : Produit Intérieur Brute

PITA: Plantain de l'IITA

PJFA : Plus Jeune Feuille Atteinte

PJFN : Plus Jeune Feuille Nécrosée

PJFT : Plus Jeune Feuille Touchée

ppm : Partie par million

pR : partiellement Résistant

QoI : *Quinone outside Inhibitors* (inhibiteurs de quinone externe)

RDC : République Démocratique du Congo

REF : Rythme d'Emission Foliaire

SAKJ : Société Agricole Kablan Joubin

SAPH : Société Africaine de Plantation d'Hévéa

SB : Somme Brute

SBMK : Société Bananière Maubert Kablan
SC : Suspension Concentrée
SDHI : *Succinate DeHydrogenase Inhibitors* (Inhibiteurs de succinate déshydrogénase)
SEV : Somme corrigée par le stade du cigare
SIAPA : Société Ivoirio-Antillaise de Production Agricole
TC : Taux de Croissance
TD : Taux de conidies Déformées
TGN : Taux de Germination Normale
TI : Taux d’Inhibition
TNG : Taux de conidies Non Germées
tR : très Résistant
TRCI : Tropical Rubber Côte d’Ivoire
WG : *Water dispersible granules* (Granulé Autodispersible)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification du genre <i>Musa</i> (De Langhe, 1969)	8
Tableau II : Groupes génomiques des bananiers et des bananiers plantain avec leur répartition géographique (Bakry <i>et al.</i> , 1997)	9
Tableau III : Principaux pays producteurs et production de bananes dessert en 2019 (FAO, 2020).....	16
Tableau IV : Principaux pays producteurs et production de bananes plantain en 2019 (FAO, 2020).....	17
Tableau V : Valeurs nutritionnelles des bananes dessert et bananes plantain (Sharrock et Lusty, 2000).....	19
Tableau VI : Principales maladies des fruits de bananiers	28
Tableau VII : Caractéristiques morphologiques des formes anamorphes du genre <i>Mycosphaerella</i> pathogène (Crous et Mourichon, 2002).....	31
Tableau VIII : Sensibilité variétale de quelques cultivars de bananier aux maladies foliaires causées par <i>Mycosphaerella</i> spp. (Carlier <i>et al.</i> , 2003).....	42
Tableau IX : Principaux fongicides utilisés pour la lutte contre la maladie des raies noires du bananier	52
Tableau X : Liste des fongicides utilisés au laboratoire et leurs caractéristiques	62
Tableau XI : Matériel de terrain, appareillage et produits de laboratoire	62
Tableau XII : Plantations prélevées par zone de production.....	69
Tableau XIII : Nombre d'échantillons de feuilles de bananier prélevés par plantation en 2018	69
Tableau XIV : Doses de fongicides testées selon les familles et les matières actives	71
Tableau XV : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations ELIMA de 2016 à 2018.....	94
Tableau XVI : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations Rouchard de 2016 à 2018.....	96
Tableau XVII : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations WANITA en 2016 et 2017	97
Tableau XVIII : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations EGLIN Agboville de 2016 à 2018	98
Tableau XIX : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations EGLIN à Azaguié de 2016 à 2018	99

Tableau XX : Rang de la plus jeune feuille attaquée par la cercosporiose noire en fonction des différentes variétés de bananiers	116
Tableau XXI : Rang de la plus jeune feuille nécrosée par la cercosporiose noires en fonction des variétés de bananiers	117
Tableau XXII : Taille moyenne des conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> en fonction des variétés de bananiers	117
Tableau XXIII : Nombre de conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> sur les feuilles en fonction des variétés de bananiers	118
Tableau XXIV : Valeurs propres et inerties des axes de l'ACP	124
Tableau XXV : Coefficients de corrélation entre les paramètres et les axes de l'ACP	124

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Dessin de bananier du cultivar grande naine en fructification (Champion, 1963 modifié)	11
Figure 2 : Stades de déroulement de la feuille de bananier (Source Traoré 2008)	12
Figure 3 : (A) Galeries creusées par les larves de charançon dans le rhizome (B) charançons adultes ; (C) larves du charançon du bananier (Source : Bizimana et al., 2012). 20	
Figure 4 : Nématode à l'intérieur des racines (Tabarant 2013).....	21
Figure 5 : Pourriture brune et subsèche observée sur les fruits du bananier atteint par la maladie de Moko (Source : Yabuuchi et al., 1996)	22
Figure 6: Symptômes du flétrissement bactérien du bananier causé par <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Musacearum</i> (Source : Bizimana et al., 2012)	23
Figure 7: Symptômes de la maladie du sang du bananier (Source : Eden-Green, 1994).....	24
Figure 8: Principaux symptômes de maladie de Bunchy Top du bananier (Source : Bizimana et al., 2012).....	25
Figure 9: Symptômes de la mosaïque des bractées du bananier (Source : Thomas et Magnaye, 1996).....	25
Figure 10: Mosaïque en plage du bananier (Source : Lassoudière, 2007)	26
Figure 11: Symptômes de la fusariose du bananier (Source : Bizimana et al., 2012).....	27
Figure 12 : Différents stades d'évolution de la cladosporiose dans les conditions naturelles d'infection (Koné et al., 2004).	29
Figure 13 : Symptômes foliaires localisés des cercosporioses (Crous et Mourichon, 2002). 32	
Figure 14 : Distribution géographique de la maladie des raies noires dans le monde (Cabi, 2007).....	34
Figure 15 : Conidiophores et conidies et <i>Mycosphaerella fijiensis</i> (Koné, 1998)	35
Figure 16 : Ascostroma avec asques et ascospores de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> (Pons, 1987)	36
Figure 17 : Symptômes et stades de développement de la cercosporiose noire au champ (Source : adapté de Churchill, 2011).....	37
Figure 18 : Cycle épidémiologique chez <i>M. fijiensis</i> avec reproduction sexuée (ascospores) et asexuée (conidie) lors des infections sur le bananier (Churchill, 2011, modifié). 39	
Figure 19 : Facteurs biotiques et abiotiques agissant sur le cycle de la cercosporiose	41
Figure 20 : Sites d'action des principaux fongicides utilisés pour la lutte contre les champignons ascomycètes (Leroux et Gardan, 2003).....	49
Figure 21 : Localisation des sites d'observations, de prélèvement des feuilles de bananiers	60

Figure 22 : Numérotation des feuilles du bananier	66
Figure 23 : Etapes de mise en culture des conidies	72
Figure 24 : Conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> sensibles (Kobenan et al., 2009)	73
Figure 25 : Conidies de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> (Kobenan et al., 2009).....	75
Figure 26 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d'Aboisso en 2016, 2017 et 2018.....	80
Figure 27 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016, 2017 et 2018 dans la plantation ELIMA	81
Figure 28 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation ELIMA en 2016, 2017 et 2018.....	82
Figure 29 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d'Attinguié en 2016, 2017 et 2018.....	83
Figure 30 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016, 2017 et 2018 dans la plantation Rouchard	84
Figure 31 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation Rouchard en 2016, 2017 et 2018.....	85
Figure 32 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d'Agboville en 2016 et 2018.....	86
Figure 33 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016 et 2018 dans la plantation EGLIN d'Agboville	87
Figure 34 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation Eglin à Agboville en 2016 et 2018	88
Figure 35 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d'Azaguié en 2016, 2017 et 2018	89
Figure 36 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016 et 2018 dans la plantation Eglin à Azaguié	90
Figure 37 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation Eglin à Azaguié en 2016 et 2018.....	91
Figure 38 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire attaqué par la maladie des raies noires en 2016 et 2017 dans la plantation WANITA à Dabou.....	92
Figure 39 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation WANITA à Dabou en 2016 et 2017.....	93
Figure 40 : Longueur moyenne du tube germinatif des conidies en fonction des plantations et des années.....	101
Figure 41 : Taux d'inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par le difénoconazole en fonction des plantations et des années	104
Figure 42 : Taux d'inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par le tébuconazole en fonction des plantations et des années.....	104

Figure 43: Taux d'inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par l'époxiconazole en fonction des plantations et des années	106
Figure 44 : Taux d'inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par le trifloxystrobine en fonction des plantations et des années	107
Figure 45: Taux d'inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par l'azoxystrobine en fonction des plantations et des années	108
Figure 46: Taux de germination des conidies sur milieu amendé de méthyl-thiophanate de 2016 à 2018 selon les localités	109
Figure 47 : Longueur moyenne des tubes germinatifs des conidies des isolats sauvages de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> selon les localités.....	110
Figure 48 : Taux d'inhibition de la germination des conidies sauvages de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> par le difénoconazole selon les localités	111
Figure 49 : Taux d'inhibition de la germination des conidies sauvages de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> par l'époxiconazole selon les localités et les variétés de bananiers.....	112
Figure 50 : Taux d'inhibition de la germination des conidies sauvages de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> par le tébuconazole selon les localités et les variétés de bananiers	112
Figure 51 : Taux de germination des conidies sauvages de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> sur milieu additionné de méthyl-thiophanate selon les localités et les variétés de bananiers	114
Figure 52 : Taux de germination des conidies sauvages de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> sur milieu additionné d'azoxystrobine selon les localités et les variétés de bananiers	115
Figure 53 : Taux de germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu sans fongicide	119
Figure 54 : Taux de germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné de Méthyl-thiophanate	119
Figure 55 : Taux de germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné d'azoxystrobine	120
Figure 56 : Longueur du tube germinatif des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu sans fongicide	121
Figure 57 : Taux d'inhibition de la germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné difénoconazole	121
Figure 58 : Taux d'inhibition de la germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné époxiconazole.....	122

Figure 59 : Taux d'inhibition de la germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu amendé tébuconazole	123
Figure 60 : Diagramme de l'ACP basé sur les relations sensibilité des variétés de bananiers et les paramètres de la maladie des raies noires	125

INTRODUCTION

La banane, quatrième produit agricole après le riz, le blé et le maïs (Arias *et al.*, 2003) joue un rôle important sur le plan économique, nutritionnel et culturel dans le monde entier. Elle est particulièrement importante dans les pays en développement des régions tropicales (Dadzie et Orchard, 1997). Le bananier est cultivé dans plus de 130 pays à travers le monde, principalement au sein des régions tropicales et subtropicales du Sud-Est asiatique, du Pacifique, d'Afrique et d'Amérique (Robert, 2012). Il est cultivé sous divers systèmes selon les objectifs visés qui peuvent être l'autoconsommation, la vente sur les marchés locaux ou l'exportation (Churchill, 2011). Il existe les bananes à chair sucrée ou bananes dessert et les bananes à chair riche en amidon ou bananes à cuire comprenant les bananes plantains et les autres types de bananes à cuire (Lassois *et al.* 2009).

Dans le monde, la banane dessert constitue le principal fruit frais faisant l'objet d'importants échanges internationaux depuis les années 1900 (Marin *et al.*, 2003). Le commerce de la banane a connu, depuis lors, une croissance continue. Actuellement, la banane est le fruit le plus exporté tant en termes de valeur que de quantité et cette industrie est d'une importance vitale pour les pays producteurs (Ganry *et al.*, 2012). Bien loin de se limiter à un simple dessert, la banane joue également un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire de plus de 400 millions de personnes dans les pays en développement. Elle constitue une source d'emploi et de revenus pour les populations locales (Onautshu, 2013).

La Côte d'Ivoire, premier producteur et exportateur de banane dessert sur le marché européen depuis 2016, produit actuellement 411 400 tonnes, avec un chiffre d'affaires de plus de 145 milliards de Francs CFA dont 80 à 85 % en devises (FAO, 2020). La filière banane octroie environ 12 000 emplois directs. Près de 60 000 personnes vivent directement ou indirectement de l'activité de la banane (Anonyme, 2021). Sa production représente 8 % du PIB agricole et entre 3 et 4 % du PIB national (Anonyme, 2021). La bananeraie industrielle ivoirienne occupe aujourd'hui environ 8317 ha (FAOSTAT, 2020).

La culture de la banane, pour le marché d'exportation repose essentiellement sur le seul groupe variétal Cavendish, malgré la grande diversité génétique rencontrée au sein du genre *Musa*. Il représente 40 à 50 % de la production mondiale (FAO, 2020). Il doit donc faire face à de nombreuses contraintes d'origines biotiques et abiotiques pour continuer à répondre aux critères de durabilité, de qualité et de rendement qui lui sont imposés. Parmi ces contraintes, il y a les ravageurs et les maladies dont les plus préjudiciables sont les maladies fongiques (les cercosporioses du bananier et la fusariose) qui concourent significativement à la baisse des rendements dans les différents types de production (Daniells, 2009). D'autres entraves, non les moindres, à la production de la banane sont le fait des nématodes

(*Radopholus similis*, *Helicotylenchus mulicinetus*, *Pratylenchys coffea*, *Pratylenchys speijeri* sp. et *Meloidogyne* spp.), de virus (virus du *bunchy top* (BBTV), mosaïque des bractées du bananier, mosaïque en plage du bananier, mosaïque en tirets du bananier), de bactéries (certaines lignées pathogènes de *Ralstonia solanacearum*, *Xanthomonas campestris* pv. *musacearum*) ou d'insectes tels que le charançon *Cosmopolites sordidus* (Mourichon *et al.*, 2000).

La maladie la plus destructrice dans la culture du bananier est la cercosporiose noire (maladie noire de Sigatoka ou Maladie des Raies Noires) causée par le champignon Ascomycète *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (1969). Elle s'attaque aux feuilles, provoque leur détérioration et diminue ainsi leurs capacités photosynthétiques ; ce qui réduit le nombre de feuilles fonctionnelles occasionnant ainsi une perte de rendement pouvant être totale (Carlier *et al.*, 2000 ; Ganry, 2010). Elle est considérée comme la plus dangereuse du complexe de maladie de Sigatoka, qui inclut les deux autres espèces du même genre, *M. musicola* et *M. eumusae* (Churchill, 2011) et cause plus de perte sur le plan économique (Pennisi, 2010). La Maladie des Raies Noires est largement rependue dans le monde ; son évolution est plus rapide sur les cultivars déjà sensibles à *M. musicola* et à *M. eumusae* et son spectre d'hôtes est plus grand (Mourichon *et al.*, 2000). En Côte d'Ivoire, la cercosporiose noire du bananier (MRN) a été détectée en 1985 dans la région d'Aboisso (Mourichon et Fullerton, 1990). Depuis lors, elle est omniprésente dans toutes les bananeraies du pays.

Dans le but de maîtriser cette menace, plusieurs méthodes de lutte ont été mises au point. À côté des méthodes de lutte culturales, génétiques et biologiques, la lutte chimique est largement utilisée (De Lapeyre de Bellaire *et al.*, 2010). Le contrôle efficace de la cercosporiose noire du bananier nécessite des applications de fongicides à action préventive et des fongicides systémiques à action curative mélangés à de l'huile minérale. En procédant jusqu'à 25 applications par année (Kernot, 1998), la maladie a pu être contrôlée, mais ces fongicides ont également eu des conséquences néfastes sur l'homme et sur l'environnement. Par ailleurs, l'utilisation intensive des fongicides systémiques a provoqué l'apparition de résistance des souches pathogènes. Ceci est devenu un problème majeur dans la lutte contre la cercosporiose noire, étant donné que le nombre de traitement augmentait au fil des années. En outre, le coût des moyens de lutte contre la cercosporiose noire est estimé entre 15 et 25 % des coûts totaux de production de la banane (Perez *et al.*, 2006).

Les fongicides sont donc indispensables pour lutter contre les cercosporioses, cependant il faut une parfaite maîtrise de leur application en vue de préserver

l'environnement, de protéger les consommateurs, de réduire le coût de production et surtout de prévenir les résistances.

Ainsi, se dégage la question de recherche suivante : « comment éviter les résistances du champignon *Mycosphaerella fijiensis*, agent pathogène de la cercosporiose noire aux fongicides, tout en réduisant leurs effets néfastes sur l'homme et sur l'environnement ? ».

Il s'avère donc nécessaire de faire l'état des lieux du niveau de développement de la maladie dans les bananeraies ivoiriennes et de tester la sensibilité du champignon. De plus, l'étude du comportement du champignon sur différentes variétés de bananiers permettrait d'avoir plus de connaissance sur son mode de développement afin de mieux le contrôler.

Au vu des difficultés à maîtriser cette maladie et pour mieux cerner les stratégies à employer, cette recherche soulève les questionnements suivants :

- quels sont les effets des facteurs environnementaux et du mode de gestion des plantations sur l'évolution de la cercosporiose noire au champ ?
- existe-t-il un lien entre les méthodes d'utilisation des fongicides et l'apparition de résistances aux fongicides de *Mycosphaerella fijiensis* ?
- quel est le niveau de sensibilité aux fongicides des différents isolats (sauvages et non sauvages) de *Mycosphaerella fijiensis* ?
- quelle est l'évolution de la cercosporiose noire et le comportement de *Mycosphaerella fijiensis* sur différentes variétés de bananiers ?

Les réponses à ces questions permettront de proposer des stratégies pour tenter de réduire l'impact de la maladie des raies noires en Côte d'Ivoire.

Cette étude s'appuie sur l'hypothèse générale de la présence de résistances de *Mycosphaerella fijiensis* aux fongicides utilisés dans les bananeraies ivoiriennes. Plus spécifiquement il est supposé que :

- les facteurs environnementaux et le mauvais entretien des plantations contribuent à accélérer l'évolution de la cercosporiose noire ;
- certains modes d'application des fongicides entraînent l'émergence de souches résistantes de *Mycosphaerella fijiensis* ;
- les souches sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* sont sensibles aux fongicides commercialisés en Côte d'Ivoire ;
- l'évolution de la maladie des raies noires est différente d'une variété à l'autre selon la sensibilité du bananier de même que son agent pathogène.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à améliorer la productivité de la banane par une lutte efficace contre la maladie des raies noires dans un système de production durable en Côte d'Ivoire. De manière spécifique, il s'agit de :

- évaluer les effets des facteurs environnementaux et du niveau d'entretien des bananeraies industrielles sur la vitesse d'évolution de la cercosporiose noire ;
- déterminer l'effet de la fréquence d'utilisation des fongicides dans les plantations industrielles sur la sensibilité de *Mycosphaerella fijiensis* à ces fongicides ;
- évaluer la sensibilité des isolats sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* et des isolats des plantations industrielles à trois familles de fongicides systémiques les plus utilisées en bananeraies ;
- comparer le comportement de *Mycosphaerella fijiensis* et l'évolution de la cercosporiose noire sur différentes variétés de bananiers afin de savoir si la variété de bananier influence la résistance du champignon aux fongicides.

Ce mémoire a été rédigé en huit chapitres regroupés en trois parties :

- la première partie comporte les généralités qui synthétisent les connaissances sur le bananier, sur la cercosporiose noire et sur les fongicides utilisés en culture de bananiers ;
- la deuxième partie comprend le matériel et les méthodes adoptées précédés de la description de la zone dans laquelle l'étude a été menée ;
- la troisième partie comporte les résultats obtenus et leur discussion ;

L'ensemble de ces parties sera suivi d'une conclusion assortie des perspectives de recommandation.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

1. GENERALITES SUR LE BANANIER

1.1. Origine du bananier

La région d'origine du bananier est la forêt tropicale chaude et humide du Sud-Est de l'Asie, entre l'Inde et les îles Mélanésiennes du Pacifique, en passant par l'Indonésie et la Nouvelle-Guinée. Les espèces sauvages *Musa acuminata* (génomme de type A) et *Musa balbisiana* (génomme de type B) y sont répertoriées (Swennen *et al.*, 2001). Les bananiers se sont répandus à partir de cette région à l'Est, en Amérique du Sud dès le début de la colonisation européenne vers 1500 et à l'Ouest, à Madagascar/Zanzibar, à travers les migrations indo-malaysiennes. Ce sont les arabes et les portugais qui ont transporté les bananiers le long de la côte Est de l'Afrique puis ils ont traversé les pays de l'Afrique centrale jusqu'en Afrique de l'Ouest (Dhed'a *et al.*, 2011). La culture du bananier se serait rependue en Afrique de l'Ouest à travers le mouvement des peuples en provenance de la Nouvelle-Guinée au cours de l'Holocène (Perrier *et al.*, 2011).

1.2. Classification des bananiers

Les bananiers sont des monocotylédones géantes appartenant à l'ordre des Scitaminales ou Zingibérales. L'ordre des Scitaminales comprend 6 familles (Dhed'a *et al.*, 2011) :

- Les Strelitziaceae, avec les genres *Strelitzia*, *Heliconia* et *Ravenala* ;
- Les Lowiaceae, avec le genre *Orchidantha* ;
- Les Zingiberaceae, avec les genres *Zingiber* et *Hedichium* ;
- Les Maranthaceae, avec le genre *Marantha* ;
- Les Cannaceae, avec le genre *Canna* ;
- Les Musaceae, avec les genres *Musa* et *Ensete*.

Le genre *Musa* qui présente une forte variabilité est divisé en quatre sous genres (Australimusa, Callimusa, Eumusa, Rhodochlamus) sur la base du nombre de chromosomes et de caractéristiques morphologiques. La section Eumusa (n=11) est la plus diversifiée comprenant 1000 variétés. C'est la seule section qui a donné des espèces parthénocarpiques. Elle comprend 10 à 12 espèces (Tableau I) dont les deux espèces principales sont *Musa acuminata* (AA) et *Musa balbisiana* (BB) (Lassoudière, 2007). La contribution haploïde de *M. acuminata* et de *M. balbisiana* aux bananiers est indiqué respectivement par les lettres A et B (Simmonds et Shepherd 1955 ; Lassois *et al.*, 2009). Tous les bananiers à fruit parthénocarpiques (comestibles) proviennent de *M. acuminata* seul ou de son croisement avec *M. balbisiana* (Lassoudière, 2007). Ainsi, les cultivars des bananiers sont diploïdes (AA, BB),

plus généralement triploïdes (AAA, AAB et ABB) et rarement tétraploïdes (AAAA, AAAB, AABB et ABBB). D'un point de vue botanique, le genre *Musa* se divise en deux grands types dont les variétés non comestibles et les variétés comestibles. Les espèces à fruits non comestibles ou sauvages sont utilisables comme fibres et aliments de bétail (Lassoudière, 2007). Ces espèces à fruits non comestibles sont toutes diploïdes (AA et BB) et sont utilisées en amélioration végétale pour leur résistance aux maladies et leur fertilité. Actuellement, on compte environ 180 variétés, toutes originaires d'Asie du Sud-est (Lassois *et al.* 2009). Les variétés comestibles à fruits charnus et sans graines sont au nombre de 1200 environ. Au sein des bananiers cultivés, il existe deux grands types de bananes comestibles : les bananes qui se consomment à l'état frais, dites « dessert » et les bananes consommées cuites dites « à cuire », comprenant notamment les plantains (Tableau II).

Tableau I : Classification du genre *Musa* (De Langhe, 1969)

Section	<i>Australimusa</i> (2n=20)	<i>Callimusa</i> (2n=20)	<i>Rhodochlamys</i> (2n=22)	<i>Eumusa</i> (2n=22)	<i>Ingentimusa</i> (2n=14)
Espèces	<i>M. textilis</i>	<i>M. coccinea</i>	<i>M. velutina</i>	<i>M. acuminata</i>	<i>M. ingens</i>
	<i>M. peekelii</i>	<i>M. gracilis</i>	<i>M. sanguinea</i>	<i>M. basajoo</i>	
	<i>M. angustigemma</i>	<i>M. borensis</i>	<i>M. ornata</i>	<i>M. schizocarpa</i>	
	<i>M. maclayi</i>	<i>M. beccarii</i>	<i>M. laterita</i>	<i>M. sikkimensis</i>	
	<i>M. bukenis</i>			<i>M. flaviflora</i>	
	<i>M. jackeyi</i>			<i>M. itinerans</i>	
	<i>M. lolodensis</i>			<i>M. balbisiana</i>	
				<i>M. cheesmani</i>	
				<i>M. nagensium</i>	
				<i>M. halabensis</i>	
				<i>M. ochracea</i>	
				<i>M. sumatrana</i>	

Tableau II : Groupes génomiques des bananiers et des bananiers plantain avec leur répartition géographique (Bakry *et al.*, 1997)

Groupe	Cultivars	Type de fruit	Localisation
Groupe AA			
Sucrier	Pisang mas (Figue Sucrée) Frayssinette	Dessert sucré	Tous continents
Pisang Lilin	-	Dessert	Indonésie, Malaisie
Pisang Berangan	-	Dessert	Indonésie, Malaisie
Lakatan	-	Dessert	Philippines
Groupe AAA			
Cavendish	Lacatan, Poyo, Williams Grande Naine, Petite Naine	Dessert	Pays exportateurs
Gros Michel	Gros Michel, Highgate, Cocos	Dessert	Tous continents
Figue rose	Figue Rose rose, Figue Rose verte	Dessert	Philippines, Antilles, Pacifique
Lujugira	Intuntu, Mujuba	À bière, à cuire	Afrique de l'Est
Ibota	Yangambi Km5	Dessert	Afrique, Indonésie
Groupe AB			
Ney Poovan	Safet Velchi, Sukari	Dessert acide	Inde, Afrique de l'Est
Groupe AAB			
Figue Pomme	Maçà, Silk	Dessert acide	Tous continents
Pome	Prata	Dessert acide	Afrique de l'Ouest, Inde, Malaisie, Brésil, Australie,
Mysore	Pisang Ceylan	Dessert acide	Inde
Pisang Kelat	Pisang Kelat	Dessert	Inde, Malaisie
Pisang Rajah	Pisang Rajah Bulu	À cuire	Malaisie, Indonésie
Plantains	French, Faux Corne	À cuire	Afrique centrale et occidentale, Caraïbes, Amérique latine
Popoulou	Popoulou	À cuire	Pacifique
Laknao	Laknao	À cuire	Philippines
Pisang Nangka	Pisang Nangka	À cuire	Malaisie
Groupe ABB			
Bluggoe	Bluggoe, Mativa, Poteau,	À cuire	Philippines, Caraïbes,
PeliPITA	Cancambou PeliPITA	À cuire	Amérique latine Amérique latine,
Pisang Awak	Fougamou	Dessert	Philippines Thaïlande, Philippines,
Peyan	-	À cuire	Inde, Afrique de l'Est
Saba	Saba	À cuire	Thaïlande, Philippines Philippines
Groupe AAAA			
	Champ Nasik	Dessert	Malaisie, Indonésie

1.3. Description du bananier

Le bananier *Musa* est une plante monocotylédone herbacée (ses parties aériennes fanent et s'affaissent après que les fruits soient parvenus à maturité) de la famille des *Musaceae* (Figure 1). C'est une plante vivace qui émet des ramifications qui assurent sa pérennité.

A maturité, un bananier comporte trois parties principales :

- le rhizome ou bulbe, lieu de formation des racines, des rejets et des feuilles ;
- le pseudotrunc portant les feuilles ;
- l'inflorescence.

Le rhizome encore appelé bulbe ou corne, constitue la partie souterraine du bananier. Il est en fait la vraie tige du bananier. C'est à partir du rhizome que se développent le pseudo-tronc et les feuilles. Les racines qui émergent du bulbe sont fasciculées et portent des poils absorbants. Elles peuvent aller jusqu'à 40-60 cm de profondeur et atteindre 3-4 m de long (Price, 1995). C'est au sommet de la vraie tige que se forment les gaines. À l'aisselle de chaque gaine, se trouve un bourgeon axillaire susceptible de donner naissance à un rejet.

Le pseudo-tronc ou fausse tige est formé de l'imbrication des gaines foliaires les unes dans les autres. Il peut atteindre 2 à 8 m de haut pour les cultivars et 10 à 15 m pour les espèces sauvages (Karamura et Karamura, 1995). Au niveau du sommet du pseudo-tronc, les gaines foliaires deviennent plus étroites et forment les pétioles portant des feuilles droites ou retombantes pouvant atteindre trois mètres de long et soixante centimètres de large.

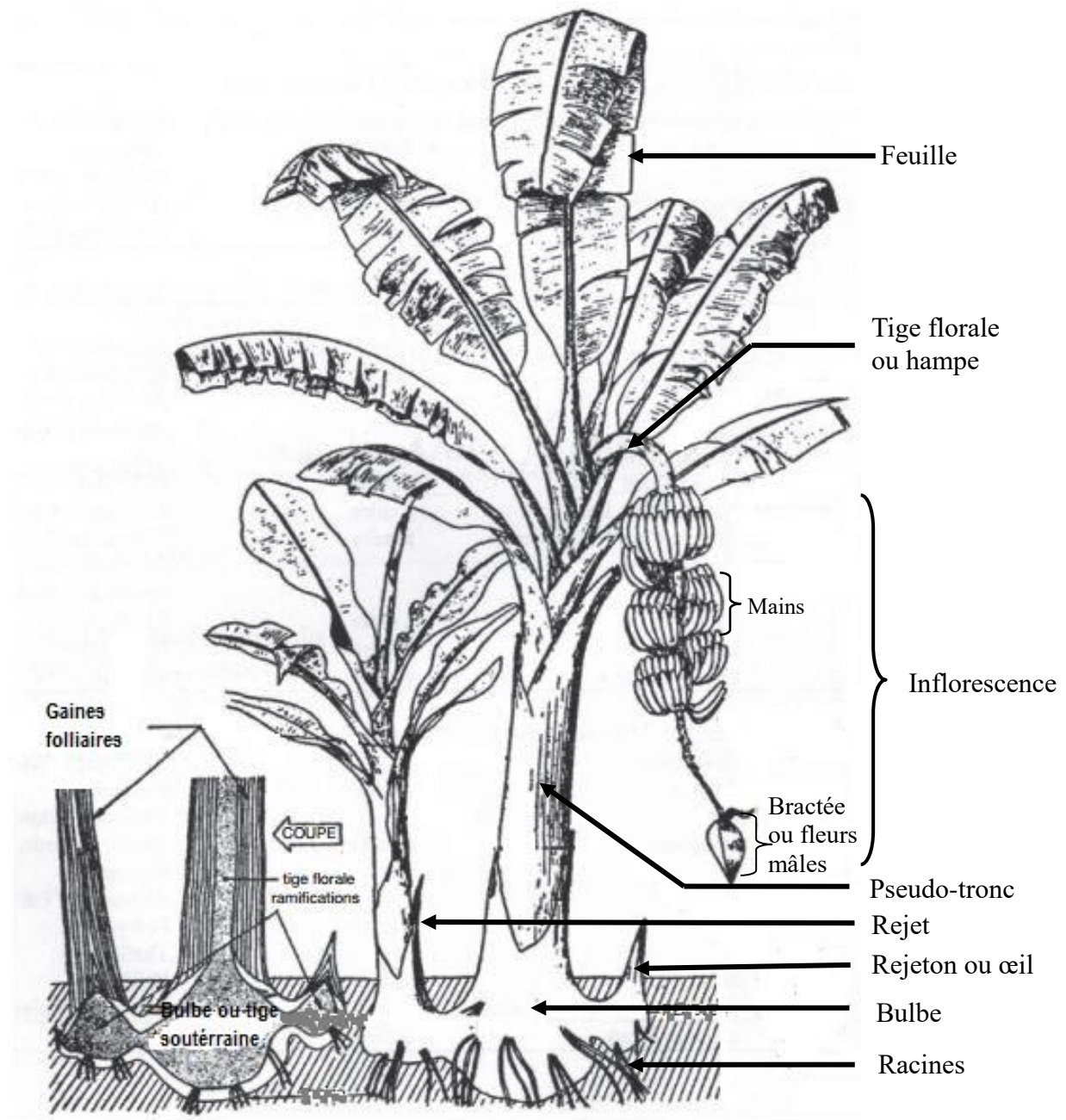


Figure 1: Dessin de bananier du cultivar grande naine en fructification (Champion, 1963 modifié)

Dans les conditions optimales, un bananier produit entre 30 et 40 feuilles durant sa phase végétative dont une feuille est émise en moyenne par semaine (Lassoudière, 2007). Mais en général, il entre en production avec 10 ou 12 feuilles adultes. Les feuilles du bananier sont latérales et se développent en cercle. La formation des feuilles et la croissance du limbe se déroulent uniquement dans le pseudo tronc. Les feuilles sont composées de quatre parties (la gaine, le pétiole, la nervure centrale et le limbe). Avant son étalement, le limbe se présente sous la forme d'un cigare. Selon Anno (1981), la nouvelle feuille de couleur blanchâtre

s'enroule autour de sa nervure principale sous forme d'un rouleau très serré (cigare) qui se déroule en cinq étapes (Figure 2).

L'inflorescence se développe au cœur du bananier, lorsque la dernière feuille est émise. Elle croît et apparaît au milieu du bouquet foliaire et tombe sur le côté. Elle évolue selon le phénomène de géotropisme chez les cultivars, formant un U renversé pour ramener le régime final en pendule (Karamura et Karamura, 1995). L'inflorescence, appelée régime, formée d'une série de spathes (feuilles colorées), est un épi constitué de grappes (mains) de fleurs mâles et femelles, insérées sur la hampe par des coussinets. Les fleurs femelles prennent rapidement du volume et deviennent des fruits (partie comestible). Les fleurs mâles, plus petites, forment au niveau de la base un bourgeon floral à croissance indéfinie encore appelé "popote". Elles sont stériles et les fruits sont donc parthénocarpiques (pas issus de fécondation). La floraison a lieu au bout de huit mois et les fruits mûrissent quatre mois plus tard (ces valeurs peuvent varier en fonction des variétés et des conditions de cultures).

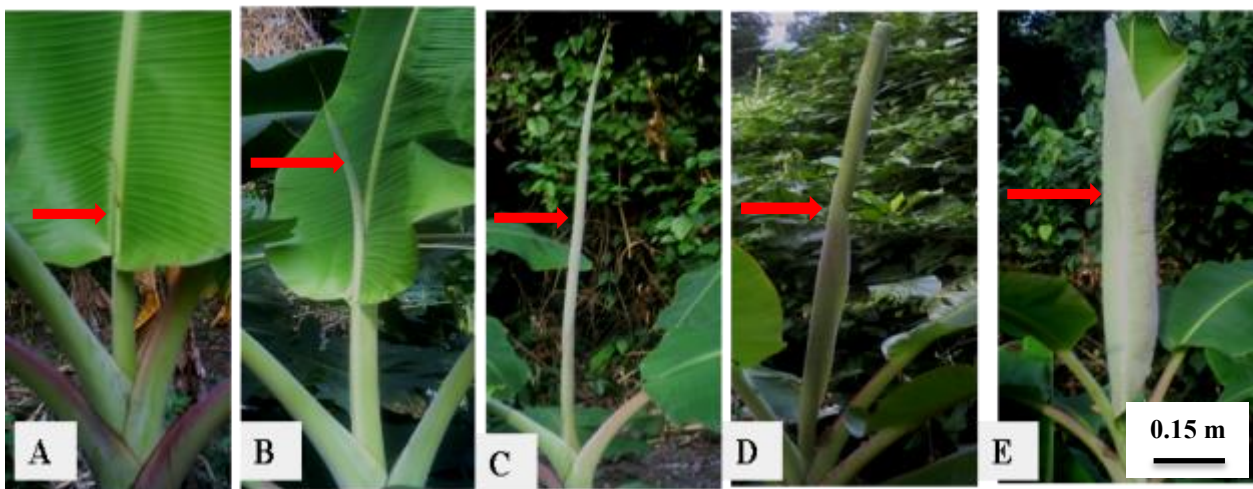


Figure 2 : Stades de déroulement de la feuille de bananier (Source Traoré 2008)

Stade A : le « cigare », mesurant environ 10 cm de long, demeure rattaché à la feuille précédente.

Stade B : le « cigare » a grandi, mais n'a pas encore atteint sa longueur finale.

Stade C : le « cigare » est entièrement dégagé, il a atteint sa longueur finale et le diamètre de son apex a considérablement augmenté

Stade D : la moitié gauche du limbe est déjà déroulée et commence à se déployer dans sa partie apicale.

Stade E : la partie supérieure du limbe est déroulée et la base forme un cornet ouvert

1.4. Distribution et diversité génétique chez le bananier

Il existe plus de 1000 variétés de bananiers du genre *Musa* parmi lesquelles les cultivars les plus importants sont les bananes de type dessert (AAA pour la plupart) et les bananes à cuire (AAA, AAB et ABB). Les variétés AA sont majoritairement rencontrées en

Asie du Sud-Est. Quelques variétés AB ont été répertoriées en Afrique de l'Est et en Inde. Les variétés triploïdes AAA (bananes dessert et à cuire), AAB (bananes à cuire) et ABB (bananes à cuire) sont largement disséminées dans le monde notamment en Amérique latine et centrale, aux Caraïbes, en Asie du Sud et du Sud-Est et en Afrique (Lassoudière, 2007).

Des études de la variabilité génétique du bananier menées avec les marqueurs moléculaires ont révélé une grande diversité entre les sections du genre *Musa* et entre les différentes variétés d'une même section (Tenkouano *et al.*, 1999 ; Ude *et al.*, 2002a ; Ude *et al.*, 2002b). Elles ont aussi mis en évidence des variétés pouvant être considérées comme des sources potentielles exploitables pour l'amélioration génétique du bananier en vue d'une bonne production (Ude *et al.*, 2002a). Une étude récente a permis de décrire le génome de 523 méga bases du génotype double haploïde de *Musa acuminata*. Il est désormais possible d'accéder à l'ensemble des gènes du bananier (plus de 36 000) et à leur position sur les onze chromosomes car la séquence est disponible. Ainsi, il sera plus facile d'identifier les gènes responsables de caractères tels que la résistance aux maladies et la qualité des fruits, ce qui permettra d'améliorer les variétés de bananiers à partir des nombreuses ressources génétiques disponibles dans le monde (D'Hont *et al.*, 2012). Pour faire face à la pression parasitaire et pour satisfaire la demande des consommateurs, de nouvelles variétés de bananiers notamment des bananes à cuire, ont été mises au point. Cependant, beaucoup restent à faire sur les qualités culinaires et gustatives en comparaison avec les variétés traditionnelles. Les recherches de nouvelles variétés concernent aussi bien la banane dessert que la banane à cuire, qu'elles soient destinées à l'exportation, à l'autoconsommation ou aux marchés locaux (Abadie *et al.*, 2003 ; Lassoudière, 2007).

1.5. Exigences écologiques du bananier

Les bananiers sont très souvent confrontés aux effets des conditions climatiques et édaphiques, car ils sont généralement cultivés dans des conditions assez différentes de celles qui constituent l'écologie des *Musa* sauvages. Si ces derniers sont des plantes de zones humides et chaudes, il faut savoir qu'ils vivent en semi-ombrage et croissent assez lentement. Les zones de culture des bananiers sont les zones agro-écologiques intertropicales humides de coordonnées ; 23° N et 23° S (Dhed'a *et al.*, 2011). Cependant, les bananiers peuvent aussi être cultivés en dehors de cette zone, en Afrique du Sud ou aux Iles Canaries et dans les régions subtropicales libres de gels comme en Israël. La croissance du bananier est optimale entre 25 et 30 °C, il est cultivé dans des conditions variables d'éclairement, mais sous ombrage, la plante est étiolée. Les vents et les variations brusques de températures lui sont

très préjudiciables (Skiredj *et al.*, 2005). Il est sensible aux basses températures. Les bananiers sont cultivés sur divers types de sols à travers le monde.

1.5.1. Exigences climatiques

Les racines du bananier n'absorbent facilement que le tiers de la tranche dite utile, ce qui veut dire que le sol doit contenir beaucoup d'eau. Les besoins en eau du bananier sont compris entre 25 et 70 mm par semaine, soit 1300 à 3600 mm/an selon le taux d'évapotranspiration (Swennen et Vuylsteke, 2001). Ils sont cultivés dans les zones humides à hygrométrie élevée.

La température et le rayonnement agissent énormément sur la croissance du bananier, à travers la transpiration et la photosynthèse (Lassoudière, 2007). Au-delà de 40 °C et en deçà de 14 °C, des anomalies surviennent. Les feuilles accusent un retard de croissance qui se manifeste par une lente émission de feuilles plus courtes (Swennen et Vuylsteke, 2001). Les bananiers sont sensibles au froid excepté quelques variétés (le bananier des Canaries) pour lesquelles une température de 12 °C n'est pas fatale, mais constitue la limite inférieure (Vandenput, 1981). À des températures comprises entre 4 et 6 °C, les feuilles des bananiers jaunissent (CIRAD-GRET, 2002). Le bananier supporte des fortes insulations si l'approvisionnement en eau est suffisant. Le manque de lumière agit sur la hauteur des plants et peut faire « filer » les rejets (Lassoudière, 2007). Il élève le flux transpiratoire avec l'ouverture des stomates, mais aussi, il engendre souvent la lacération des limbes réduisant ainsi la capacité photosynthétique et, par conséquent, le rendement. Les grands vents brisent les feuilles aux pétioles, ou cassent les pseudo-troncs (Dhed'a *et al.*, 2011) ou encore déracinent complètement le bananier (Teycheney et Lescot, 2006).

1.5.2. Exigences édaphiques

Le développement et la productivité du bananier sont fonction de la fertilité du sol (Swennen et Vuylsteke, 2001). Les sols propices pour la culture de banane doivent être légers, profonds et peu caillouteux de types sablo-limoneux ou argilo-limoneux (Tezenas Du Montcel, 1985). Le cycle végétatif du bananier (entre 8 et 18 mois) varie selon les cultivars, mais aussi les conditions de culture et la fertilité du sol (Champion, 1963). En milieu tropical, les sols profonds, bien drainés, avec une teneur en matière organique élevée, sont plus propices pour la culture du bananier (Swennen et Vuylsteke, 2001). La richesse du sol en humus est aussi un facteur très important pour une bonne production des bananiers. Le bananier est une plante qui a d'énormes besoins en éléments minéraux (l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium). Ces éléments minéraux sont apportés sous forme

d'engrais organiques tel que le fumier, le compost et les déchets agroindustriels (Laprade et Ruiz, 1999). Le bananier peut se développer dans une gamme de pH assez large, de 4,5 à 8,5 (Delvaux, 1995).

1.6. Importance socio-économique et alimentaire de la banane

Au plan économique, culturel et nutritionnel, les bananes et bananes plantains ont une grande importance dans le monde entier et particulièrement dans les pays en développement des régions tropicales (Dadzie et Orchard, 1997). La banane est une culture de premier plan dans la production et le commerce agricoles à l'échelle mondiale. Dans les pays producteurs, les bananes font partie des principaux aliments de base des populations et sont aussi une importante source d'emploi et de revenus dans les marchés intérieurs et extérieurs (Frison et Sharrock, 1999). La banane est le quatrième produit agricole mondial après le riz, le blé et le maïs. Dans la filière fruitière, la banane dessert occupe la première place avec un peu plus de 20 956 400 tonnes en Afrique et environ 116 000 000 tonnes produites pour une valeur de 31 milliards d'USD en 2019 à l'échelle mondiale (FAO, 2020). La production mondiale des bananes dessert et bananes plantains en 2019 est présentée dans les tableaux III et IV.

Tableau III : Principaux pays producteurs et production de bananes dessert en 2019 (FAO, 2020)

Pays	Continent	Production (t)
Inde	Asie	30 808 000
Chine	Asie	11 221 700
Indonésie	Asie	7 264 383
Indonésie	Asie	7 264 383
Brésil	Amérique latine	6 752 171
Equateur	Amérique latine	6 505 635
Philippines	Asie	6 144 374
Guatemala	Amérique latine	4 026 547
Colombie	Amérique latine	3 707 152
Angola	Afrique	3 492 184
Tanzanie	Afrique	3 469 091
Costa Rica	Amérique latine	2 528 788
Mexique	Amérique latine	2 354 479
Viet Nam	Asie	2 087 275
Papouasie	Asie	2 087 275
Rouanda	Afrique	1 739 007
Burundi	Afrique	1 654 955
Egypte	Afrique	1 388 199
Papouasie-NG	Océanie	1 383 174
Cameroun	Afrique	1 203 440
R-Dominicaine	Amérique	1 175 710
Thaïlande	Asie	1 045 352
Soudan	Afrique	951 233
Bangladesh	Asie	810 347
Côte d'Ivoire	Afrique	397 305

Tableau IV : Principaux pays producteurs et production de bananes plantain en 2019 (FAO, 2020)

Pays	Continent	Production (t)
République Démocratique du Congo	Afrique	4 756 287
Ghana	Afrique	4 169 990
Cameroun	Afrique	3 940 818
Ouganda	Afrique	3 805 377
Colombie	Amérique latine	3 580 845
Philippines	Asie	3 214 411
Nigéria	Afrique	3 093 872
Pérou	Amérique latine	2 194 876
Côte d'Ivoire	Afrique	1 883 063
Myanmar	Asie	1 226 994
République Dominicaine	Amérique	1 048 693
Cuba	Amérique latine	689 319
Sri-Lanka	Asie	672 239
Equateur	Amérique Latine	651.968
Tanzanie	Afrique	576 477
Venezuela	Amérique Latine	530 160

Au plan culturel, les bananes jouent un rôle considérable dans plusieurs régions du monde. Dans la légende hindoue, le fruit interdit du jardin d'Eden serait la banane. La banane est le symbole de la fertilité et de la prospérité dans des communautés d'Asie du Sud où elle est exposée dans les cérémonies nuptiales (Frison et Sharrock, 1999 ; Kagy, 1999).

Les bananes pourraient être utilisées dans le traitement des ulcères gastriques et de la diarrhée à cause de leur composition chimique voisine de celle du mucus tapissant l'estomac. En Afrique, on utilise les peaux de bananes mûres pilées comme cataplasmes pour les blessures. De plus, l'intérieur de la peau aurait des propriétés antiseptiques, donc peut être utilisé comme soin sur les blessures (Sharrock, 1996). Le "CellQuest", un complément alimentaire, à base d'extrait naturel du pseudotrunc, breveté et commercialisé aux Etats-Unis, aide à prévenir ou à guérir le cancer.

Les bananiers sont utilisés comme fibres dans la fabrication de certains papiers et cordes. L'amidon extrait des pseudos-troncs de bananiers sert à produire de la colle. La sève

de bananier peut être utilisée comme teinture. Les bananiers sont des plantes source d'ombrage pour de nombreuses cultures telles que le cacaoyer, le caféier, le poivrier et le muscadier. Presque toutes les parties de la plante peuvent être utilisées. Le cultivar Kalpatharu est la plante de toutes les vertus en Inde. Le fruit est consommé comme dessert, les feuilles sont utilisées comme assiettes pour le dîner et le bourgeon mâle est utilisé comme légume. Les racines servent de décoction médicale et la sève est utilisée comme encre indélébile. Enfin l'extrait naturel du pseudotrunc est un complément alimentaire et les résidus de culture sont utilisés pour produire du compost (Lassoudière, 2010).

La grande partie des bananes plantains produites sont consommées localement. La majorité des cultivars est riche en sels minéraux (potassium, calcium, phosphore) et en vitamines A, B et C (Ploetz, 1994). En plus d'être consommé crues ou cuites, elles peuvent être transformées en fibres (*Musa textilis*), en bière, en farine, en alcool et en vinaigre (Dadzie et Orchard, 1997 ; Frison et Sharrock, 1999 ; Tchango Tchango et Ngalani, 1999). Tout comme le cœur du bananier prélevé au centre du pseudo-tronc, les fleurs mâles de certaines espèces de *Musa* peuvent être consommées (Frison et Sharrock, 1998). Les bananes sont surnommées "l'aliment de la bonne humeur" en Australie pour leur forte teneur en vitamine B6 qui soulage le stress et l'anxiété. La peau des bananes sert à la produire de la potasse pour la fabrication de savon et pour faire la cuisine. La banane concourt à la sécurité alimentaire de millions de personnes dans les pays en voie de développement ; c'est un aliment riche et relativement complet. La banane est facilement digestible et est souvent la première nourriture solide donnée aux enfants dans les tropiques (Schoofs, 1997).

Les bananes et bananes plantain sont riches en sucre : c'est à dire 22 % de la portion comestible dans la banane dessert et 31 % dans le plantain. Les bananes sont également riches en potassium, calcium et phosphore, vitamine C (dessert) et vitamine A (plantain). La banane est le fruit qui contient le plus de protéines. En plus du magnésium, elle contient du sodium et du sélénium. La banane fait partie de tous les régimes sans sel parce qu'elle ne contient pas de chlorure de sodium (Krishnamoorthy, 2002). De surcroît, elle ne contient pas de cholestérol et 100 grammes de bananes contiennent autant de calories que 100 grammes de yaourt aux fruits (Tableau V).

Tableau V : Valeurs nutritionnelles des bananes dessert et bananes plantain (Sharrock et Lusty, 2000)

Substances	Banane	Banane plantain
Energie alimentaire (Kcal)	92	122
Protéines (g)	1,03	1,3
Graisse (g)	0,48	0,37
Hydrate de carbone (g)	23,43	31,89
Calcium (mg)	6	3
Fer (mg)	0,31	0,6
Potassium (mg)	396	499
Sodium (mg)	10	4
Vitamine C (mg)	9,1	18,4
Thiamine (mg)	0,045	0,052
Riboflavine (mg)	0,1	0,054
Niacine (mg)	0,54	0,686
Vitamine A (UI)	81	1127
Acides gras saturés (g)	0,185	0,143
Acides gras mono-insaturés (g)	0,041	0,032
Acides gras polyinsaturés (g)	0,089	0,069
Eau (g)	74,26	65,28

UI : Unités internationales

1.7. Principales contraintes biotiques liées à la culture du bananier

Comme toutes les cultures, les bananiers sont sujets à de multiples contraintes biotiques dont les ravageurs et les maladies. Les ravageurs qui menacent les bananeraies sont les nématodes et les insectes. Tandis que les maladies sont causées par les champignons, les virus et les bactéries.

1.7.1. Ravageurs du bananier

A l'image de la majorité des cultures, les bananiers sont attaqués par une multitude de ravageurs (Lassoudière, 2007). Il existe deux principaux types de ravageurs de la culture du bananier. Il s'agit des charançons du bananier et des nématodes.

1.7.1.1. Charançons des bananiers

Le charançon noir du bananier, (*Cosmopolites sordidus* (Coleoptera : Curculionidae)), est originaire d'Indo-Malaisie, c'est l'un des principaux ravageurs des bananiers et du genre

Ensete. L'adulte mesure 10-15mm et est noir. Il est beaucoup sensible au dessèchement et a une activité nocturne. On retrouve le charançon noir dans le sol à la base du pied de bananiers, dans les gaines foliaires et dans les débris végétaux (Figure 3). Les adultes peuvent vivre longtemps sur le même pied. Seule une petite proportion peut migrer à plus de 25 mètres en l'espace de six mois. Les charançons volent rarement. Leur dispersion se fait généralement à travers le matériel végétal infesté (Gold et Messiaen, 2000). Les symptômes d'attaques des charançons apparaissent généralement dans les feuilles. Elles s'étiolent et le dessèchement commence par les feuilles des périphéries. Le bananier paraît souffrir de la sécheresse et les régimes sont de très petites formes. La majorité des racines se dessèchent et il arrive que les bananiers atteints soient déracinés par le vent (Buyckx, 1963). Les pertes engendrées par les charançons sont estimées à plus de 40 %, avec la réduction du poids des régimes (Gold et Messiaen, 2000). Le charançon noir du bananier se retrouve dans toutes les régions tropicales et subtropicales productrices de bananes et de bananes plantain (Gold et Messiaen, 2000).

Il existe plusieurs méthodes employées pour lutter contre le charançon noir du bananier, variant d'un système à un autre selon la densité de la population et les dégâts de ce ravageur. La lutte chimique est la plus courante dans les plantations commerciales. Le seul moyen à la portée des petits producteurs est la lutte culturale qui consiste à désinfecter le rejet à l'eau bouillante ou à nettoyer le bulbe à l'aide d'une machette avant la plantation. Une étude a montré que des isolats du champignon *Metarhizium* causent la mort des charançons allant jusqu'à 100 % de mortalité pour certains isolats (Aby *et al.*, 2010).

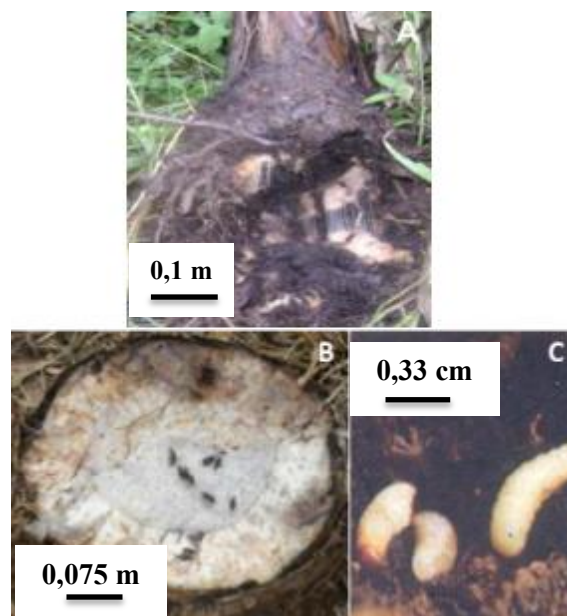


Figure 3 :(A) Galeries creusées par les larves de charançon dans le rhizome (B) charançons adultes ; (C) larves du charançon du bananier (Source : Bizimana *et al.*, 2012).

1.7.1.2. Nématodes parasites des racines

Les nématodes sont des vers microscopiques de 0,3 à 5 mm de long et de 0,01 à 0,1 mm de diamètre (Figure 4). Ils sont munis dans leur partie antérieure d'un stylet ou "aiguille" qui leur permet de pénétrer dans les organes végétaux et de se nourrir aux dépens des cellules de la plante. Chez les Musaceae, il existe 138 espèces de nématodes parasites réparties en 39 genres (Mateille *et al.*, 1992). En Côte d'Ivoire, 19 espèces de nématodes appartenant à 15 genres ont été décrites sur les bananiers plantain (Adiko, 1988).

Les phytonématodes les plus dévastateurs et les plus largement répandus sont les endoparasites migrateurs *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*, le semi-endoparasite *Helicotylenchus multicinctus* (Araya *et al.*, 2002) et le nématode sédentaire *Meloidogyne* spp. Les nématodes constituent une contrainte majeure à la production de bananes et de bananes plantain dans le monde entier (Gowen et Quénéhervé, 1990). Ils occasionnent des dommages directs aux racines et au corme, provoquant la chute des plants en raison du pourrissement du système racinaire (Montiel *et al.*, 1997). Ceci conduit à un allongement de la phase végétative. Ils provoquent des réductions de croissance, entraînant une diminution du nombre des feuilles, ainsi que du poids des fruits. Les pertes de production sont estimées entre 20 % (Sasser et Freckman, 1987) et 80 % (Sarah, 1989).

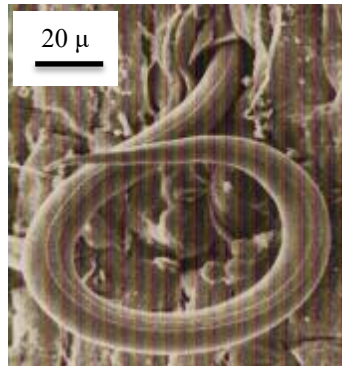


Figure 4 : Nématode à l'intérieur des racines (Tabarant 2013)

1.7.2. Maladies des bananiers

1.7.2.1. Maladies bactériennes

•Maladie de Moko

La maladie de Moko est causée par *Ralstonia solanacearum* (biovar 1 race 2) ex *Pseudomonas solanacearum*. Elle se retrouve dans beaucoup de pays (Smith *et al.*, 1997). Toutes les variétés commercialisées lui sont sensibles (Stover, 1972). Elle est largement répandue aux Philippines chez les cultivars de bananes à cuire, d'où l'appellation maladie de bugtok. Les feuilles centrales deviennent jaune-vert sur le bananier adulte ; le limbe lui devient jaune sale sur les nervures. Le pétiole se casse, les feuilles centrales se dessèchent et

meurent. Cette maladie sévit en Amérique latine où des pertes de rendements de 74 % ont été rapportées en Guyanes (Phelps, 1987). Elle se confond aisément avec la fusariose du bananier causée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*. La distinction entre ses deux maladies se fait quand les fruits sont atteints. En effet, lorsqu'une pourriture brune et subsèche s'observe sur ceux-ci, il s'agit de la maladie du Moko (Figure 5). Sur les plantes jeunes et à croissance rapide, les feuilles les plus jeunes virent au vert pâle ou au jaune et s'affaissent. En l'espace d'une semaine toutes les feuilles peuvent ainsi s'affaïsser. Les jeunes repousses peuvent noircir, se rabougir ou se tordre (Hayward, 1983). La bactérie peut être isolée à partir de la substance laiteuse qui suinte des bractées détachées des inflorescences mâles infectées. Il peut également être isoler à partir des gouttelettes d'exsudat bactérien, de couleur variable allant du blanc au jaune ou au brun rougeâtre, qui suintent des pédoncules coupés placés en milieu humide (Soguilon *et al.*, 1995). La transmission de la maladie est facilitée par des insectes notamment, les thrips (Eden-Green, 1994).

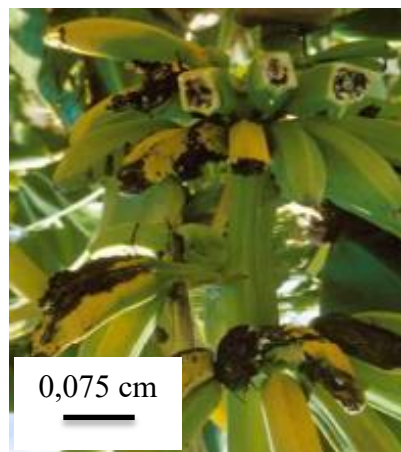


Figure 5 : Pourriture brune et subsèche observée sur les fruits du bananier atteint par la maladie de Moko (Source : Yabuuchi *et al.*, 1996)

•Flétrissement bactérien du bananier

Le flétrissement bactérien, causée par *Xanthomonas campestris* pv. *Musacearum*, a été décrite pour la première fois par Yirgou et Bradbury (1968) sur l'ensete (*Ensete ventricosum*) en Ethiopie. Elle était connue sous le nom de « flétrissement bactérien de l'ensete ». Cette maladie était très préjudiciable pour le bananier. Cependant, étant donné que les bananiers ne sont pas une culture importante en Ethiopie, elle n'était pas considérée comme une menace importante (Ploetz, 2004). Après son apparition dans ce pays, elle s'est disséminée par la suite en Afrique de l'Est (Tanzanie), puis en Afrique Centrale (Ouganda) où elle s'est fortement implantée. Les symptômes (Figure 6) les plus récurrents sont le flétrissement et le mûrissement prématuré des bananes, généralement moins d'un mois après la floraison.

Lorsque les plantes sont sévèrement affectées, le bourgeon mâle apparaît flétri et parfois décoloré. La hampe du bourgeon floral montre une décoloration qui progresse de la base du bourgeon mâle vers le régime. Il apparaît une sécrétion de couleur crème typique de nombreuses infections bactériennes dans la zone la plus proche du bourgeon mâle (Ndungo *et al.*, 2005).

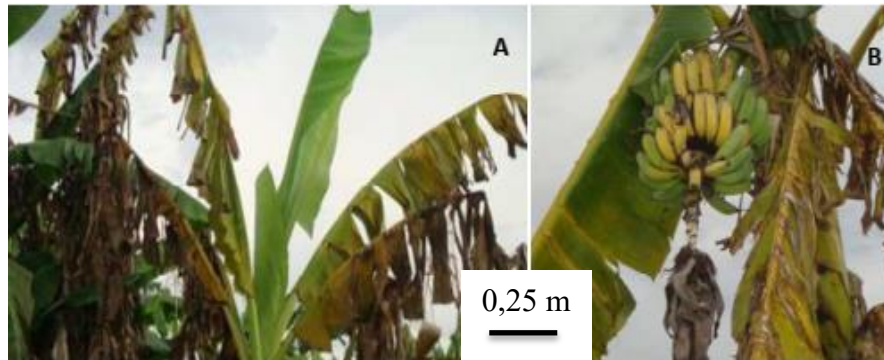


Figure 6: Symptômes du flétrissement bactérien du bananier causé par *Xanthomonas campestris* pv. *Musacearum* (Source : Bizimana *et al.*, 2012)

(A) : Flétrissement et rupture des feuilles au niveau du tiers supérieur et (B) : Pourriture de la fleur mâle et des bananes causées par BXW

•Maladie du sang du bananier

La maladie du sang du bananier est causée par la bactérie *Pseudomonas celebensis*. Signalée pour la première fois, il y a environ 80 ans, en Indonésie, dans le sud de Sulawesi (ancien archipel des Célèbes), cette maladie se rencontre généralement chez le cultivar Pisang Kepok (ABB/BBB. 'Saba'). Cependant, elle affecte d'autres groupes, avec des symptômes semblables à ceux de la maladie de Moko. Ces symptômes (Figure 7) varient en fonction du stade de croissance de la plante et le mode d'infection. Sur les feuilles entièrement déployées des plants de tous âges apparaît un jaunissement transitoire très apparent, une perte de turgescence, une dessiccation et une nécrose. Au niveau des plants âgés, la base du pétiole s'affaisse, et les feuilles flétries pendent alors autour du pseudo-tronc. Les plus jeunes feuilles n'émergent plus et il apparaît des plaques blanchâtres puis nécrotiques sur leurs limbes (Eden-Green, 1994).

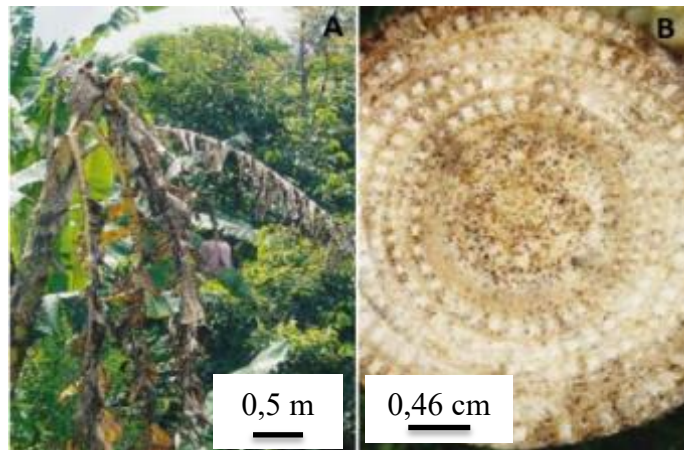


Figure 7: Symptômes de la maladie du sang du bananier (Source : Eden-Green, 1994)

(A) : Décoloration et affaissement du feuillage et (B) : Coupe transversale d'un pseudotrunc mature

1.7.2.2. Maladies virales

•Maladie de Bunchy Top du bananier (BBTD)

Appelé aussi maladie du sommet touffu, la maladie de Bunchy Top du bananier est causée par *Banana bunchy top virus* (BBTV). C'est une affection très grave des bananiers et des bananiers plantain dans le monde. Elle fait partie des contraintes majeures en Asie du Sud-Est et du Pacifique. Elle a été observée pour la première fois en 1889 aux îles Fidji et a par la suite été identifiée dans la région du Pacifique, en Asie. En Afrique, elle a été signalée en Egypte, au Burundi, au Rwanda, au Zaïre et au Gabon (Fouré et Manser, 1982). La propagation à distance est faite à travers le déplacement de matériel végétal infecté (rejets, souches, vitroplants). La maladie est transmise par un Aphidae, le puceron du bananier (*Pentalonia nigronervosa*) et se propage par multiplication végétative des plants infectés (Lepoivre, 2003). Les plants infectés par le Bunchy top présentent plusieurs symptômes (Figure 8). Quand la maladie est avancée, ils deviennent comme la rosette, avec des feuilles étroites, dressées et progressivement de plus en plus courtes, d'où l'appellation de « Bunchy top » ou sommet touffu (Thomas *et al.*, 1994).



Figure 8: Principaux symptômes de maladie de Bunchy Top du bananier (Source : Bizimana *et al.*, 2012)

(A) : décoloration des feuilles et (B) : feuilles en bouquet dressé vers le haut

•Mosaïque des bractées du bananier

La mosaïque des bractées du bananier est provoquée par le virus de la mosaïque des bractées du bananier (ou *Banana Bract Mosaic Virus* : BBrMV) qui est un Potyvirus. Ce virus est transmis par trois espèces de pucerons : *Aphis gossypii*, *Rhopalosiphum maidis* (Magnaye et Espino, 1990) et *Pentalonia nigronervosa* (Diekman et Putter, 1996). Une mosaïque brune apparaît sur les bractées des bananiers infectés, avec des décolorations et des pigmentations du pseudo-tronc (Figure 9). Il apparaît aussi des traits colorés en forme de fuseaux sur le limbe des jeunes feuilles qui disparaissent très vite à la maturité des feuilles (Thomas *et al.*, 2000). Des mosaïques verts/jaune importantes apparaissent sur les fruits.

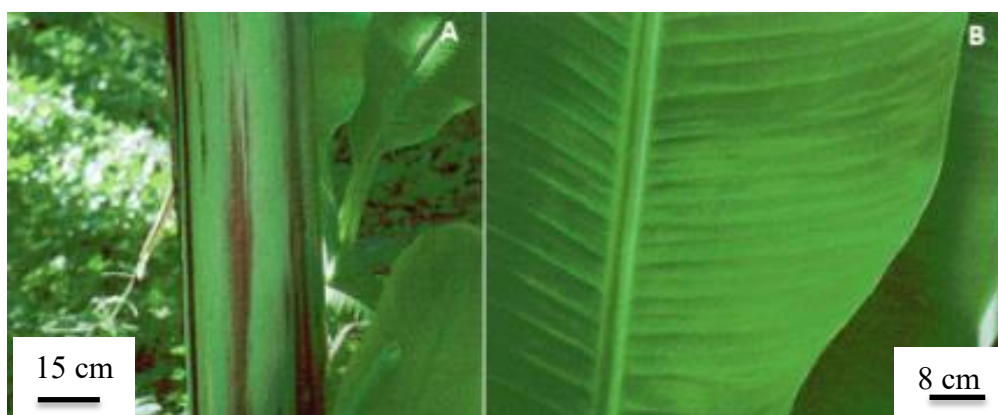


Figure 9: Symptômes de la mosaïque des bractées du bananier (Source : Thomas et Magnaye, 1996)

(A) : Mosaïque et lésions fusiformes sur le pseudotronc et (B) : Lésions chlorotiques fusiformes sur le limbe d'une feuille

•Mosaïque en plages du bananier ou Mosaïque du concombre

Le virus de la mosaïque du concombre (ou *Cucumber Mosaic Virus* : CMV) est responsable de cette maladie. Deux groupes sérologiques de ce virus sur trois sont importants. Ce virus s'attaque à une large gamme de bananiers (les variétés du groupe Cavendish et les plantains de type Corne). Il existe plusieurs vecteurs de cette maladie, mais le plus fréquent est *Aphis gossypii*. Les symptômes (Figure 10) apparaissent durant la saison froide. Les attaques sont sporadiques, localisées et sont devenues fréquentes sur les vitroplants ; les symptômes deviennent visibles 2 à 3 mois après plantation. La contamination se produit en pépinière ou au champ. La mosaïque se manifeste entre la nervure centrale et les bords des feuilles infectées. La feuille peut mourir dès l'émergence. La maladie provoque des marbrures et des nécroses qui sont à l'origine du rabougrissement de la plante. En Côte d'Ivoire et au Cameroun, les attaques peuvent atteindre 10 % des plants (Kumar *et al.*, 2009).



Figure 10: Mosaïque en plage du bananier (Source : Lassoudière, 2007)

1.7.2.3. Maladies fongiques

Les maladies fongiques des bananiers sont très répandues et destructives, elles s'attaquent aux feuilles, aux racines, au pseudo-tronc et aux fruits.

•Les maladies du système racinaire, du corne et du pseudo-tronc

La fusariose du bananier ou maladie de Panama est due à un champignon tellurique, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E.F. Smith) Snyder et Hansen (FOC). Elle a été découverte en Australie en 1874, mais est devenue endémique en Amérique centrale, au Panama en 1890. Elle fait partie des maladies les plus dangereuses pour les bananiers et bananiers plantain (Ploetz et Pegg, 2000). Le champignon a été observé dans les racines de différents cultivars de bananiers dans divers pays (Speijer *et al.*, 1993 ; Ploetz *et al.*, 1995). Elle a causé la disparition du cultivar Gros Michel entre 1935 et 1965 en Amérique latine et aux caraïbes. *F. oxysporum* colonise le xylème des bananiers et provoque un flétrissement vasculaire létal (Lassoudière, 2007). Lorsque les bananiers sont attaqués (Figure 11), les

feuilles tournent au jaune vif, flétrissent et s'affaissent sur le pseudo tronc (Ploetz *et al.*, 1994). Les clones des sous-groupes ABB 'Bluggoe' et AAA 'Gros Michel' lui sont sensibles. La sensibilité de Gros Michel a entraîné l'adoption de cultivars du sous-groupe AAA 'Cavendish' qui sont ainsi devenus les principaux types de bananes d'exportation.

Une autre maladie qui s'attaque au système racinaire est la nécrose des racines ; elle est le fait de champignons du genre *Cylindrocladium*. D'autres espèces de ce genre sont également associées aux nécroses du bananier en Amérique centrale, en Asie et en Afrique (Risède et Simoneau, 2004). Cette maladie est très répandue et les moyens de contrôle ne sont pas très développés. Cependant, une étude a montré que l'apport du silicium au bananier permettait de renforcer la tolérance du bananier à l'infection par *C. spathiphylli* (Vermeire *et al.*, 2011).



Figure 11: Symptômes de la fusariose du bananier (Source : Bizimana *et al.*, 2012)

(A) : Jaunissement et flétrissement des feuilles ; (B) : Brunissement des gaines causés par la fusariose.

•Maladies des fruits

De grandes pertes de rendement sont provoquées par les champignons pathogènes des fruits des bananiers. En effet, les fruits infectés ne peuvent plus être commercialisés car rejetés par les consommateurs (Wardlaw, 1961 ; Stover, 1972 ; Dadzie et Orchard, 1997). Les maladies cryptogamiques des fruits sont regroupées en maladies pré-récolte et post-récolte. Les maladies pré-récolte sont caractérisées par une infection suivie du développement des symptômes en champ avant la récolte. Les maladies post-récolte, quant à elles, résultent d'une infection latente en champ ou d'une infection post-récolte du fruit, suivie dans les deux cas du développement des symptômes après la récolte dans les mûrisseries ou encore lors des transits. Le tableau VI présente quelques maladies des fruits dues aux champignons.

•Maladies dues aux champignons telluriques

Il existe plusieurs champignons telluriques associés au système souterrain du bananier à travers le monde. Le champignon tellurique *Zythia* sp., est un parasite des racines du

bananier (Kobenan, 1990). Il présente un thalle et un appareil fructifère d'un jaune très vif et se compose de nombreuses pycnidiospores monocellulaires (Kobenan *et al.*, 1997). La température optimale de sa croissance se situe entre 20 et 25 °C et les sols acides lui sont favorables. Ce champignon est responsable de nécroses, qui par coalescence, engainent la racine du bananier et provoquent la perte des fonctions d'absorption.

Tableau VI : Principales maladies des fruits de bananiers

Maladie	Type	Pathogène	Symptômes	Références
Anthracnose de blessures	Post-récolte	<i>Colletotrichum musae</i>	Nécroses larges, circulaires, brunes ou noires recouvertes de spores orangées sur fruit mûr.	De Lapeyre de Bellaire, 1999
Anthracnose de quiescence	Post-récolte	<i>Colletotrichum musae</i>	Nécroses brunes ou noires sur fruit vert.	Meredith, 1960
Maladie du bout de cigare	Pré-récolte	<i>Trachysphaera fructigena</i>	Jaunissement précoce de la partie apicale du fruit vert, suivi d'une nécrose noire, ridée et sèche, l'apex se recouvre de mycélium gris et ressemblant à la cendre d'un cigare éteint.	Wardlaw, 1961 ; Feakin, 1971
		<i>Verticillium theobromae</i>	Pourriture sèche et momification de la pulpe.	Stover, 1972 ; Slabaugh, 1994
Maladie de la pourriture de la couronne	Post-récolte	<i>Colletotrichum musae</i> , <i>Fusarium</i> sp., <i>Botryodiplodia theobromae</i>	Ramollissement et noircissement des tissus de la couronne, pouvant se recouvrir de mycélium blanc, gris ou brun.	Jones et Stover, 2000
Pourriture du doigt à <i>Trachysphaera fructigena</i>	Post-récolte	<i>Trachysphaera fructigena</i>	Nécroses noires recouvertes de conidies blanches ou brunes. Pulpe momifiée et fibreuse résultant d'une pourriture sèche, ou molle en cas de pourriture humide	Dadzie et Orchard, 1997

•Autres maladies fongiques

D'autres champignons comme *Cylindrocarpon musae* et *Cylindrocladium* sp. sont responsables des baisses de rendements dans les plantations martiniquaises à cause de la dégradation du système racinaire (Loridat, 1989 ; Loridat et Ganry, 1989). *Cylindrocladium* a été isolé pour la première fois dans des racines nécrosées de bananiers en Côte d'Ivoire et s'est montré pathogène sur les bananiers par inoculation (Kobenan, 1991).

•Maladies du système foliaire

Les maladies du bananier qui causent le plus de dégâts sont provoquées par *Mycosphaerella* spp. Et *Cladosporium musae*.

➤ La cladosporiose

La cladosporiose est causée par le champignon Deutéromycète *Cladosporium musae* Mason. La plupart du temps elle est associée à la maladie des raies noires en Côte d'Ivoire (Koné, 1998). Elle est présente en Australie, en Afrique et en Amérique latine (Sebasigari et Stover, 1988 ; Jones, 1994). Son identification a été faite sur les cultivars du groupe Cavendish en Afrique du Sud (SurrIDGE *et al.*, 2003). Les colonies sont grises verdâtre à vert olive et croissent lentement 1 à 3 mm/j en moyenne (Koné *et al.*, 2004). La maladie provoque un dessèchement prématuré des feuilles (Frossard, 1963) et réduit leur capacité photosynthétique. Les premiers symptômes (Figure 12) de la maladie sont des tirets de couleur brune de dimensions 0,3 mm x 1,5 mm. Les tirets s'allongent et s'élargissent et peuvent atteindre des dimensions de 15 mm x 30 mm. Les feuilles attaquées deviennent jaune orangé et se nécrosent (Stover, 1972). La maladie est particulièrement sévère sur les cultivars Petite naine, Grande Naine, Poyo et Lacatan en Afrique de l'Ouest (Frossard, 1963). Elle est une sérieuse contrainte sur le groupe des Sucriers en Thaïlande (Jones, 1994). La cladosporiose, en association avec les cercosporioses, provoque des pertes de rendements atteignant 37 % chez les cultivars du sous-groupe Lujugia-Mutika en Ouganda (Tushemereirwe, 1996).

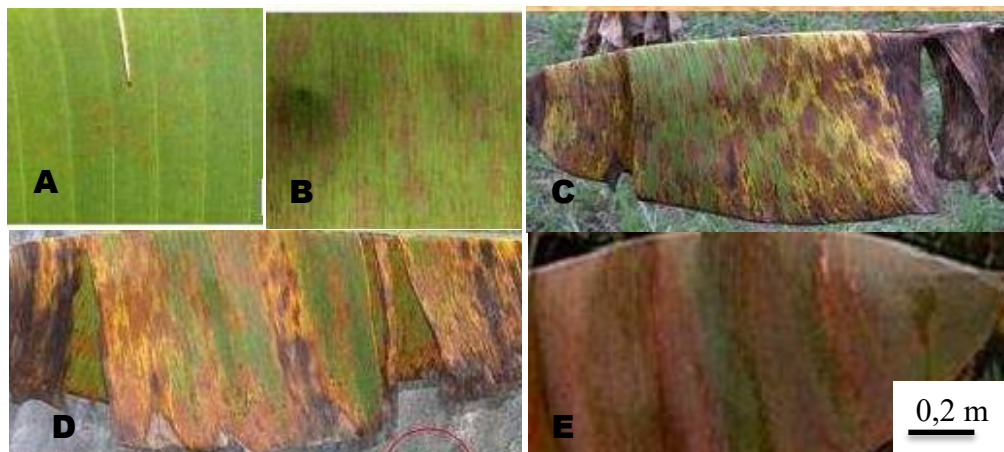


Figure 12 : Différents stades d'évolution de la cladosporiose dans les conditions naturelles d'infection (Koné *et al.*, 2004).

A et B : jeunes stades/C, D et E : stades avancés

➤ Cercosporioses du bananier

Le genre *Mycosphaerella* renferme plus de 2000 espèces (Corlett, 1995). Ainsi, il fait partie des genres les plus larges de la classe des Ascomycètes. Au sein de ce genre, seulement 23 espèces ont une forme anamorphe connue (Crous *et al.*, 2000). Certaines sont saprophytes et beaucoup sont associées à des nécroses des tiges, feuilles et fruits de plusieurs hôtes.

Quatre espèces sont reconnues associées à des affections sur les feuilles de bananiers et de bananiers plantain. Ce sont *M. fijiensis*, *M. musicola*, *M. musae* et *M. eumusae*. Ces champignons sont différenciables par les caractéristiques morphologiques de leurs formes anamorphes (Tableau VII).

Les formes sexuées (ascospores) de ces champignons étant similaires, les espèces ne peuvent être distinguées seulement qu'à partir des formes asexuées (conidies). Auparavant, les formes imparfaites de *M. fijiensis* Morelet et de *M. musicola* Leach étaient classées dans le genre *Cercospora*. Actuellement, elles sont séparées en *Paracercospora fijiensis* et *Pseudocercospora musae* (Pons, 1990). Initialement, la forme imparfaite de *M. eumusae* avait été nommée *Septoria* (Carlier *et al.*, 2000), mais des études plus précises de morphotaxonomie ont permis de l'identifier comme appartenant au genre *Pseudocercospora* (Crous et Mourichon, 2002).

Tableau VII : Caractéristiques morphologiques des formes anamorphes du genre *Mycosphaerella* pathogène (Crous et Mourichon, 2002).

	Espèce (anamorphe)		
	<i>Paracercospora fijiensis</i>	<i>Pseudocercospora musae</i>	<i>Pseudocercospora eumusae</i>
Conidiophores			
Première apparition	Stades tirets (stades 2 et 3 de Fouré, 1982)	Tache stade 4 (Brun, 1963)	Stades taches
Organisation	Émerge un par un ou en petits groupes de 2 à 6 des stomates, pas de stroma ni de sporodochies.	En faisceaux denses (sporodochies) issus d'un stroma foncé sous-stomatique	
Face de la feuille	Principalement sur la face inférieure du limbe	Abondants sur les deux côtés de la feuille, souvent plus nombreux à la face inférieure du limbe	Principalement sur la face supérieure du limbe
Morphologie	Droits ou géciculé, pâle à brun, clair, 0-5 cloisons, occasionnellement ramifiés à la base, cicatrices d'insertion des spores bien visibles légèrement épaisses.	Presque droits, hyalins, généralement sans cloison ni géciculation, pas de cicatrice d'insertion visible.	En forme de poire, immergé, plus ou moins éruptif, avec ostiole lorsque jeune mais plutôt de type acervulé à maturité
Dimensions (µm)	Entre 16,5 et 62,5 x 4 et 7 µm	Entre 5 et 20 x 2 et 5 µm	De 31 à 42 µm
Conidies	Pas de stroma	Stroma	
Morphologie	Obclavates à cylindro-obclavates, droites ou courbées, hyalines à olivacées très pâle, 1 à 10 cloisons, hile basal d'insertion visible légèrement épaissi, base tronquée	Cylindrique à obclavato-cylindrique ; droites ou courbées, olivacées pâle, 0 à 8 cloisons, pas de cicatrice visible, absence de hile basal distinct	Fusiforme, hyaline, cylindrique et courbé, 3 à 5 cloisons
Dimensions (µm)	Entre 30 et 132 x 2,5 et 5 µm	Entre 10 et 109 x 2 et 6 µm	Entre 21,2 et 41,6 x 2,5 µm

Chez les trois espèces, les conidies sont allongées, septées, hyalines, aciculaires et sont formées singulièrement à l'apex du conidiophore. L'épaississement des parois cellulaires est absent chez les conidies de *M. musicola* et observable à la base des conidies de *M. fijiensis*. En outre, les conidies de *Pseudocercospora fijiensis* sont dans l'ensemble plus longues et plus flexueuses que celles de *P. musae*. Chez *P. musae*, les conidiophores sont en général lagéniformes et plus courts que ceux de *P. fijiensis*, qui sont allongés, souvent courbés et exhibent des cicatrices conidiennes. Chez *M. eumusae*, les fructifications apparaissent

principalement sur la face supérieure du limbe. Les fructifications sont en forme de poire, immergées, plus ou moins éruptives. Les conidies sont fusiformes, hyalines, cylindriques et courbes, 3 à 5 cloisons et mesurent 21,2 et 41,6x 2,5µm. Les quatre espèces, *Mycosphaerella fijiensis*, *M. musicola*, *M. musae* et *M. eumusae*, sont responsables respectivement de la maladie des raies noires (MRN) ou cercosporiose noire, de la maladie de Sigatoka (MS) ou cercosporiose jaune, de la maladie de feuilles tachetées ou moucheture et de la maladie des taches foliaires ou septoriose due à *eumusae* (Figure 13). Elles attaquent le système foliaire et peuvent provoquer sur les variétés sensibles, des pertes de rendement très significatives (Fouré et Mouliom Pefoura, 1988). Ces maladies qui provoquent des taches et un dessèchement important des feuilles sont parmi les affections cryptogamiques les plus dévastatrices du bananier (Gasparotto *et al*, 2005).

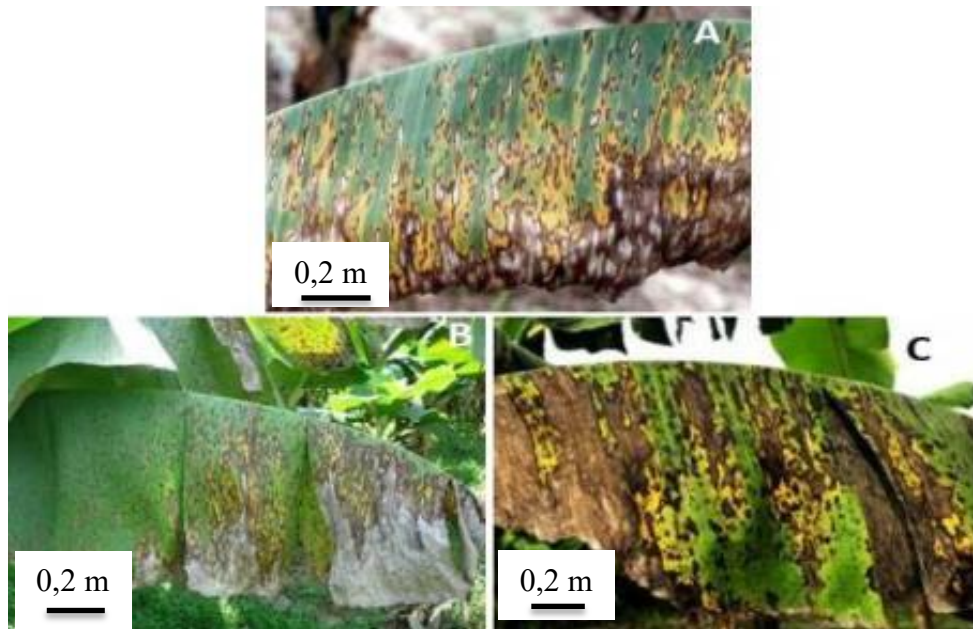


Figure 13 : Symptômes foliaires localisés des cercosporioses (Crous et Mourichon, 2002)

(A) Maladie des raies noires ; (B) Maladie de sigatoka ; (C) Maladie des taches septoriennes

2. GENERALITES SUR LA CERCOSPORIOSE NOIRE DU BANANIER

2.1 Origine et distribution de la cercosporiose noire du bananier

La cercosporiose noire, causée par *M. fijiensis*, a été observée, pour la première fois dans l'île de Vitu Levu de la République des îles Fiji, en 1963 (Lassoudière, 2012). C'est d'ailleurs en raison de la première description sur cette île que l'espèce tient son nom. La première mention des dommages de la maladie a été faite dans la vallée de Sigatoka. En février 1963, une expansion rapide de la maladie des raies noires a été annoncée dans la vallée (Rhodes, 1964) et, elle devrait affecter toute l'île vers la fin de l'année 1964 (Leach, 1964). A partir de son centre d'origine du Sud-Est asiatique, *M. fijiensis* a connu deux expansions continentales rapides qui se sont toujours traduites par le remplacement de *M. musicola* qui était auparavant l'espèce prévalente. Un développement rapide de cette maladie a été observé en Amérique Latine où *M. fijiensis* a été décrit pour la première, fois au Honduras, en 1972. La cercosporiose s'est rapidement répandue à d'autres zones productrices de banane dans le monde, avec la diffusion du matériel végétal (Carlier *et al.*, 2000). Elle est présente dans toutes les basses terres tropicales humides (Ploetz et Pegg 2000). L'aire de répartition de *Mycosphaerella fijiensis* s'étend progressivement à toutes les zones de production (Figure 14) de bananes (Ploetz et Pegg, 2000 ; Mourichon, 2003). *M. fijiensis* a été introduit en Australie en 1983 et y a été complètement éradiqué (Henderson *et al.*, 2006). En Afrique, cette maladie a été observée une première fois en Zambie en 1973. Elle a ensuite été identifiée au Gabon en 1978. En Afrique de l'Est, la maladie des raies noires (MRN) a été retrouvée au Kenya en 1998 (Kung'u *et al.*, 1992), au Rwanda en 1986 (Sebasigari, 1990), au Burundi en 1987 (Sebasigari et Stover, 1988), en Ouganda en 1990 (Tushemereirwe et Waller, 1993) et au Malawi en 1990 (Ploetz *et al.*, 1992 ; Mourichon, 2003). Au Cameroun, *M. fijiensis* a été signalé pour la première fois en 1981 (Fouré *et al.*, 1984). Elle a été signalée en RDC par Mourichon en 1986. En Côte d'Ivoire, la cercosporiose noire a été observée, pour la première fois, en 1985, dans la région d'Aboisso (Mourichon et Fullerton, 1990). La maladie a ensuite été observée dans plusieurs autres localités du pays depuis sa première mention en 1985 (Camara, 2011 ; Kassi, 2014).

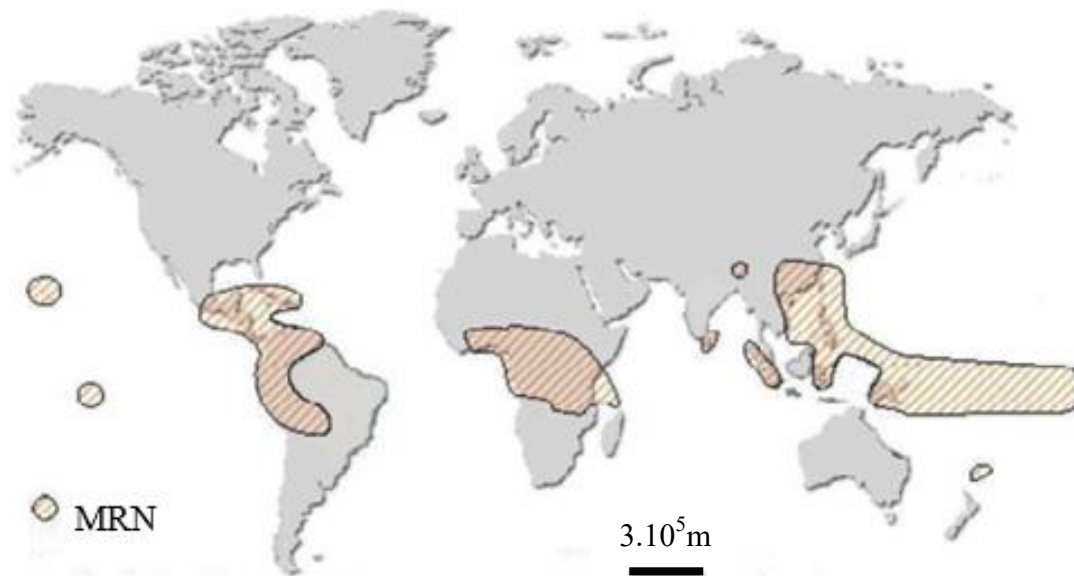


Figure 14 : Distribution géographique de la maladie des raies noires dans le monde (Cabi, 2007).

2.2 Systématique, biologie et génétique de *Mycosphaerella fijiensis*

Le champignon *Mycosphaerella fijiensis* Morelet appartient au Phylum des Ascomycota, à la Classe des Dothideomycètes et la sous-classe des Dothideomycetidées. Il appartient à l'Ordre des Capnodiales, à la Famille des *Mycosphaerellaceae* et au Genre *Mycosphaerella* (Churchill, 2011). C'est un champignon hétérothallique qui se reproduit de façon sexuée et asexuée (Fahleson *et al.*, 2009). La forme asexuée est appelée *Paracercospora fijiensis* (Stewart *et al.*, 1999 ; Crous *et al.*, 2009). Le cycle sexuel joue un rôle épidémiologique important pour la survie et la dispersion des populations fongiques. *M. fijiensis* produit des ascospores bicellulaires à partir des périthèces, tandis que sa forme anamorphe, *Paracercospora fijiensis* Deighton (Deighton, 1976), produit des conidies pluricellulaires, de 1 à 10 segments, à partir de conidiophores émergeant des stomates (Carlier *et al.*, 2000). La morphologie de *P. fijiensis* permet de le distinguer de *Pseudocercospora musae*, agent causal de la maladie de Sigatoka (Meredith et Lawrence, 1969) et des autres espèces du genre *Mycosphaerella* inféodées au bananier. Sa forme imparfaite ou anamorphe, *Paracercospora fijiensis* (Deighton, 1979) est haploïde (Mourichon et Zapater, 1990). La croissance en culture *in-vitro* est lente. Le diamètre de croissance d'une culture issue d'une seule conidie est d'environ 1 cm après 38 jours d'incubation à 26 °C (Meredith, 1970). La température optimale de croissance se situe entre 24 et 28 °C (Mouliom-Pefoura et Mourichon, 1990), alors que la germination est optimale autour de 26 °C dans des conditions

d'humidité saturante (Jacome *et al.*, 1991). Les colonies de 10 à 21 jours peuvent produire des conidies (Etebu *et al.*, 2002 ; 2005).

Ce champignon présente un conidiophore plus ou moins septé (0 à 5 septas), droit ou courbé, souvent renflé à la base (jusqu'à 8 μm de diamètre), mesurant 16,5-62,5 μm de long et 4-7 μm de large (Figure 15).

Les conidies sont en forme de massue, droites ou incurvées, pointues à l'apex, tronquées ou arrondies à la base, pouvant avoir jusqu'à 10 cloisons (généralement 5 à 7 cloisons), mesurant 30-132 μm de long et 2,5-5 μm de large (Figure 15). Pour produire la forme sexuée (téléomorphe), le champignon développe des spermogonies (Figure 6) qui vont différencier des spermaties (en forme de bâtonnet de 2,5-5 x 1,0-2,5 μm de large). Celles-ci vont fertiliser les hyphes femelles réceptives appelées trichogynes. Il s'en suit la formation des périthèces (47-85 μm) à l'intérieur desquels se différencient les asques et les ascospores (Figure 16) mesurant 11.5-16.5 x 2.5-5.0 μm (Carlier *et al.*, 2000 ; Cabi, 2007). Les ascospores peuvent être obtenues, *in-vitro*, par croisement de deux souches sexuellement compatibles (Mourichon et Zapater, 1990 ; Etebu *et al.*, 2003).

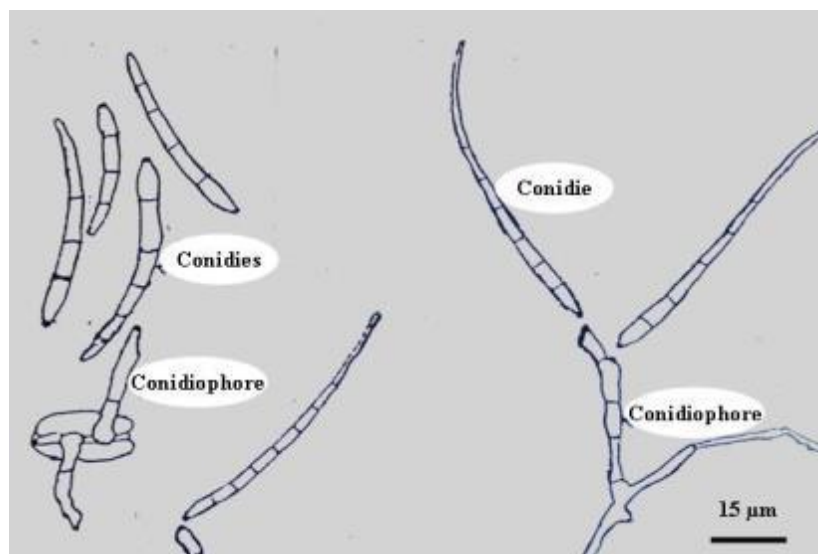


Figure 15 : Conidiophores et conidies et *Mycosphaerella fijiensis* (Koné, 1998)

La diversité allélique, dans les régions autres que l'Asie du Sud-Est, était considérablement réduite, indiquant un effet de fondation, et renforçant l'hypothèse selon laquelle *M. fijiensis* serait originaire d'Asie du Sud-Est. Selon Rivas *et al.* (2004), une grande diversité génétique des populations de *M. fijiensis* existe à l'échelle de la plantation et du pied de bananier (Carlier *et al.*, 2004). Des études sur la structure génétique des populations de *M. fijiensis* à une échelle globale ont montré que le niveau de différenciation génétique du

champignon est le plus élevé à l'échelle mondiale et moindre à l'échelle locale (Halkett *et al.*, 2010).

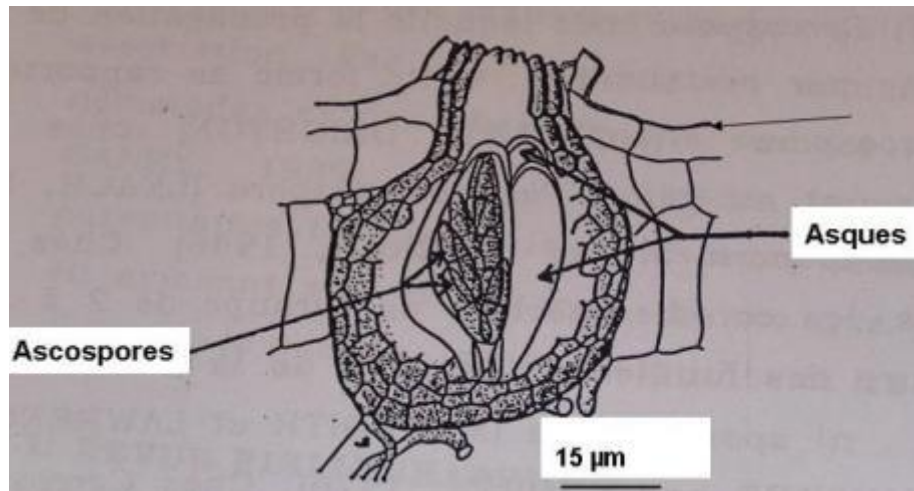


Figure 16 : Ascostroma avec asques et ascospores de *Mycosphaerella fijiensis* (Pons, 1987)

Rieux *et al.* (2011) ont confirmé la discontinuité génétique existant au sein des populations de *M. fijiensis* et évalué la limite des entités génétiques après une étude faite sur 880 isolats prélevés au Cameroun, dans une zone de production bananière fragmentée et comportant plusieurs barrières physiques potentielles au flux de gènes. Robert *et al.* (2012) ont analysé la diversité du pathogène à l'aide de marqueurs génétiques en se basant sur 730 individus issus de 37 pays couvrant la zone de distribution du pathogène. Outre l'échelle continentale, un niveau élevé de polymorphisme révélé par les marqueurs microsatellites SSR a été signalé en Colombie (Perea *et al.*, 2005). Cette diversité génétique se traduit aussi par une variabilité de la pathogénicité (Cabi, 2007) entre les isolats. Ces résultats reflètent l'importance relative, en fonction de l'échelle géographique, de la propagation de l'agent pathogène par le matériel végétal infecté et par les ascospores.

2.3 Symptômes de la maladie des raies noires du bananier

Les symptômes causés par la MRN sont les mêmes, peu importe l'inoculum primaire ; conidies ou ascospores (Jacome *et al.*, 1991). Leur évolution dépend de la sensibilité du cultivar de bananier, de la quantité d'inoculum primaire, de la température et de l'humidité (Fullerton, 1994). Ces symptômes sont parfois difficiles à différencier de ceux produits par la maladie de Sigatoka (MS). Le premier symptôme de la MS apparaît sur la face supérieure du limbe sous-forme de tirets jaune-pâle alors que ceux produits par la MRN apparaissent à la face inférieure du limbe sous forme des tirets marron-foncé de 1 à 2 mm de longueur qui s'élargissent ensuite pour former des lésions nécrotiques à halo jaune, avec un centre gris-

clair. Les lésions peuvent devenir coalescentes et détruire des vastes portions de tissus foliaires, ce qui va provoquer une maturation prématurée des fruits et donc une réduction du rendement (Mourichon *et al.*, 1997). Les symptômes de la cercosporiose noire se manifestent sur les feuilles plus jeunes (l'inoculum étant abondant). En conditions naturelles (plantation), on peut les résumer en 6 stades (Figure 17).



Figure 17 : Symptômes et stades de développement de la cercosporiose noire au champ

(Source : adapté de Churchill, 2011)

- 1 = Stade 1 : Décolorations et ponctuations brunes de moins de 0,5 mm sur la surface inférieure de la feuille ;
- 2 = Stade 2 : Raies brunes rouilles inférieures à 4 mm et visible sur les deux faces ;
- 3 = Stade 3 : Raies allongées et élargies ;
- 4 = Stade 4 : Taches brun-noir elliptiques ;
- 5 = Stade 5 : Taches brun-noir entourées d'un halo jaune ;
- 6 = Stade 6 : Taches desséchées virant au gris avec en son centre des points noirs qui correspondent aux fructifications du pathogène.

2.4 Epidémiologie de la maladie des raies noires du bananier

Au champ, les observations indiquent un développement optimum de *Mycosphaerella fijiensis* sur les feuilles de bananier à une humidité relative supérieure ou égale à 90 % et une température dépassant les 20 °C. Par contre, un temps sec et des températures nocturnes inférieures à 20 °C sont défavorables au développement de la maladie. Les conditions écologiques sont propices au développement de la cercosporiose noire et à la culture bananière la plus grande partie de l'année dans la région intertropicale (Fouré et Moreau, 1992). Ce qui permet de maintenir une importante pression parasitaire.

2.4.1 Cycle infectieux de *Mycosphaerella fijiensis* et développement de la cercosporiose

Chez *Mycosphaerella fijiensis*, le cycle infectieux varie chez le cultivar Grande Naine entre 25 et 50 jours selon les conditions (Koné, 1998). Cette durée peut aller au-delà de deux mois pour les variétés ayant une résistance partielle élevée telle que Fougamou (Beveraggi, 1992). *M. fijiensis* développe un cycle infectieux haplobiontique (Agrios, 2005). Lors d'une réaction parasitaire compatible, entre le bananier et *M. fijiensis*, ce dernier développe un cycle infectieux en cinq phases : la contamination, l'incubation, le développement des symptômes,

la sporulation et la dissémination de l'inoculum secondaire (Jones, 2000 ; Churchill, 2011) dont la phase haploïde est fortement dominante (Agrios, 2005). Le champignon effectue la totalité de son cycle biologique sur le bananier. Les ascospores et les conidies sont responsables de la survie et de la dispersion de la maladie. Elles sont formées dans des conditions d'humidité saturante, lorsque des films d'eau apparaissent sur les feuilles (Figure 18).

○Phase de contamination

La phase de contamination est fortement influencée par les conditions climatiques et comporte différentes étapes. Il s'agit de la pollution (dépôt de la spore sur la feuille), la germination, une période de croissance épiphyllé et enfin la pénétration stomatique dans l'hôte. La contamination peut être réalisée aussi bien par les ascospores que par les conidies (Fouré, 1984). Contrairement aux conidies, les ascospores sont formées dans des pseudothèces présents sur les vieilles feuilles de bananier (Marin *et al.*, 2003). Elles sont dispersées par le vent suite au dessèchement du périthèce, elles sont donc responsables de la dissémination à longue distance. Quant aux conidies, elles sont généralement le moyen de dispersion locale vu qu'elles sont disséminées par les pluies. Le dépôt de la spore a lieu à différents stades de développement mais principalement sur le cigare (la feuille encore enroulée) et la première feuille complètement déroulée. Par la suite, l'efficacité contaminatrice diminue avec l'âge de la feuille (Gauhl, 1994). Les spores germent 2 à 3 heures après le contact avec une surface humide (Stover, 1980 ; Fouré et Moreau, 1992 ; Churchill, 2011). La pénétration des filaments à travers les stomates se fait en présence d'humidité saturante (Fouré et Moreau, 1992).

○Phase d'incubation

La phase d'incubation débute avec la pénétration du champignon et se termine avec l'apparition des premiers symptômes de la maladie (Fouré, 1984 ; Fouré et Moreau, 1992). Elle est également fonction des conditions climatiques et donc des saisons. La durée d'incubation la plus rapide en conditions favorables est de 10 à 14 jours mais varie considérablement en fonction des variétés hôtes (Fouré, 1984).

○Développement des symptômes

Après apparition des premiers symptômes, l'évolution de la maladie se poursuit jusqu'au stade ultime de développement des lésions (Figure 18), suivant l'échelle de Fouré, (1984). La durée d'évolution des lésions peut varier considérablement, la vitesse d'évolution

des taches est en rapport avec les mêmes facteurs qui régissent la durée de l'incubation, c'est-à-dire la quantité d'inoculum et le climat (Brun, 1963). En cas de fortes attaques, il y a une progression rapide des symptômes qui atteignent vite les stades nécrotiques (Fouré and Moreau, 1992).



Figure 18 : Cycle épidémiologique chez *M. fijiensis* avec reproduction sexuée (ascospores) et asexuée (conidie) lors des infections sur le bananier (Churchill, 2011, modifié).

○Phase de sporulation

Les conidies sont produites à l'apex de conidiophores présents sur des lésions de jeunes stades (stades 2 à 4) pendant un temps relativement court (Fouré et Moreau, 1992). Les spermatogonies se développent tardivement, lorsque les tirets deviennent des taches. Les ascospores sont issues de la rencontre et la fusion de mycéliums à polarité différentes (+ et -). Les deux types sexuels (+ et -) sont haploïdes parce que la fécondation est directement suivie d'une méiose (Jones, 2000 ; Churchill, 2011).

○Phase de dissémination de l'inoculum

Le vent et les eaux de pluie entraînent le décrochage passif des conidies des conidiophores. Elles se dispersent à courte distance de l'ordre de quelques dizaines de mètres car elles sont lourdes (Churchill, 2011 ; Rieux *et al.*, 2013). Elles permettent la contamination de la plante mère au rejet et d'une plante à une autre. Les ascospores plus petites et plus

légères que les conidies, avec une forme aérodynamique sont propulsées des périthèces et dispersées par le vent à des distances de plusieurs kilomètres (Rieux *et al.*, 2013). Elles contribuent efficacement à la dissémination du champignon à l'échelle d'un bassin de production ou d'un pays (Amil *et al.*, 2007 ; Churchill, 2011).

2.4.2 Action des facteurs biotiques et abiotiques sur l'épidémie

Les interactions entre certains facteurs climatiques (humidité relative, température et précipitations), auxquelles il faudrait associer éventuellement le couvert végétal et l'activité de *M. fijiensis* (Figure 19) ont un effet sur l'incidence et la gravité de la maladie (Martinez *et al.*, 2002). Fouré a révélé en 1994 l'existence d'une relation entre les paramètres climatiques et le développement de la maladie qui mettait en évidence la dynamique de l'épidémiologie dans les zones de production et son potentiel d'initiation de futures infections. La présence d'eau résiduelle à la surface des feuilles, pendant la saison des pluies, agit fortement sur la libération des ascospores par exemple. C'est après humectation que les ascospores sont éjectées des périthèces présents à la face inférieure des feuilles infectées au stade 6 de la maladie. Les feuilles sèches supposées détruites par la cercosporiose noire et collées au bananier sont une excellente source d'inoculum dans les conditions favorables (Gauhl, 1994). Selon de nombreux auteurs, les ascospores germent entre 20 et 38 °C avec un optimum de 27 °C et un minimum de 20 °C (Perez, 1997). Le vent constitue le véhicule par excellence pour la propagation des conidies ou des ascospores tant dans les plantations qu'en dehors (Stover *et al.*, 2002). La gravité de la maladie dépend, non seulement des conditions environnementales, mais aussi de l'intensité de l'infection, de la virulence des souches de *M. fijiensis* et du degré de sensibilité ou de résistance de la variété de bananier (Orellana *et al.*, 2002).

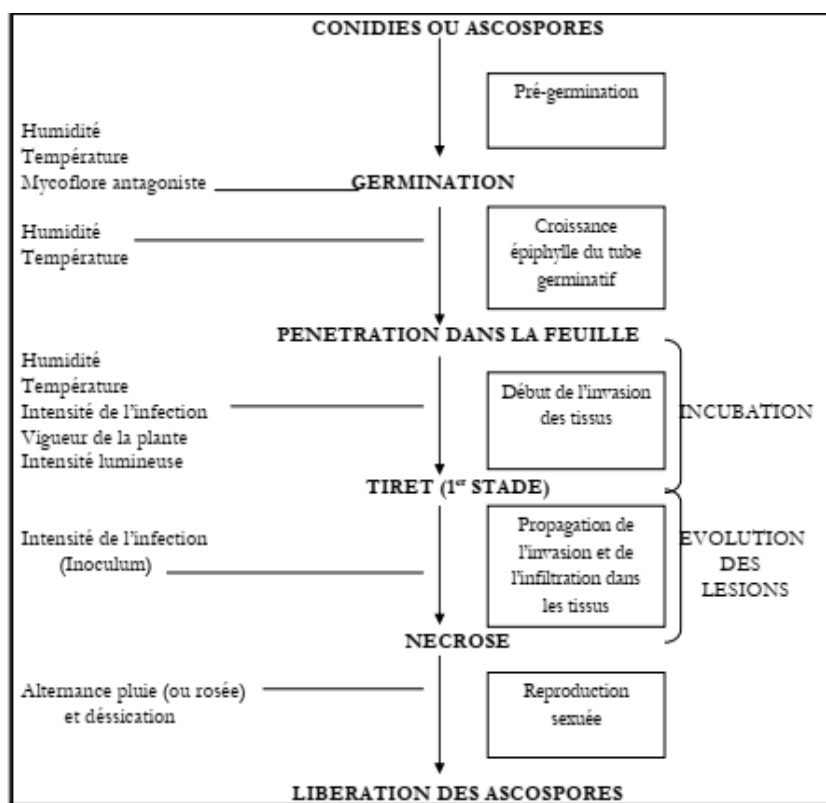


Figure 19 : Facteurs biotiques et abiotiques agissant sur le cycle de la cercosporiose

2.4.3 Interaction *Mycosphaerella fijiensis*-hôte

Au Cameroun, des études menées sur la sensibilité variétale des bananiers ont permis de caractériser les variétés sauvages et cultivées appartenant aux différents groupes génomiques (Fouré *et al.*, 1992). Trois types de comportement ont été constitués et permettent de regrouper les cultivars en trois catégories bien distinctes (Tableau VIII).

- Catégorie I : bananier très résistant « tR » présentant un blocage de l'évolution de la maladie dès les premiers stades de l'infection (1 à 2). Il s'agit d'une réaction du type « hypersensibilité » ou une interaction incompatible qui se produit dans le cadre d'une relation gène pour gène et peut être facilement surmonté par l'agent pathogène et la résistance qui en résulte peut-être instable (cas de cultivar Yangambi Km5).
- Catégorie II : bananier partiellement résistant (pR). Dans ce cas, le cycle de la maladie se déroule du premier stade au stade nécrotique, mais de façon lente. Ainsi à la récolte, le nombre de feuilles fonctionnelles du bananier reste élevé. Il s'agit d'une réaction de compatibilité.
- Catégorie III : bananier sensible (S). La maladie évolue rapidement et normalement vers le stade nécrotique si les conditions climatiques sont favorables et le taux de sporulation peut atteindre un niveau élevé. Le nombre de feuilles fonctionnelles à la récolte est faible. C'est aussi un cas de réaction compatible (Lassoudière, 2012).

Dans la catégorie II, on rencontre plusieurs niveaux de résistances partielles allant d'une résistance prononcée à la sensibilité. La séparation entre les deux comportements pR et S apparaît être de nature quantitative, et il conviendrait, dans le cas d'une interaction compatible, de parler de tolérance plutôt que de résistance. L'essentiel de l'information sur la réaction incompatible provient d'observations de nécrose précoce des cellules de garde des stomates et de composés denses en électrons autour des sites de pénétration du pathogène. Pour une gestion à long terme de la maladie des raies noires, les génotypes partiellement résistants (réaction compatible) sont plus visibles.

Tableau VIII : Sensibilité variétale de quelques cultivars de bananier aux maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp. (Carlier *et al.*, 2003)

Variétés	Sensibilité variétale	Groupe génotypique	Accession	Cultivar
Yangambi Km5	Très résistant (tR)	AAA	Dessert	ITC1123
Calcutta	Très résistant (tR)	AA	Dessert	ITC0249
Pisang Lilin	Partiellement résistant (pR)	AA	Dessert	ITC1400
Pisang Ceylan	Partiellement résistant (pR)	AAB	Plantain	ITC1441
Pisang Berlin	Sensible (S)	AA	Dessert	ITC0611
Grande naine	Sensible (S)	AAA	Dessert	ITC1256

2.5 Méthodes de lutte contre la cercosporiose noire du bananier

Pour la plupart des plantes cultivées, lorsque les mécanismes naturels de défense ont montré leurs limites, la mise en œuvre de méthodes de protection apparaît incontournable. Dans le cas de la cercosporiose noire du bananier, il existe diverses méthodes de lutte telles que les pratiques culturales, la lutte chimique, la lutte biologique et l'utilisation des variétés résistantes (lutte génétique). En culture industrielle de bananiers, la lutte chimique est la plus répandue. Cependant, plusieurs de ces méthodes de lutte peuvent être employées simultanément dans une approche intégrée de la lutte encore en développement dans différentes zones de production de bananes, notamment en Côte d'Ivoire, avec le projet « monitoring cercosporiose » du CNRA. Cette approche intégrée de la lutte vise à minimiser la composante chimique en plantations commerciales et à développer une stratégie adaptée à la production paysanne (Mourichon, 2003).

2.5.1 Pratiques culturales

Cette méthode a pour but de réduire la quantité d'inoculum et l'humidité relative dans les plantations. Cela permet de réduire les contaminations de proche en proche des nouvelles feuilles. Il s'agit de supprimer les feuilles entièrement nécrosées ou les parties nécrosées des limbes des feuilles qui sont posées à même le sol pour accélérer leur décomposition et réduire les taux d'inoculum. Elle consiste également à réduire l'humidité relative à travers un système de drainage efficace visant à empêcher l'eau de stagner dans les parcelles (Romero, 2000) ; ce qui ralentit le développement de la maladie. Aussi, selon Mobambo (2002), plus la fertilité du sol est élevée, plus la sévérité de la cercosporiose noire est réduite. Aussi, l'apport de silicium contribuerait à réduire la susceptibilité du cultivar Grande Naine à la maladie des raies noires : une étude de Kablan *et al.* (2012) a, en effet, montré que le développement de la maladie sur le bananier est retardé lorsque celui-ci est planté sur un substrat enrichi en silicium.

2.5.2 Lutte biologique contre la cercosporiose noire

Pour le moment, aucune méthode de lutte biologique n'a encore été adoptée dans les plantations commerciales (CABI, 2007). Toutefois, plusieurs études sont menées afin de mettre au point des méthodes de lutte biologique efficaces contre la maladie des raies noires dans les bananeraies. La lutte biologique consiste à la production biologique de bananes. Mobambo *et al.* (2010) ont montré que l'application d'ordures ménagères et des déchets de cuisine entraîne une réduction de la sévérité de la cercosporiose noire sur le bananier plantain et un maintien du rendement pendant plusieurs années. Jimenez *et al.* (2007) ont également montré que la banane peut être produite sans l'utilisation de fongicides à l'Equateur. Ces auteurs ont utilisé des produits organiques provenant de la fermentation de déchets. Dans les systèmes de productions organiques, les nutriments peuvent aussi provenir d'une grande quantité de matière organique, de déjections d'animaux et de roche phosphatée (Jimenez *et al.*, 2007). Contrairement aux résultats de Guzman et Villalta (Marin *et al.*, 2003) montrant une faible efficacité d'une souche commerciale de *Bacillus subtilis* contre *M. fijiensis*, De Lapeyre de Bellaire *et al.* (2006) révèlent une efficacité significative de *B. subtilis*, à différentes modalités, incluant l'huile minérale à 20 l/ha, contre la maladie des raies noires. Ils ont montré également que le lixiviat issu du compostage de la hampe de banane et de banane plantain a un effet antifongique prometteur contre *M. fijiensis*. Des filtrats de bactéries se sont montrés antagonistes à *M. fijiensis* (Riveros *et al.*, 2003).

2.5.3 Utilisation de variétés résistantes de bananiers contre la cercosporiose noire

Cette méthode de lutte est le seul moyen de lutte à la portée des petits producteurs de bananes. Elle est basée sur la mise au point et l'exploitation de la variabilité génétique au sein du germplasma *Musa* (El Hadrami, 2000). Il s'agit d'introduire la résistance à la maladie des raies noires existant chez les espèces sauvages de *Musa* tels que *M. acuminata* et les cultivars diploïdes tels que Paka (AA) et Pisang Lilin (AA). Les hybrides obtenus sont évalués au champ dans le cadre du programme international d'évaluation des *Musa* (IMTP) dans divers sites internationaux puis sont mis à la disposition des producteurs de bananiers (Mourichon *et al.*, 1997 ; Noupadja *et al.*, 2007). Ainsi, des hybrides tels que FHIA-01 (AAAB), FHIA-21 (AAAB) et PITA 3 (AAAB), résistants ou plus tolérants à la maladie des raies noires ont été créés et sont diffusés dans certaines régions du monde (Vuylsteke *et al.*, 1993 ; Ortiz et Vuylsteke, 1994 ; Jones *et al.*, 2000 ; Marin *et al.*, 2003). Il est très difficile de procéder à une sélection classique pour la résistance des bananiers et bananiers plantain aux maladies, de plus, la durée est longue à cause du cycle végétatif long (jusqu'à 2 ans), la polyploïdie, la stérilité masculine et la fertilité femelle étant fortement réduite pour les cultivars locaux (Swennen et Vuylsteke, 1993). Cependant, la modification génétique est un outil supplémentaire futuriste pour l'amélioration des bananiers, notamment avec les méthodes de transformation à l'aide d'*Agrobacterium* (Pérez Hernández *et al.*, 2006), mais surtout avec le développement des cultures de suspensions cellulaires embryogènes (Côte *et al.*, 1996). Ainsi, l'introduction de gènes de résistance potentiels contre diverses maladies de la banane a été essayée et la mise au point d'une technologie utilisant le transfert de gènes qui offrait une résistance à un stress biotique aux cultivars de bananiers sans modification de leur patrimoine génétique est très important (Remy *et al.*, 1998 a ; Chakrabarti *et al.*, 2003 ; Vishnevetsky *et al.*, 2011). L'approche transgénique la plus utilisée pour améliorer la résistance contre les maladies fongiques est basée sur la surexpression des protéines PR (Pathogenis related proteins), parmi lesquelles les chitinases végétales sont les plus étudiées et appliquées depuis 1991 (Broglie *et al.*, 1991). Kavacs *et al.* (2013) ont intégré chez le bananier transgénique *Musa acuminata* cultivar « Gros Michel », l'un des deux gènes de chitinase de riz et ont testé sa résistance à la MRN. En utilisant un dosage biologique sur disques foliaires, ces chercheurs ont montré le potentiel de ce gène à améliorer la résistance à *M. fijiensis* ainsi que l'utilité de cette technique pour le dépistage précoce de cette maladie dans les lignées des bananiers transgéniques.

2.5.4 Lutte chimique contre la cercosporiose noire

L'usage de fongicide chimique est la méthode de lutte la plus efficace et la plus courante qui a permis de maîtriser la maladie des raies noires jusqu'à maintenant. En effet, la filière d'exportation de banane est essentiellement basée sur les variétés du sous-groupe Cavendish qui sont très sensibles à la cercosporiose noire du bananier. Ainsi, la lutte se fait par des pulvérisations massives et quasi-systématiques des fongicides unisites seuls ou en association ou par alternance avec les fongicides de contact. Les fongicides de contact (mancozeb ou chlorothalonil) sont préventifs et multisites et leur activité est liée à l'inhibition de la germination des spores. Ils peuvent aussi être utilisés en association avec des unisites. Par contre, les fongicides systémiques, appartenant aux groupes des benzimidazoles, triazoles, morpholines et strobilurines, sont appliqués dans de l'huile minérale ou sous forme d'émulsion (Marin *et al.*, 2003). Les traitements fongicides ont connu une évolution tant dans le mode d'application que sur les types de produits appliqués. En effet, les volumes épandus sont passés de 2 000 à 15 l par hectare. Cette évolution est due à la découverte des qualités des huiles minérales. En effet, ces huiles se sont révélées être d'excellents véhicules des fongicides, soit seules, soit en mélange à l'eau. Elles ont des activités fongistatiques directes sur le pathogène et ont une bonne pénétration dans les tissus des feuilles en évitant ainsi le lessivage par les pluies survenant après un traitement (Ganry et Laville, 1983). Dans la plupart des pays producteurs, la lutte chimique consiste à l'emploi de fongicides de contacts appliqués à des fréquences élevées dans le cadre de stratégies de traitements systématiques. Par contre, dans d'autres pays, des approches de lutte raisonnée avec des fongicides systémiques dans des stratégies d'avertissement ont été employées avec succès (Marin *et al.*, 2003 ; de Lapeyre de Bellaire *et al.*, 2010)

Deux stratégies de traitement sont employées dans le monde (Lassoudière, 2007) :

-Traitements systématiques : Ils sont obligatoires lorsque la lutte est réalisée avec des produits de contact. Le nombre d'application fongicide varie dans ce cas de 20 (cercosporiose jaune) à 60 (cercosporiose noire) traitements par an.

-Traitements sur avertissements : Ils sont réalisés sur la base d'indicateurs climatiques et biologiques (mesure de l'évolution de la maladie). Les traitements sont alors déclenchés lorsque l'évolution de la maladie l'exige (Lassoudière, 2007). Par l'estimation de l'état d'évolution (EE) de la maladie sur les plantations par semaine (Ganry et Laville, 1983). Cette méthode a été bien appliquée en Martinique où les variations des paramètres climatiques sont élevées. Lorsque l'EE augmente pendant deux (2) semaines consécutives, le traitement fongicide est déclenché par mesure de précaution. Cette pratique se fait dans les

zones où les variations climatiques ne sont pas aussi marquées comme en Martiniques (Kobenan *et al.*, 1995). En pratique, l'avertissement permet de réduire le nombre annuel d'applications de produits chimiques et de faire des économies. L'avertissement a permis une réduction d'environ 30 % des coûts de lutte contre la maladie de Sigatoka (Perez, 1989) et une réduction de 40 % contre la maladie des raies noires à Cuba (Perez *et al.*, 2000). Le traitement sur avertissement n'est réellement utilisable qu'avec les produits systémiques (pénétrants) dilués dans de l'huile. Cette stratégie nécessite une structure chargée de la lutte contre les cercosporioses : réalisation de l'avertissement, décision de traitement, choix des produits (Lassoudière, 2007).

Le choix de l'une ou l'autre stratégie est déterminé par le niveau de sensibilité du pathogène aux différents fongicides employés.

En Côte d'Ivoire, la protection des bananiers contre la cercosporiose remonte dans les années 1930 avec l'utilisation de la bouillie bordelaise. Ce produit a progressivement été remplacé par les dithiocarbamates (mancozèbe, manèbe, thirame...), les benzimidazoles, les triazoles, les morpholines, les strobilurines, les dérivés du benzol et plus récemment les spirokétalamines (Esis, 2017).

3. GENERALITES SUR LES FONGICIDES

3.1 Définition et description des fongicides

3.1.1 Définition de fongicides

Les fongicides sont des solutions mises au point pour maîtriser le développement ou la présence des champignons parasites des végétaux. Il existe aujourd'hui sur le marché deux principaux types de fongicides : les fongicides à action préventive ou fongicides de contact et les fongicides systémiques à action curative. Les premiers empêchent que les spores qui se trouvent à la surface de la plante puissent se développer. Les seconds mettent un terme au développement d'un champignon déjà présent dans la plante (Bayer, 2021).

3.1.2 Description des fongicides

Les fongicides étaient classés par familles chimiques, puis l'émergence de la résistance a conduit les scientifiques à les classer en fonction de leur mode d'action biochimique. Il existe les fongicides à action multisite, oligo-site ou unisite (Leroux et Gardan, 2003). Les fongicides multisites agissent sur de multiples sites d'action primaires et bloquent la respiration et la perméabilité sélective de la membrane plasmique. Les fongicides unisites ou oligo-sites sont plus spécifiques et perturbent un seul métabolisme du champignon. L'efficacité des fongicides dépend des propriétés de mobilité des molécules dans la plante. Ainsi, les fongicides multisites sont dits de contact car ils ne pénètrent dans les tissus de la plante. Ils ont donc une action préventive sur la germination des spores. Les fongicides oligo-sites ou unisites ont une systémie plus ou moins importante dans les tissus de la plante. Ils peuvent être soit pénétrants, avec une répartition locale, soit véhiculés dans les vaisseaux du xylème ou du phloème. Ces fongicides ont donc un effet curatif et agissent après l'infection des tissus par les champignons (Leroux et Gardan, 2003). À ces deux groupes, il faut ajouter les huiles paraffiniques (huiles minérales) qui permettent aussi de lutter contre les cercosporioses en empêchant la pénétration des pores par les tubes germinatifs.

3.1.2.1 Huiles minérales

Les huiles minérales ont un effet fongistatique. A 15 litres par hectare, ces huiles gênent la pénétration des tubes germinatifs des spores et retardent l'apparition des premiers symptômes. Les huiles sont cependant phytotoxiques car elles freinent la photosynthèse et provoquent l'apparition de taches et tirets bleuâtres. La dose d'huile appliquée ne doit pas dépasser au total 250 litres par hectare et par an au maximum (Essis, 2017).

3.1.2.2 Fongicides multisites de contact

Les fongicides de ce groupe sont dits de multisites parce qu'ils interagissent avec de nombreux systèmes enzymatiques (enzymes de la glycolyse, du cycle de krebs et de la chaîne respiratoire), notamment les mécanismes impliqués dans la production d'énergie, la consommation d'oxygène et le catabolisme des substances de réserve des spores (Figure 10). Leur polyvalence est assez grande et ils possèdent une action bénéfique directe sur la végétation. Ces fongicides ne sont pas phytotoxiques, mais ont pour inconvénients d'être facilement lessivés par les pluies, d'avoir une répartition médiocre sur les faces inférieures des feuilles et de ne protéger que les feuilles présentes au moment du traitement (Ganry et Laville, 1983). Leur forte réactivité avec de nombreux constituants cellulaires les expose à de multiples effets secondaires ; ce qui a conduit à plusieurs retraits d'utilisation (Leroux et Gardan, 2003). Ces fongicides agissent par contact avec les spores. Ainsi, ils doivent être appliqués à forte dose (1 à 2 kg de matière active/hectare) et de manière systématique, faisant d'eux des agents polluants. Parmi ces fongicides, il existe les dithiocarbamates tels que le mancozèbe et le manèbe, les phtalimides dont la captan, folpel, etc... et les chloronitriles avec le chlorothalonil (Leroux et Gardan, 2003). Cependant, leur caractère multisite fait que le risque de résistance pour ces fongicides est faible ; de ce fait, ils sont très importants dans les stratégies anti-résistance. Pour la lutte contre la MRN, de nombreuses formulations à base de mancozèbe et de chlorothalonil (Tableau IX) sont employées (Marin *et al.*, 2003).

3.1.2.3 Fongicides systémiques ou unisites

Les fongicides systémiques sont partiellement véhiculés dans la plante et peuvent atteindre, de façon indirecte, les parties initialement non traitées, après pénétration dans les tissus des organes végétaux (feuilles, rameaux, racines). Ils agissent plus spécifiquement sur les phénomènes de biosynthèse des composants majeurs (Figure 20) tels que les glucides, les lipides, les mélanines, les acides aminés, les acides nucléiques et les protéines (Leroux et Gardan, 2003). Les molécules à action systémique appartiennent à plusieurs familles dont les plus répandues sont : les benzimidazoles (le bénomyl, le carbendazime, le méthylthiophanate, le triabendazole) ; les triazoles (propiconazole, tébuconazole, tétraconazole), les strobilurines (azoxystrobine, trifloxystrobine), les spirocétalamines et les morpholines (Jones, 2000). Ces fongicides sont qualifiés d'unisites parce que leur action est ciblée sur une fonction biologique spécifique du champignon. Ces fongicides, avec leur bonne rémanence, ont l'avantage de protéger les nouvelles feuilles. Ils ont aussi un effet curatif plus ou moins important ; ce qui permet de limiter le nombre de traitements dans le cadre de stratégies

raisonnées. Ils sont employés à des doses plus faibles que les fongicides de contact, généralement de l'ordre de 100 g de matière active par hectare. Cependant, l'utilisation abusive de ces molécules peut favoriser l'émergence de souches résistantes de champignons.

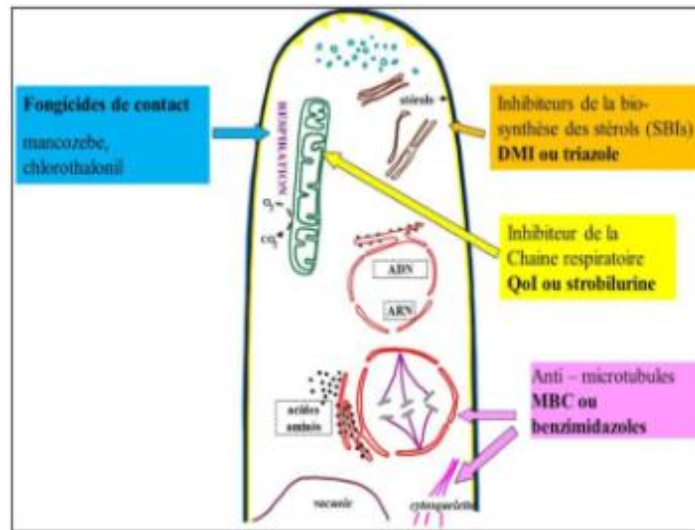


Figure 20 : Sites d'action des principaux fongicides utilisés pour la lutte contre les champignons ascomycètes (Leroux et Gardan, 2003)

Très souvent, il apparaît des résistances croisées positives chez les pathogènes, pour une gamme de fongicides ayant le même mode d'action. Ainsi, la résistance à un seul fongicide implique automatiquement la résistance aux autres fongicides ayant le même mode d'action. Pour cela, il faut limiter le nombre d'applications des matières actives appartenant à une même famille, au cours de l'année. La résistance des champignons aux fongicides s'installe après l'élimination des souches sensibles à une molécule donnée ; et les souches non sensibles qui existaient déjà émergent. Il en résulte une perte d'efficacité de cette molécule sur le champignon. Ces cas sont connus partout dans le monde (Kobenan *et al.*, 2006 a). La détection précoce de cette résistance se fait par un suivi régulier des populations en laboratoire (monitoring). Au cours du suivi, les molécules en perte d'efficacité sont suspendues. Raison pour laquelle il est recommandé de faire de l'alternance entre les familles de fongicides.

La présente étude s'intéresse aux fongicides qui sont utilisés pour la lutte contre les cercosporioses du bananier parmi lesquels : (1) les antimétabolites du groupe des Méthyl Benzimidazole Carbamates, (2) les inhibiteurs de la biosynthèse des stéroïdes du groupe 1 (IBS1) dont les inhibiteurs de la 14 α -déméthylation des stéroïdes et (3) les inhibiteurs de la respiration mitochondriale du groupe des Quinone Outside Inhibitors (Tableau IX).

3.1.2.3.1 Fongicides Méthyl Benzimidazole Carbamates (MBC)

Les fongicides MBC interfèrent avec la formation des microtubules qui sont des constituants majeurs du fuseau achromatique et du cytosquelette des champignons. Cette interaction aboutit au blocage des divisions cellulaires et de l'élongation des hyphes mycéliens. L'un des composants majeurs des microtubules est la tubuline, un hétéromère composé de deux sous-unités α et β . Les MBC se fixent sur la β -tubuline chez les ascomycètes et les basidiomycètes et inhibent la polymérisation des microtubules (Leroux, 2003 ; Ma et Michailides, 2005). Chez les champignons, la toxicité du fongicide se traduit par l'inhibition de la germination et la déformation du tube germinatif. Cependant, ils sont particulièrement sujets à induire le développement de résistance, qui a conduit à une diminution de leur utilisation sur de nombreuses cultures. Parmi les fongicides de ce groupe on distingue les familles des benzimidazoles (benomyl, thiabendazole) et la famille des thiophanates (thiophanate-méthyl) qui sont utilisés pour la lutte contre la MRN (Tableau IX).

3.1.2.3.2 Fongicides inhibiteurs de la respiration mitochondriale du groupe des Quinone Outside Inhibitors (QoI)

Les QoI agissent sur le complexe mitochondrial III de la membrane interne mitochondriale. Ce complexe qui est formé d'une dizaine de sous-unités dont le cytochrome b, le cytochrome c1 et plusieurs protéines fer-soufre assure le transfert d'électrons du coenzyme Q vers le cytochrome c. Le cytochrome b possède un site d'oxydation du coenzyme Q (ubiquinone : Qo) et un site de réduction de ubiquinol (Trumpower et Gennis, 1994). Le cytochrome b est sous la dépendance du génome mitochondrial (Leroux, 2003). En se fixant sur le Qo du cytochrome b, le fongicide bloque le transfert d'électrons entre le cytochrome b et le cytochrome c1 ; ce qui perturbe le cycle de production d'énergie chez le champignon en stoppant la production d'ATP (Sierotzki *et al.*, 2000 ; Barlett *et al.*, 2002 ; Leroux, 2003). Chez les champignons, la toxicité du fongicide se traduit par l'inhibition de la germination et de la croissance mycélienne. Ces fongicides regroupent les matières actives suivantes : azoxystrobine, trifloxystrobine, pyraclostrobine, metominostrobine, picoxystrobine et kresoxim-méthyl (Bartlett *et al.*, 2002). Les trois premières molécules sont employées pour la lutte contre la MRN (Tableau IX).

3.1.2.3.3 Fongicides inhibiteurs de la 14 α -déméthylation des stérols (DMI)

Les DMI sont des inhibiteurs de la biosynthèse des stérols (IBS) dits du groupe 1. Plus particulièrement, l'ergostérol est un composant important de la membrane cellulaire des champignons, intervenant dans la régulation de sa perméabilité (Leroux, 2003). Les DMI

inhibent une enzyme, le cytochrome P450 stérol C-14 α -demethylase, qui intervient sur la déméthylation de l'eburicol un précurseur de l'ergostérol. Les DMI inhibent spécifiquement le cytochrome P450 en se liant au site actif « cystéine pocket' » qui contient un hème. Ces fongicides comportent tous un atome d'azote déprotoné qui interagit avec ce site actif (Leroux et Walker, 2010). Chez les champignons, la toxicité n'empêche pas la germination des spores, mais entraîne une réduction de la croissance et de l'élongation des hyphes mycéliens. Plus de 30 matières actives sont actuellement connues parmi les fongicides ayant ce mode d'action. Par exemple, des fongicides appartenant à la famille des triazoles, comme le propiconazole, le difénoconazole, l'époxyconazole, le triadimenol, le bitertanol, le fluzilazole, le tébuconazole le triadimefon ; mais aussi des fongicides appartenant à la famille des imidazoles, comme le prochloraz, le triflumizol, et l'imazalil. Tous les triazoles cités sont employés pour la lutte contre la MRN (Tableau IX).

3.2 Mode d'application des fongicides

Deux modes de traitements de fongicides sont utilisés dans la lutte chimique contre la maladie des raies noires :

- le traitement aérien par avion, par hélicoptère et par ULM (Ultra Léger Motorisé) et
- le traitement au sol par atomisation et par canon.

3.3 Phénomène de résistance de *Mycphaerella fijiensis* aux fongicides

Le terme de résistance est utilisé pour un fongicide pour décrire le phénomène de la résistance acquise. Ce type de résistance apparaît après l'utilisation successive d'un fongicide ou d'un groupe de fongicides ayant le même mode d'action biochimique (Essis *et al.*, 2020).

En matière de résistance acquise vis-à-vis de fongicides, deux catégories d'évolution sont classiquement décrites :

- la première, dite disruptive ou qualitative, s'observe si les sous-populations sensibles et résistantes sont bien séparées et conduit généralement à des pertes brutales d'efficacité ;
- la seconde, dite progressive ou quantitative, présente un continuum de phénotypes plus ou moins résistants et entraîne en général une érosion progressive de la performance du fongicide.

Ces deux profils d'évolution des populations fongiques sont souvent interprétés comme correspondant respectivement à une résistance monogénique (premier cas) et à une résistance polygénique (deuxième cas) avec effets additifs des gènes impliqués (Brent et Hollomon, 1998).

Tableau IX : Principaux fongicides utilisés pour la lutte contre la maladie des raies noires du bananier

Mode d'action	Site d'action	Nom de Groupe fongicide	Matière active	Nom commercial en Côte d'Ivoire	Dose d'application
Antimitotique	β -tubuline	MBC (Méthyl, Benzimidazoles, Carbamates)	Benomyl Thiophanate-méthyl	Benlate OD Callis 400 OL	150 - 250g/ ha 280 - 400g/ ha
Inhibiteur de la respiration	Complexe III : cytochrome bc1 (ubiquinol-oxidase) sur le site Qo	Fongicide QoI (Quinone Outside Inhibitor)	Azoxystrobine Pyraclostrobine Trifloxystrobine	Bankit Comet plus Téga 75 EC	100g / ha 100g /ha 75g / ha
	Complexe II : succinate-déhydrogénase	SDHI (Succinate deshydrogenase inhibitors)	Fluopyrame Boscalide	Verango 500 SC Cumora 500 SC	100g /ha 150g /ha
Inhibiteur de la biosynthèse des membranes	C14-demethylase (Cyp51)	Fongicides DMI (DeMethylation Inhibitors) (SBI : groupe 1) Triazoles	Bitertanol Difénoconazole Epoconazole Fluzilazole Tétraconazole Propiconazole Tébuconazole Triadimefon Triadimenol	Baycor Sico 250 EC Opal 7.5 EC Punch 40 EC Eminent Tilt 250 EC Folicur 250 EW Trical 250 EC Bayfidan 250 OL	300 90g / ha 75 - 100g /ha 75g / ha 100g /ha 100g /ha 100g /ha 100g /ha 100g /ha 100g /ha
	Δ^{14} -réductase et $\Delta^8 \rightarrow \Delta^7$ -isomérase	Amines ("Morpholines") (SBI : groupe 2)	Fenpropimorphe Tridemorphe Fenpropidine Spiroxamine	Volley 88 OL Calixine 75 EC Tern Impulse 800 EC	440g / ha 450g / ha 450g / ha 320g / ha
Inhibiteurs de synthèses d'acides aminés et de protéines	Biosynthèse méthionine fongicides AP (Anilino-Pyrimidines)	Fongicides AP (Anilino-Pyrimidines)	Pyrimethanil	Siganex 600 SC	300g/ ha
Multisites activité de contact	Multisites activité de contact	Dithiocarbamates, Chloronitriles	Mancozèbe Chlorothalonil	Dithane 60 OS, Manzate 75 WG Bravo 720 EC	1350 - 1500g /ha 720g /ha

EC : concentré émulsionnable ; EW Emulsionnable dans l'eau ; OL : liquide dispersible dans l'huile ; SC : suspension concentrée ; OD : poudre dispersible dans l'eau ; WG : granulés dispersible dans l'eau.

3.3.1 Mécanismes de la résistance de *Mycophaerella fijiensis* aux fongicides

Chaque famille de fongicides a un ou plusieurs modes spécifiques en bloquant une étape de la production de lipides (triazoles), ou de protéines (anilino-pyrimidines), ou la production d'énergie (strobilurines), ou encore bien d'autres systèmes biochimiques essentiels à la survie et à la multiplication du pathogène. Un individu d'une population de pathogènes est résistant lorsqu'il a un caractère génétique lui permettant d'annuler l'effet du fongicide (Essis *et al.*, 2020). Les principaux mécanismes de la résistance sont :

- la modification de la cible du fongicide (le fongicide ne reconnaît plus le site d'action) ;
- la production accrue de la cible (il n'y a pas assez de molécules du fongicide pour arrêter le cycle biochimique) ;
- le fongicide est isolé de la cible ;
- un système secondaire est mis en place pour remplacer celui qui est enrayé par le fongicide.

Cependant, la cause première de la résistance est la modification physique de la cible, car une simple modification d'une seule base du gène codant (ADN) pour la cible peut causer une modification importante de la structure tridimensionnelle de celle-ci et peut entraîner une perte complète d'efficacité du fongicide. Une seule mutation peut donc être responsable de la perte brutale de sensibilité au fongicide, même si la dose est augmentée (Essis *et al.*, 2020).

3.3.2 Evolution de la résistance de *Mycophaerella fijiensis* aux fongicides

En l'absence d'utilisation de fongicide ou d'un produit du même groupe chimique le mécanisme de résistance ne se déclenche pas. En effet, le fongicide sélectionne les individus tolérants en éliminant les individus sensibles. Ce phénomène est appelé pression de sélection. L'utilisation continue et consécutive d'un fongicide peut exercer une pression de sélection considérable sur la population du pathogène, surtout si le pathogène, a plusieurs cycles reproductifs par saison. Une rotation de fongicides ou de modes d'actions différents, ou une combinaison de fongicides sont des procédés simples, mais très efficaces pour freiner l'évolution de la résistance. Il faut aussi éviter d'utiliser des fongicides en situation curative qui augmentent la probabilité de sélectionner des populations résistantes aux fongicides. Finalement, l'utilisation d'une dose réduite peut augmenter le risque de sélection d'individus tolérants dans le cas de résistance progressive, et cela, par la sélection des individus les moins sensibles de la population (Essis *et al.*, 2020).

3.3.3 Gestion de la résistance de *Mycophaerella fijiensis* aux fongicides

Les principales stratégies pour prévenir le développement de résistance (Bacon, 2002) se résument comme suit :

- ne pas utiliser un fongicide seul de façon répétitive ;
- utiliser des fongicides de classes différentes ;
- viser à réduire le nombre d'applications de fongicides, en appliquant les fongicides aux périodes propices suite au dépistage de la maladie ;
- maintenir les doses du manufacturier ;
- éviter tant que possible l'utilisation d'éradiquant (la plupart du temps unisite) ;
- privilégier la gestion intégrée (pratiques culturales, lutte chimique, cultivars tolérants).

Cette première partie a été consacrée à la synthèse des connaissances sur les bananiers, sur leur culture, leurs ravageurs et leurs maladies dont la cercosporiose noire est la plus grave. Elle a aussi permis d'avoir des connaissances sur cette maladie et les moyens de lutte contre elle.

La partie suivante permettra de présenter le matériel et les méthodes utilisés dans cette thèse pour atteindre les objectifs. Et cette partie débutera par la présentation de la zone d'étude.

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

4. ZONE D'ÉTUDE

Les échantillonnages de feuilles de bananiers ont été faits dans 12 plantations industrielles de bananiers dessert réparties en 4 zones, dans des plantations villageoises de bananiers dessert et de plantains situées à au moins 10 km des plantations industrielles puis dans un essai (Figure 21). En effet l'étude a été menée sur le projet « Monitoring cercosporioses » dans les plantations ne possédant pas d'outils d'analyse de sensibilité des fongicides. La zone d'étude est circonscrite dans un rayon de 200 km autour de la ville d'Abidjan. Elle s'étend d'une part entre les 3° et 6° de longitude ouest et d'autre part entre les 5° et 8° de latitude nord (Kobenan, 2000). La distribution actuelle, des zones de production bananière se distingue, en premier lieu par la répartition des pluies au cours de l'année, ainsi que par les caractéristiques des sols. Elles se subdivisent en quatre régions administratives que sont la région du Sud-Comoé, la région de l'Agnéby-Tiassa, la région des Grands Ponts et le District Autonome d'Abidjan.

4.1. Région du Sud-Comoé

La région du Sud-Comoé est située dans le sud-est de la Côte d'Ivoire avec pour coordonnées géographiques : 5°66'00 et 5 28'00 de latitude Nord et 3°12'00 et 3 20'00 de longitude Ouest (Amon *et al.*, 2015). Elle est limitée au Nord par la Région de l'Indénié-Djuablin, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par le Ghana et à l'Ouest par le District d'Abidjan et la Région de la Mé (Figure 21). Elle couvre une superficie de 7625 km². Elle est constituée de quatre (04) départements : Adiaké, Grand-Bassam Tiapoum et Aboisso qui en est le chef-lieu. Elle possède une végétation de forêt et un climat tropical de la mousson avec une pluviométrie importante la plupart des mois de l'année et une saison sèche courte. La température moyenne est de 26,5 °C avec taux d'humidité relative avoisinant 85 % et une pluviométrie moyenne annuelle de 1266 mm. Le sol a des qualités physiques et chimiques favorables à l'agriculture (sol ferrallitique très lessivé) avec une surface agricole utile estimée à près de 86 %. On note 1 500 ha de bas-fonds et 82 696 ha de forêts classées ainsi qu'un parc national (les Îles éhotilés de 550 ha). Le réseau hydrographique est dense et varié : 12 lagunes dont la plus importante est le complexe lagunaire Aby, Tendo et Ehy d'environ 424 km² ; quatre fleuves (la Bia sur lequel se trouve le barrage hydroélectrique d'Ayamé, la Comoé, la Tanoé dont le bassin versant est de 16 000 km² et le Toumanguié). Plusieurs nappes phréatiques à haut débit dont les plus importantes sont les nappes du Sud-Comoé (200 m³/h en moyenne) situées dans les zones de Bonoua, de Bongo et d'Adiaké. Un littoral d'environ 86 km s'étend de Gand-Bassam jusqu'à la frontière du Ghana. La région du Sud-Comoé est

une région essentiellement agricole, avec une prédominance de caféiers (70 000 ha), de cacaoyers (80 526 ha), de palmier à huile (66 862 ha), d'hévéas, de banane dessert et d'ananas, pour les produits d'exportation. C'est également une grande zone productrice de vivriers (banane plantain, igname, manioc, etc.). Dans cette région, six plantations, dont cinq du groupe SAKJ (Société Agricole Kablan Joubin) à Aboisso et une du groupe Eglin à Grand-Bassam (Motobé) ont été parcourues.

4.2. Région de l'Agneby-Tiassa

Située dans le sud forestier de la Côte d'Ivoire, à la limite savane-forêt et englobant la pointe sud du "V" baoulé savanicole, la région de l'Agneby-Tiassa s'étend sur une superficie de 9 080 km². Elle est limitée au Nord par les régions du Moronou et du Bélier, au Sud par la région des Grands Ponts, à l'Est par la région de la Mé et à l'Ouest par les régions des Grands Ponts, du Gôh et du Lôh-Djiboua. Ses coordonnées géographiques sont, d'une part : 4°30'00 et 10 30'00 de latitude Nord et d'autre part, les 2°30'00 et 8 30'00 de longitude Ouest (CIES, 2017). La région de l'Agneby-Tiassa est composée administrativement de quatre départements que sont : Tiassalé, Sikensi, Taabo et Agboville le chef-lieu de région (Figure 21). Elle compte seize Sous-Préfectures. Le relief est généralement plat avec quelques élévations par endroit. Le climat, de type subéquatorial, comprend quatre saisons : deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La grande saison des pluies s'étend d'avril à juillet. Pendant cette saison, on a 2/3 des précipitations annuelles. La petite saison sèche part d'août à septembre et la petite saison des pluies d'octobre à novembre. La grande saison sèche s'étend de décembre à mars. La température moyenne annuelle est de 25,7 °C avec une moyenne de précipitations de 1 466,4 mm en moyenne et un taux d'humidité relative compris entre 75 et 87 %. Le sol y est tourbeux par endroit, avec une teneur en matière organique très élevée. Le réseau hydrographique est dominé par le fleuve Bandama qui traverse les départements de Taabo et de Tiassalé du Nord au Sud. Son principal affluent est le N'zi. On note aussi la présence de plusieurs cours d'eau au débit intermittent comme l'Agneby. L'Agneby-Tiassa est une région essentiellement agricole où prédomine le binôme café-cacao, pour les produits d'exportation. Depuis les années 2 000, la culture de l'hévéa et du palmier à huile connaissent un développement rapide et représentent un appoint non négligeable dans le revenu des populations. La culture de la banane dessert, jadis prospère dans le département d'Agboville, y connaît un léger déclin, mais est en essor dans le département de Tiassalé. Cette région est une grande productrice de vivriers (banane plantain, igname, manioc, etc.). L'Agneby-Tiassa compte quelques unités agro-industrielles, dont les unités de production et conditionnement

de la banane à Tiassalé telles que la Société de Culture Bananière (SCB), la Société Ivoirio-Antillaise de Production Agricole (SIAPA) et WANITA BATIA (Devenu TIABAM aujourd'hui), l'unité de transformation de l'huile de palme à Sikensi (ADAM AFRIQUE), les unités d'achat et conditionnement du latex (Société de Production de Caoutchou Naturel : CHEVETEC à Sikensi et Tropical Rubber Côte d'Ivoire, (TRCI) à Agboville, l'huilerie de Gbalékro à Agboville et l'industrie de jus d'ananas et de passion surgelé à Pacobo (Nature et Savane). Dans cette région, l'étude a concerné deux plantations à Tiassalé (celles des groupes SIAPA et WANITA BATIA) et deux plantations du groupe EGLIN à Agboville et à Azaguié.

4.3. Région des Grands Ponts

La région des Grands Ponts est principalement caractérisée par un climat subéquatorial, avec une pluviométrie très élevée (2000 mm de pluie par an), une hygrométrie permanente très élevée et des sols tourbeux en zone forestière. La température moyenne annuelle y est de 26 °C. Elle est voisine du District d'Abidjan et limitrophe des régions de l'Agnéby-Tiassa au Nord et du Lôh-Djiboua et du Gbôklè, à l'Ouest. Elle dispose, au Sud, d'un cordon littoral sur l'océan atlantique (120 km) lui-même entouré de berges lagunaires sur la lagune Ebrié. Elle est située entre les 5°11'00 et 5°12'00 de latitude Nord et entre les 4°33'00 et 4°5'00 de longitude Ouest (Dibi *et al.*, 2019). Dabou est le chef-lieu de Région (Figure 21). La région des Grands-Ponts recèle de nombreuses potentialités. Dans le secteur de l'agriculture et de la pêche, l'abondance de cours d'eau et de bas-fonds encourage au maraîchage, au développement de la riziculture et de la pisciculture. Dans le secteur industriel, les filières manioc (production locale d'attiéké), hévéa (latex), noix de coco (lait, beurre, parfum, etc.), huile de palme et la banane dessert sont des atouts à l'exportation. On y rencontre également des produits de la pêche maritime, la culture des bananes plantain et l'arboriculture.

La plantation du groupe Wanita de Dabou a été la cible de l'étude dans cette zone.

4.4. Région d'Abidjan ou District Autonome d'Abidjan

Le District Autonome d'Abidjan (DAA) est situé au Sud de la Côte d'Ivoire et s'étend sur 2 119 km². Il est situé entre la latitude 5°00' et 5°30' Nord et la longitude 3°50' et 4°10' Ouest. Il est limité au Nord, par la région de l'Agnéby-Tiassa ; au Sud par l'océan Atlantique ; à l'Ouest par les Départements de Dabou et de Jacqueville ; à l'Est par les Départements de Grand-Bassam et d'Alépé. Le District Autonome d'Abidjan comprend treize (13) communes autonomes dont dix (10) communes dans la ville d'Abidjan (Abobo, Adjamé, Attécoubé, Cocody, Koumassi, Marcory, Plateau, Port-Bouët, Treichville et Yopougon) et trois

communes hors d'Abidjan que sont Anyama, Bingerville et Songon (Figure 21). Le District Autonome d'Abidjan est sous l'influence du climat équatorial de transition (dit climat attiéen), marqué par quatre saisons dans le cycle annuel. On note ainsi, une grande saison des pluies d'avril à juillet suivie d'une petite saison sèche d'août à septembre. Une petite saison pluvieuse intervient d'octobre à novembre et une grande saison sèche de décembre à mars. La pluviométrie moyenne annuelle y est de 1466,4 mm avec des vents souvent préjudiciables aux bananiers. La température moyenne annuelle est comprise entre 25 et 33 °C. De fait, les variations de température (surtout la température maximale) mettent en évidence les caractéristiques de chaque saison, notamment de la grande saison sèche où souffle l'harmattan en partie et de la saison des pluies durant laquelle arrive la mousson. Les variations périodiques et régulières de la circulation générale donnent aux conditions annuelles de température une allure identique et régulière qui reflète bien l'uniformité et la stabilité de cet élément sous les latitudes tropicales. L'humidité de l'air (hygrométrie) y est de l'ordre de 80 à 90 % sur l'année. De façon générale, le DAA se situe dans le domaine forestier du pays. La surface de ce couvert végétal a fortement diminué en raison de son exploitation excessive, notamment une urbanisation galopante, de grandes exploitations agricoles, etc. La forêt primaire a pratiquement disparu en dehors de certaines zones protégées, comme les forêts d'Anguédédou et du Banco. La destruction de la forêt, du fait de l'anthropisation, a favorisé la mise en place d'une végétation herbacée alternant par endroit avec des habitations. La végétation anthropique est essentiellement constituée de plantations de palmiers à huile et d'Hévéa, de manioc (destinées à la vente et à la consommation familiale) et de banane d'exportation. On y rencontre des sols assez riches en cations.

Dans cette zone, nous avons visité deux plantations du groupe Rouchard à Attinguié. C'est dans cette zone que l'essai a été implanté précisément sur le site du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) à Anguédédou.

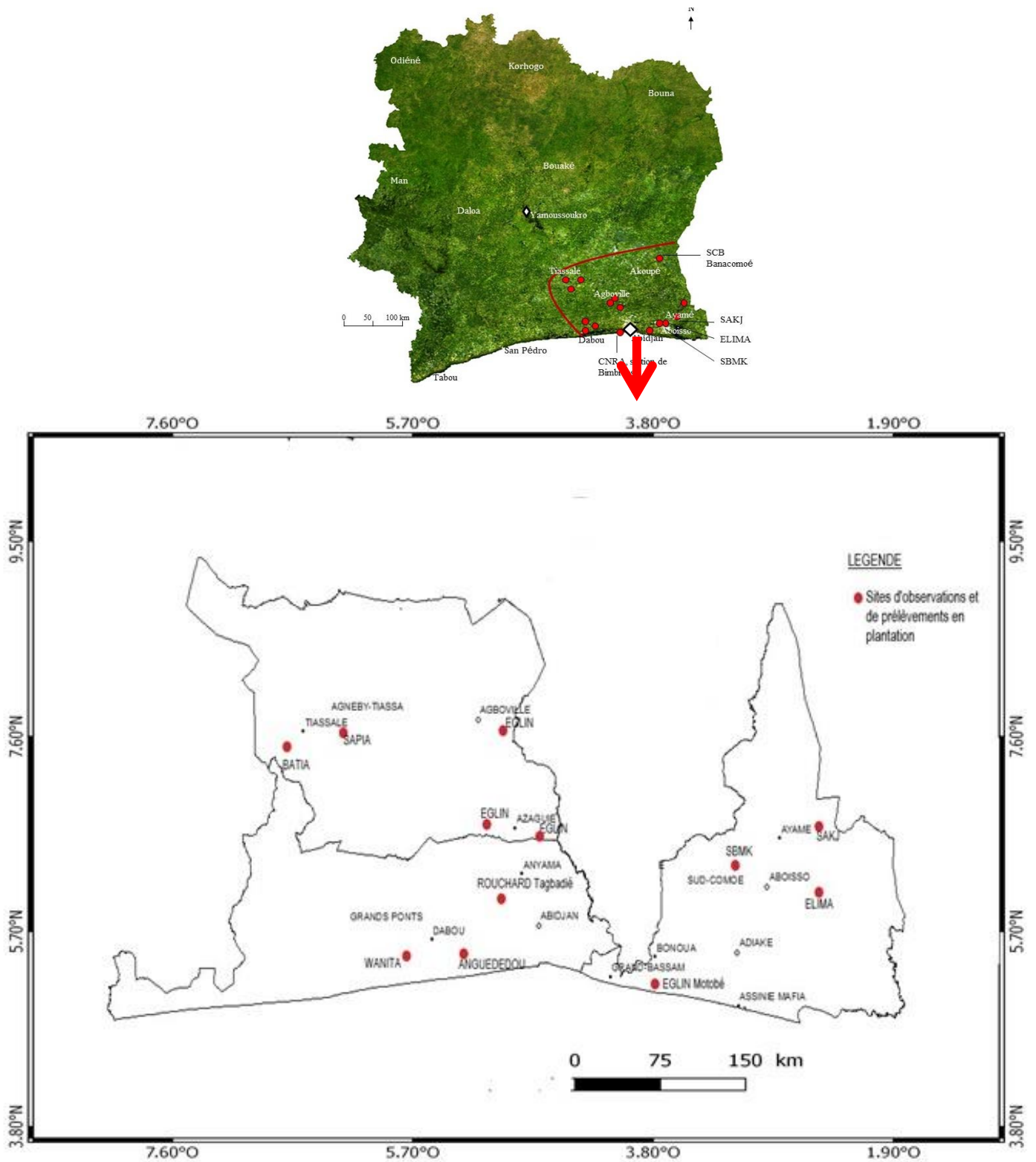


Figure 21 : Localisation des sites d'observations, de prélèvement des feuilles de bananiers

5. MATERIEL

Les travaux de cette thèse ont été menés à la fois en conditions naturelles d'infestation (plantations industrielles, plantations villageoises et parcelles d'essai) et au laboratoire, sur le mycopathogène *Mycosphaerella fijiensis*. Le matériel utilisé est essentiellement composé d'un matériel végétal, de matériel fongique et de produits chimiques.

5.1. Matériel végétal

L'étude a porté d'une part, sur les feuilles de bananier dessert, *Musa* sp. des cultivars Grande Naine, William et Poyo et d'autre part, sur les feuilles de variétés de bananiers traditionnelles Corne 1, Bana Dishye, Big Ebenga, French Sombre, Orishele, 3 Vert et SACI, puis les variétés améliorées BITA 3, FHIA 21, PITA 3 et SH 3640. Environ 80 % des cultivars en exploitation dans les bananeraies industrielles ivoiriennes sont de la variété Grande Naine (Gnonhouru *et al.*, 2009). Les feuilles de bananier prélevées portaient des symptômes typiques de stades 3 et 4 de la cercosporiose noire du bananier.

5.2. Matériel fongique

Le matériel fongique utilisé a été constitué de conidies (spores produites par la reproduction asexuée) de *Mycosphaerella fijiensis* issues de bananeraies industrielles (conidies traitées), de plantations villageoises et de parcelles d'essais (conidies non traitées ou sauvages). Ces conidies ont été isolées à partir des lésions présentes sur les feuilles de bananiers portant les symptômes de la cercosporiose noire aux stades 3 et 4. Ces conidies ont été cultivées sur des milieux de cultures additionnés de fongicides.

5.3. Matériel chimique

Le matériel chimique, qui a servi pour le test de sensibilité des conidies, est composé de fongicides unisites (systémiques) appartenant à trois familles (les triazoles, les strobilurines et les benzimidazoles). Ce sont les familles de fongicides les plus utilisées dans les bananeraies industrielles (Tableau X). Ils ont été fournis par les équipes phytosanitaires des plantations et par les firmes phytosanitaires exerçant en Côte d'Ivoire.

Tableau X : Liste des fongicides utilisés au laboratoire et leurs caractéristiques

Familles	Matières actives	Noms commerciaux	Formulations
Triazoles	Inhibiteur de Biosynthèse des Stérols, DMI	Tébuconazole	Folicur 250 EW/Junior 250 g/L
		Epoxiconazole	Opus 075 EC 75 g/L
		Difénoconazole	Sico 250 EC 250 g/L
		Benzimidazoles	Antimitotique, MBC
Strobilurines	Inhibiteur de la respiration, QoI	Méthyl-thiophanate	Peltis/Calis
		Azoxystrobine	Bankit
		Trifloxystrobine	Téga 075 EC 75g/L

5.4. Matériel technique

Le matériel technique utilisé dans cette étude se regroupe en matériel de terrain (plantation), en appareils et produits chimiques de laboratoire (Tableau XI)

Tableau XI : Matériel de terrain, appareillage et produits de laboratoire

Matériel de terrain	Appareillage et matériel de laboratoire	Produits de laboratoire
Couteaux	Autoclave (SMI-AVX-1375)	Agar-Agar
Paire de ciseaux	Hotte à flux laminaire (Beccassine, 1015)	D-Glucose
Sachet plastique	Balance de précision 0,1	Pastille de pomme de terre
Glacière	Plaque chauffante magnétique (heidoph, 4361)	Alcool à brûler
Asperseur manuel de 2 litres	Etuve (Memmert, 854 Schwabach)	Lactophénol
Seaux	Agitateur électrique (Brunswick scientifique disoni)	Glycérine
	Spatule	Acide lactique
	Verrerie (fiolle, boîte de Pétri, becher, tube à essai, pipette,	Acide phénique
	Papier Buvard	Eau distillée
	Micropipette (AHN-biot.Gmbh)	
	Microscope photonique (Leitz laborlus K)	
	Paire de ciseaux	
	Compteur manuel (Ferrari-statitest type 10)	
	Micromètre	

6. METHODES

6.1. Evaluation des effets des facteurs environnementaux et du niveau d'entretien des plantations sur la vitesse d'évolution de la cercosporiose noire

Cette évaluation a consisté à faire des observations, sur l'état sanitaire des bananiers dans les plantations, sur la présence d'équipe phytosanitaire et le mode de gestion des plantations par ces équipes phytosanitaires. Les données sur l'étage foliaire attaqué et l'état d'évolution (EE) de la cercosporiose noire ont également été recueillies. Cet ensemble d'information devrait permettre de connaître l'impact des facteurs environnementaux et du niveau d'entretien des plantations sur l'évolution de la maladie.

6.1.1. Evaluation de l'état sanitaire des bananiers dans les plantations

Il s'est agit d'observer les bananiers afin de déceler s'ils sont victimes de carences, ou d'attaques de parasites ou de maladies autres que les cercosporioses.

6.1.2. Observation du mode d'organisation des équipes phytosanitaires et évaluation de la gestion des paramètres environnementaux dans les bananeraies industrielles

L'observation du mode d'organisation des équipes phytosanitaires a consisté à faire une enquête sur la présence ou non d'équipes phytosanitaires dans les plantations. Elle a aussi consisté à vérifier si ces équipes enregistrent les données pluviométriques, font des observations hebdomadaires des étages foliaires attaqués et si elles élaborent les courbes d'état d'évolution de la cercosporiose noire. Il a été principalement question de savoir s'il existait des équipes phytosanitaires et si ces équipes avaient la maîtrise de la gestion de la lutte intégrée contre les cercosporioses (suppression des parties nécrosées des feuilles des bananiers, curage régulier des drains et suivi de l'état d'évolution de la cercosporiose noire). Ces observations ont été ainsi faites à chaque visite de terrain (deux visites par an dont une en saison pluvieuse et une autre en saison sèche) sur une période de trois (3) années.

Le mode de gestion de l'humidité ambiante (curage régulier des drains pour éviter que l'eau stagne dans la plantation) a également été observé. Elle a également consisté à vérifier s'il existe des postes d'observation dans les zones à risque. C'est-à-dire les bordures des plantations proches des plantations villageoises d'où peut provenir l'inoculum, les drains contenant constamment de l'eau ou zone de retenue d'eau et les zones traversées par les fils électriques, etc. Il a aussi été question de connaître les méthodes de contrôle de l'enherbement

et de savoir si la suppression de parties nécrosées des feuilles est correctement et régulièrement faite.

6.1.3. Evaluation du niveau d'attaque ou pression d'inoculum et de l'état d'évolution de la cercosporiose noire

Le niveau d'attaque du champignon *Mycosphaerella fijiensis* dans les plantations a été déterminé par les rangs de la plus jeune feuille attaquée (PJFA) par la maladie, et par le rang de la plus jeune feuille nécrosée (PJFN).

En ce qui concerne l'état d'évolution de la cercosporiose noire (EE), il a été calculé à partir des données recueillies de façon hebdomadaire en faisant des observations en plantation. Les observations ont concerné le stade du cigare du jour, les stades cercospora, les PJFA et PJFN, et le nombre de feuilles émises par semaine. Toutes ces données ont été notées sur des fiches d'observation (Annexe 1).

6.1.3.1. Création de postes d'observation

Un post d'observation est une sous-parcelle dans laquelle les équipes phytosanitaires font des observations hebdomadaires des symptômes des cercosporioses. Pour créer les postes d'observation, les foyers très attaqués ainsi que les zones à risques (bordures non dégagées, zone de lignes électriques, de drain ne s'asséchant pas, de retenue d'eau ou de cours d'eau et des bordures par lesquelles les vents pénètrent dans la plantation) ont été recherchés à travers toute la plantation. Dans les carrés (sous-parcelles) correspondants, 10 jeunes bananiers, pas assez proche de la floraison (car le suivi dure plusieurs semaines) ont été choisis. Ces bananiers doivent être répartis sur toute la surface du carré pour éviter qu'ils soient concentrés dans un endroit du carré. Après l'installation des postes d'observations, les bananiers qui ont fleuri pendant l'expérimentation ont été remplacés par d'autres plus jeunes. (Fouré, 1984)

Les postes d'observation ont été ensuite nommés. Puis, les 10 bananiers ont été marqués avec des bracelets colorés qui ont été mis autour des stipes (Fouré, 1984).

6.1.3.2. Observations en plantations

Dans chaque poste, des observations hebdomadaires ont été faites afin de connaître le niveau d'évolution de la maladie dans les plantations.

D'abord, les feuilles entièrement déroulées ont été numérotées en partant de la plus jeune (celle qui se situe juste après le cigare) à la plus âgée (figure 22). Puis les feuilles vivantes du bananier ont été dénombrées, avec le stade du cigare, sans tenir compte de celles qui sont cassées ou sectionnées. Ensuite, des observations sur les symptômes de la

cercosporiose noire (depuis le stade 1, jusqu'au stade 6) ont été faites sur l'ensemble des feuilles selon l'ordre des numéros donnés. Ainsi, la Plus Jeune Feuille Atteinte et la Plus Jeune Feuille Nécrosée ont été identifiées.

➤ **Identification de la Plus jeune feuille atteinte (PJFA) :**

La PJFA est le rang de la première feuille du bananier portant au moins 10 tirets au stade 1 de la MRN (Fouré, 1983 ; Orjeda, 1998). Elle a été identifiée en observant les feuilles du haut (plus jeune) vers le bas (la moins jeune). Ce paramètre renseigne sur l'aptitude des bananiers à présenter les premiers symptômes de la maladie.

➤ **Identification de la Plus jeune feuille nécrosée (PJFN) :**

La PJFN se définit comme le rang de la plus jeune feuille du bananier portant au moins 10 taches nécrotiques (stade 5 ou 6) ou une grande plage de limbe foliaire nécrosée par la cercosporiose noire (Stover et Dickson, 1970 ; Fouré, 1983). Elle a été déterminée en observant les feuilles des plus jeunes vers les plus âgées. La PJFN permet d'évaluer la sévérité de la maladie qui se traduit par la perte de l'activité fonctionnelle de la feuille.

6.1.3.3. Suivi de l'état d'évolution (EE)

Pour calculer l'EE, le stade du cigare et les stades de développement de la cercosporiose noire ont été déterminés.

6.1.3.3.1. Détermination du stade du cigare du jour (stades de déroulement du cigare)

Avant son émergence totale, la nouvelle feuille de bananier se présente sous la forme d'un rouleau très serré, donnant l'aspect d'un cigare dont le déploiement passe par 5 stades : 00, 02, 04, 06, 08 (Brun, 1963 ; Anno, 1981). Apprendre à reconnaître les stades du cigare permet de déterminer la feuille 1 et les suivantes en notation descendante (Figure 22). Cette numérotation a été utilisée pour le remplissage des fiches d'observation. Pour les plantations très atteintes par la cercosporiose noire, il est très utile de savoir combien de feuilles saines persistent après la floraison pour assurer le remplissage du régime et cela est parfaitement donné par la numérotation descendante.

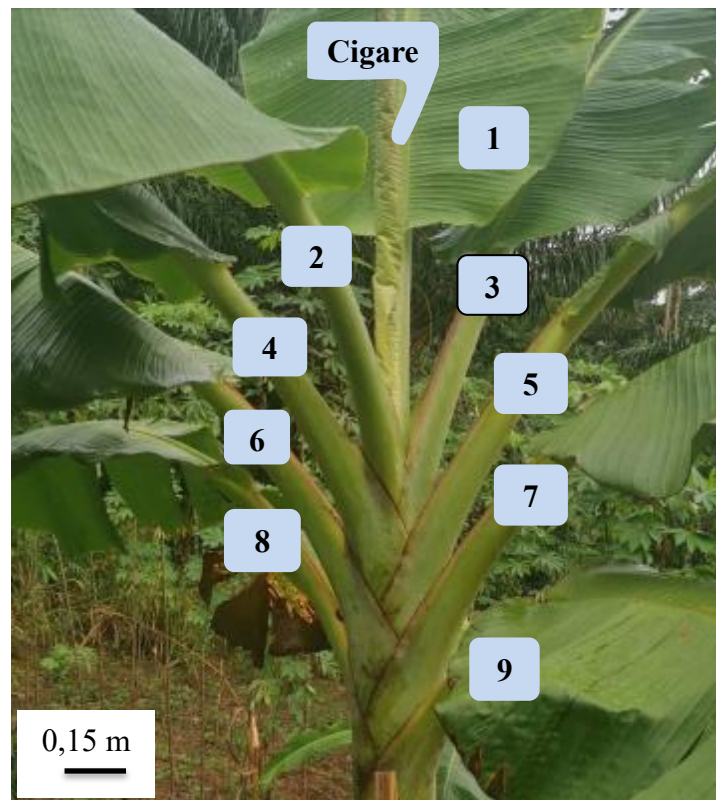


Figure 22 : Numérotation des feuilles du bananier

6.1.3.3.2. Détermination des stades cercospora

Le stade cercospora c'est le stade le plus évolué de la cercosporiose sur les feuilles de rang 2 à 4 (F2, F3, F4).

6.1.3.3.3. Remplissage des fiches d'observations

La méthode de remplissage des fiches d'observations est celle de Ganry et Meyer (1973). Sur le terrain, devant chacun des 10 bananiers d'un poste, le stade cigare du jour et tous les stades cercospora visibles sur les feuilles 2,3 et 4 ont été notés. Les stades cercospora observés ont été cochés sur la fiche d'observation (Annexe 1).

6.1.3.3.4. Quantification de l'Etat d'Evolution (EE) ou vitesse d'évolution de la maladie des raies noires

Après le remplissage, le reste du travail sur la fiche d'observation a consisté à calculer l'EE ou vitesse d'évolution de la cercosporiose noire en fonction du temps.

Le couple rang de feuille, stade cercospora a été rapporté à une échelle de temps et a été corrigé par la vitesse de croissance du bananier exprimée par le rythme d'émission foliaire (REF). Le rythme d'émission foliaire (REF) a été obtenu en déduisant du nombre de feuilles émises en une semaine (NFES) le nombre de feuilles émises la semaine précédente (NFES₋₁).

La valeur absolue du chiffre obtenu traduit le rythme d'émission foliaire, exprimée par la formule suivante :

$$REF = |NFE_s - NFE_{s-1}| \quad (1)$$

La somme des rythmes d'émission foliaire a été ensuite effectuée pour l'ensemble des 10 bananiers de chaque poste d'observation. Ce qui correspond au REF de ce poste d'observation en une semaine.

Le correctif d'Evolution (CE) a été obtenu en multipliant la valeur du stade du cigare par le nombre de feuilles atteintes par la maladie.

La somme brute (SB) correspond à l'évolution de la maladie sans tenir compte du rythme d'émission foliaire. Pour chaque feuille et à chacun des stades de développement de la de la cercosporiose noire correspond un coefficient de base (ou abaques de valeurs différentes suivant la densité des symptômes) par lequel a été multiplié le stade le plus évolué de la maladie pour obtenir la somme brute.

La somme corrigée par le stade du cigare (SEV) a été obtenue en déduisant de la somme brute (SB) le coefficient corrigé par le stade du cigare, exprimée par la formule suivante :

$$SEV = SB - CE \quad (2)$$

L'état d'évolution de la maladie (EE) a été obtenu en multipliant la valeur de la somme corrigée (SEV) par la valeur caractérisant le rythme d'émission foliaire du bananier (REF) suivant la formule :

$$EE = SEV \times REF \quad (3)$$

L'état d'évolution (EE) de la maladie contribue au système d'avertissement biologique pour le contrôle de la maladie des raies noires (MRN), par la détection rapide de nouvelles attaques entre deux traitements. Il permet de quantifier le développement de la maladie dans une bananeraie. Il renseigne sur la vitesse d'évolution de la maladie dans la bananeraie en relation avec les conditions climatiques et l'intensité de l'infection (PJFA et PJFN). Il détermine donc la prise de décision pour un traitement. En Côte d'Ivoire, le seuil d'EE critique pour décider du traitement n'a pas été déterminé. La diversité et la qualité des observations ne le permettent pas. La pente de la courbe dans sa phase ascendante suffit pour présager de l'EE à venir en fonction de la précision connue de chaque observateur (Kermarrec, 1990).

6.2. Enquête sur les méthodes et régimes d'utilisation des fongicides

Une enquête portant sur les méthodes et le régime d'utilisation des fongicides sur trois années (2016, 2017 et 2018) a été menée. Elle a permis d'établir les proportions d'utilisation des familles de fongicides dans les bananeraies industrielles ivoiriennes. Les données recueillies ont concerné les différentes molécules utilisées dans la lutte chimique contre la maladie des raies noires et leur nombre d'applications (Annexe 2). Les informations ont été recueillies auprès des responsables de plantation.

6.3. Evaluation de la sensibilité des isolats de *Mycosphaerella fijiensis* des plantations industrielles et des isolats sauvages aux matières actives fongicides

Des tests de sensibilité des isolats de *M. fijiensis* aux fongicides ont été effectués sur les conidies des plantations traitées habituellement et sur les conidies des plantations jamais traitées. Ces tests ont été réalisés sur les conidies obtenues sur les feuilles de bananiers prélevées dans les plantations industrielles, dans les plantations villageoises et dans l'essai. Ces évaluations ont été faites chaque semestre durant les trois années (de 2016 à 2018).

6.3.1. Echantillonnage des feuilles de bananiers dans les plantations industrielles

Des échantillons de limbes de feuilles de bananier de dimension 15 cm x 25 cm ont été prélevées, selon la méthode décrite par Kobenan *et al.*, (2009) dans 12 plantations industrielles (Tableau XII) dans des postes d'observations. Les morceaux de limbe de feuilles ont été prélevés sur au moins 25 bananiers aux feuilles vivantes, portant les stades 3 à 4 de la cercosporiose noire. Le nombre d'échantillons prélevés a varié en fonction de la superficie des plantations, en raison d'un échantillon sur 50 ha (Tableau XIII). Ces échantillons de feuilles vivantes, ont été conditionnés dans des emballages en plastique, étiquetés et conservés dans des glacières, puis transportés au laboratoire pour des analyses. Les prélèvements ont été effectués au moins 2 semaines après le dernier traitement fongicide. Afin de s'assurer de la présence d'un bon nombre de conidies sur les feuilles, ces feuilles ont été prélevées au moins une semaine après la pluie.

Tableau XII : Plantations prélevées par zone de production

Zone de production	Plantations	Superficie (ha)
Aboisso (CANAVESE)	ELIMA, SAKJ et SBMK	1 300
Abidjan (CANAVESE)	Rouchard Tagbadié	93
Grand Bassam (SIPEF)	Eglin Motobé	222
Azaguié-Agboville (SIPEF)	Eglin Azaguié et Eglin Agboville	344
Dabou (WANITA)	Lumen, Km 30 et 98 B	250
Tiassalé (WANITA)	Batia	350
Tiassalé (SIAPA)	SIAPA SA	500
Total	12	3059

Tableau XIII : Nombre d'échantillons de feuilles de bananier prélevés par plantation en 2018

Zones	Plantations	Nombre d'échantillons
ABOISSO (1300ha)	AKRESSI	7
	DICONNE	3
	DIBY	5
	ELIMA	5
	SBMK	2
	Villageoise	1
BASSAM (222 ha)	Eglin-Motobe	4
	Villageoise	1
AZAGUIE-AGBOVILLE (344 ha)	Eglin-Azaguie	3
	Eglin-Agboville	5
	Villageoise	2
DABOU-ATTINGUIE	SPDCIE (250ha)	9
	ROUCHARD (Niekky et Attingué)	3
	Villageoise	2
	BATIA (350 ha)	7
TIASSALE	SIAPA (500 ha)	1
	Villageoise	1

6.3.2. Echantillonnage des feuilles de bananiers dans les plantations villageoises

Pour chaque zone, un échantillon de feuilles vivantes de bananiers a aussi été prélevé dans les plantations villageoises, à une distance d'au moins 10 km des plantations industrielles. Un total de sept échantillons de feuilles de bananier non traitées au fongicide a été prélevé. Par la suite, ces échantillons ont été mis dans des emballages en plastique, étiquetés puis conservés dans des glacières et conduits au laboratoire pour les analyses.

6.3.3. Tests de sensibilité *in-vitro* des isolats de *Mycosphaerella fijiensis* aux fongicides

Au laboratoire, les conidies de *Mycosphaerella fijiensis* ont été isolées à l'aide de milieu gélosé (2 % de gélose simple) fraîchement préparé. Les feuilles ont été mises en

contact avec le milieu au niveau des lésions (symptômes de la cercosporiose au stade 3 ou 4) pour fixer les conidies. Les observations ont été faites au microscope optique pour trouver l'échantillon de feuille qui porte beaucoup de conidies. Ainsi, les feuilles portant le plus de conidies ont été utilisées pour les tests de sensibilité. La méthode d'analyse qui a servi pour évaluer la sensibilité de *Mycosphaerella fijiensis* à ces trois familles de fongicides (Triazoles, Strobilurines et Benzimidazoles) a été une modification de celle décrite par Van Den Berg Loridat en (1989). Elle s'est déroulée en plusieurs étapes décrites ci-après.

6.3.3.1. Préparation des solutions mères de fongicides

Les fongicides choisis appartenaient à trois familles de fongicides systémiques les plus utilisées (triazoles, strobilurines et benzimidazoles) dans les plantations industrielles. Ainsi les matières actives qui ont été utilisées étaient le méthyl-thiophanate, pour la famille des benzimidazoles ; l'azoxystrobine et le trifloxystrobine en ce qui concerne les strobilurines et le difénoconazole, le tébuconazole et l'époxiconazole pour la famille des triazoles. Les solutions mères à 1000 $\mu\text{L/L}$ de concentration finale ont été préparées en diluant chaque matière active de fongicides à l'état brut dans l'eau distillée stérile pour obtenir une quantité finale de 40 mL. D'abord, 0,1 mL de méthyl-thiophanate (benzimidazoles) a été dilué dans 39,9 mL d'eau distillée stérile. Quand aux triazoles, 0,16 mL de difénoconazole, époxiconazole et tébuconazole a été dilué dans 39,84 mL d'eau distillée stérile. Pour les strobilurines, 0,16 mL de trifloxystrobine et azoxystrobine a été dilué dans 39,84 mL d'eau distillée stérile. D'autres solutions mères de concentration 10 $\mu\text{L/L}$ et de 40 mL de volume ont été également préparées avec les fongicides. Pour les benzimidazoles, 0,001 mL de solution mère a été dilué dans 39,99 mL d'eau distillée stérile. En plus, 0,0016 mL de triazole et de strobilurine ont été dilués dans 39,99 mL d'eau distillée stérile. Toutes ces solutions ont été conservées au réfrigérateur à 4 °C.

6.3.3.2. Préparation des milieux de culture

Les milieux gélosés à 2 % d'agar, soit 20 g d'agar pour 1 litre d'eau distillée ont été préparés dans des Erlenmeyers. Ensuite ces milieux ont été stérilisés à l'aide d'un autoclave à 121 °C pendant 20 minutes sous une pression de 1 bar. Après l'autoclavage, les solutions mères de fongicides ont été ajoutées aux milieux gélosés en fonction des concentrations. Le mélange a été ensuite bien homogénéisé à l'aide d'un agitateur et coulé dans des boîtes de Pétri à raison de 10 à 15 mL par boîte. Les doses de fongicides utilisées ont été de 5 $\mu\text{L/L}$ pour le méthyl-thiophanate (Benzimidazoles), de 0,1 $\mu\text{L/L}$ pour le difénoconazole,

l'époxyconazole et le tébuconazole (Triazoles), de 1 µL/L d'azoxystrobine et de 0,1 µL/L de trifloxystrobine en ce qui concerne les Strobilurines (Tableau XIV). Le milieu témoin a été composé de gélose à 2 % uniquement sans fongicide (0 µL/L).

Tableau XIV : Doses de fongicides testées selon les familles et les matières actives

Famille	Matières actives	Doses utilisées (µL/L)	Nombre de boîtes de Pétri
Benzimidazoles	Méthyl-Thiophanate	5	1
Triazoles	Difénoconazole	0,1	3
	Epoxyconazole		
	Tebuconazole		
Strobilurines	Azoxystrobine	1	2
	Trifloxystrobine	0,1	
Témoin	Sans fongicide	0	1
TOTAL			7

6.3.3.3. Ensemencement des conidies sur les milieux de culture et incubation

Les fragments de feuilles malades portant le maximum de conidies ont été découpés en morceaux de 1 à 2 cm² à l'aide d'une paire de ciseaux (Figure 23 A). Les faces inférieures des morceaux ont été appliquées sur la surface du milieu gélosé (16 morceaux de feuilles en moyenne par boîte de Pétri), fraîchement préparé et additionné de fongicide ou non (Figure 23 B). L'incubation a été faite après le retrait des morceaux de feuilles des boîtes de Pétri (Figure 23 C). Un total de 7 boîtes de Pétri a été utilisé pour chaque échantillon de feuilles de bananiers. Les milieuxensemencés ont été incubés durant 48 heures à température ambiante au laboratoire, pour permettre aux conidies de germer.

6.3.3.4. Observation au microscope optique

Les observations ont été faites au microscope optique (Leitz Laborlux K), 48 heures après la mise en contact des conidies avec le milieu de culture additionné de fongicide ou non. Cela a consisté à placer les milieux de culture sur la lame montée sur la platine du microscope et à faire des comptages des conidies pour les benzimidazoles et des mesures des tubes germinatifs des conidies pour les triazoles et les strobilurines.

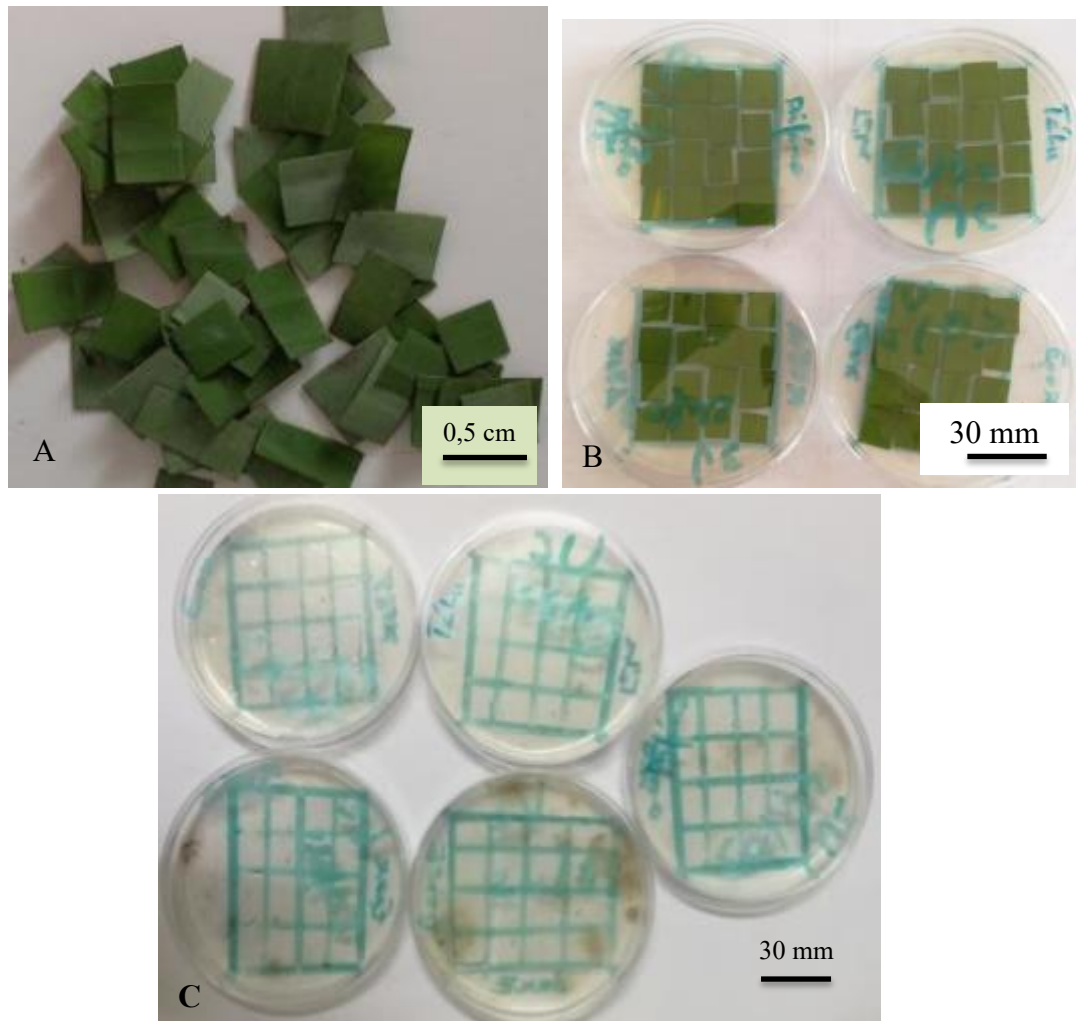


Figure 23 : Etapes de mise en culture des conidies

A : fragments de feuilles de bananiers malades ; **B** : fixation des conidies sur le milieu de culture ; **C** : incubation après le rétrait des feuilles

❖ Comptage de conidies au microscope sur milieu de culture additionné de méthyl-thiophanate

Pour le méthyl-thiophanate, à 5 $\mu\text{L/L}$, les conidies à germination normale (résistantes ou sans déformation), à germination anormale (sensible, avec déformation des tubes germinatifs), ainsi que les conidies non germées (Figure 24) ont été comptées. Le comptage a également été fait pour le témoin (sans fongicide). Il a été fait à l'aide d'un compteur mécanique (Ferrari-Statitest, Typ : 8 Nr. 84110281) et d'un microscope optique au grossissement $G \times 100$. Au total, 50 vues ont été effectuées à raison d'au moins 25 conidies par vue à la concentration de 5 $\mu\text{L/L}$ et pour le témoin.

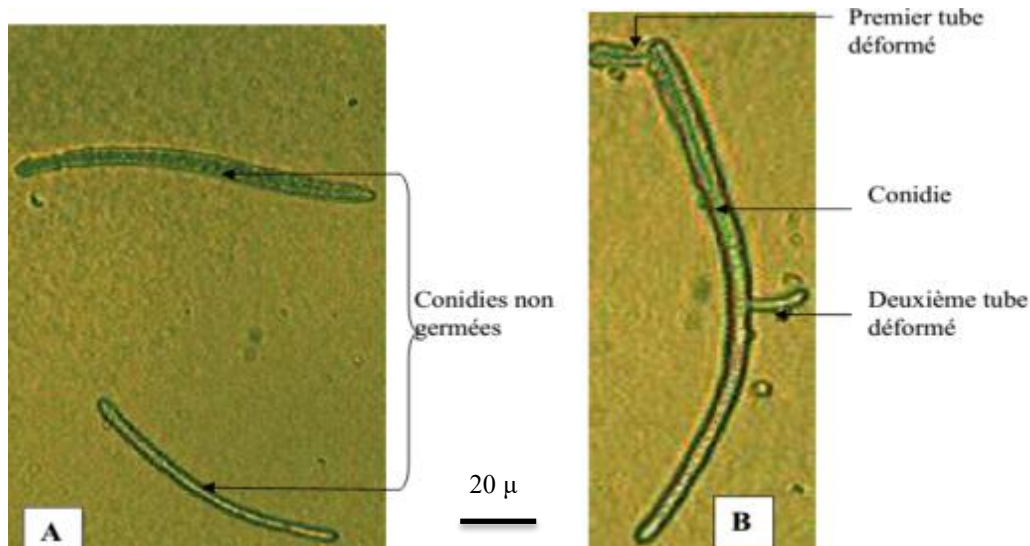


Figure 24 : Conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sensibles (Kobenan *et al.*, 2009)

(A) : non germées (B) : avec tubes germinatifs déformés sur milieu additionné de méthyl-thiophante à 5 µL/L

❖ Calcul du taux de germination normale

Après le comptage de conidies, le taux de germination normale (TGN) a été déterminé en divisant le nombre de conidies germées (donc normales) par le nombre total de conidies observées. Le seuil de laboratoire retenu pour déclarer la résistance a été fixé à 20 % de germination normale à la concentration de 5 µL/L (Knight *et al.*, 2002). Au-delà de cette valeur, l'isolat concerné est déclaré résistant. Le taux de conidies déformées et le taux de conidies non germées ont également été calculés.

$$TGN = \frac{NGN}{NTO} \times 100 \quad (4)$$

TGN : Taux de germination normale

NGN : nombre de conidies à germination normale

NTO : nombre total de conidies observées

❖ Mesure de la longueur des tubes germinatifs des conidies sur milieux de culture additionnés de triazoles

Pour les triazoles, les longueurs des tubes germinatifs réduits des conidies (sensibles au fongicide) et tubes germinatifs normaux des conidies (résistantes) ont été mesurées (Figure 25). Ensuite, les longueurs des tubes des conidies sur milieu témoin (sans fongicides) ont été mesurées aussi. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un microscope optique au grossissement G x 40 muni d'un micromètre-objet gradué de 0,01 mm de précision placé sur la platine de l'appareil. Pour chaque boîte de Pétri, les tubes germinatifs de 100 conidies ont été mesurés.

❖ Calcul du taux d'inhibition de la croissance

Les taux de croissance et d'inhibition sont les paramètres qui déterminent l'action de cette famille de fongicide. Ils ont été déterminés à partir des mesures du témoin sur milieu sans fongicide selon les formules suivantes :

$$TI = \frac{LM0 - LMT}{LM0} \times 100 \quad (5)$$

TI = taux d'inhibition ou taux de réduction de la croissance ;
LM0 = longueur moyenne des tubes germinatifs (témoins) ;
LMT = longueur moyenne des tubes germinatifs des différents traitements.

Le seuil de laboratoire pour déclarer la résistance aux triazoles a été fixé en fonction du taux de croissance. Il a été de 35 % à la dose de 0,1 µL/L de triazole. Dans cette étude, il a été fixé en fonction du taux d'inhibition, dans ce cas, il est de 65 % (Knight *et al.*, 2002).

❖ Mesure des tubes germinatifs sur milieux de culture amendés de strobilurines

En ce qui concerne les strobilurines, les mesures de la longueur des tubes germinatifs réduits (sensibles au fongicide) et tubes germinatifs normaux (témoins sur milieu sans fongicide ou conidies résistantes) des conidies ont aussi été effectuées (Figure 25). Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un microscope optique au grossissement G x 10 muni d'un micromètre-objet gradué de 0,01 mm de précision placé sur la platine de l'appareil. Pour cette famille, les concentrations étudiées ont été de 0,1 µL/L de trifloxystrobine et 1 µL/L d'azoxystrobine. Ainsi, une longueur moyenne des tubes germinatifs de 100 conidies a été déterminée pour chaque matière active. Puis, les taux de croissance et d'inhibition ont été déterminés. Ils ont été calculés à partir des mesures du témoin sur le milieu sans fongicide.

Pour les strobilurines, dans certains cas, ce sont des comptages de conidies qui ont été effectués comme ceux des benzimidazoles. Dans ce cas, le taux de germination normale a été le paramètre retenu pour évaluer la sensibilité des conidies.

Le seuil de résistance aux Strobilurines est de 75 % de taux de croissance à 0,1 µL/L de trifloxystrobine et 1 µL/L d'azoxystrobine selon les recommandations du Fongicide Resistance Action Committee (Knight *et al.*, 2002). Soit 25 % de Taux d'inhibition ou 25 % de Taux de germination.

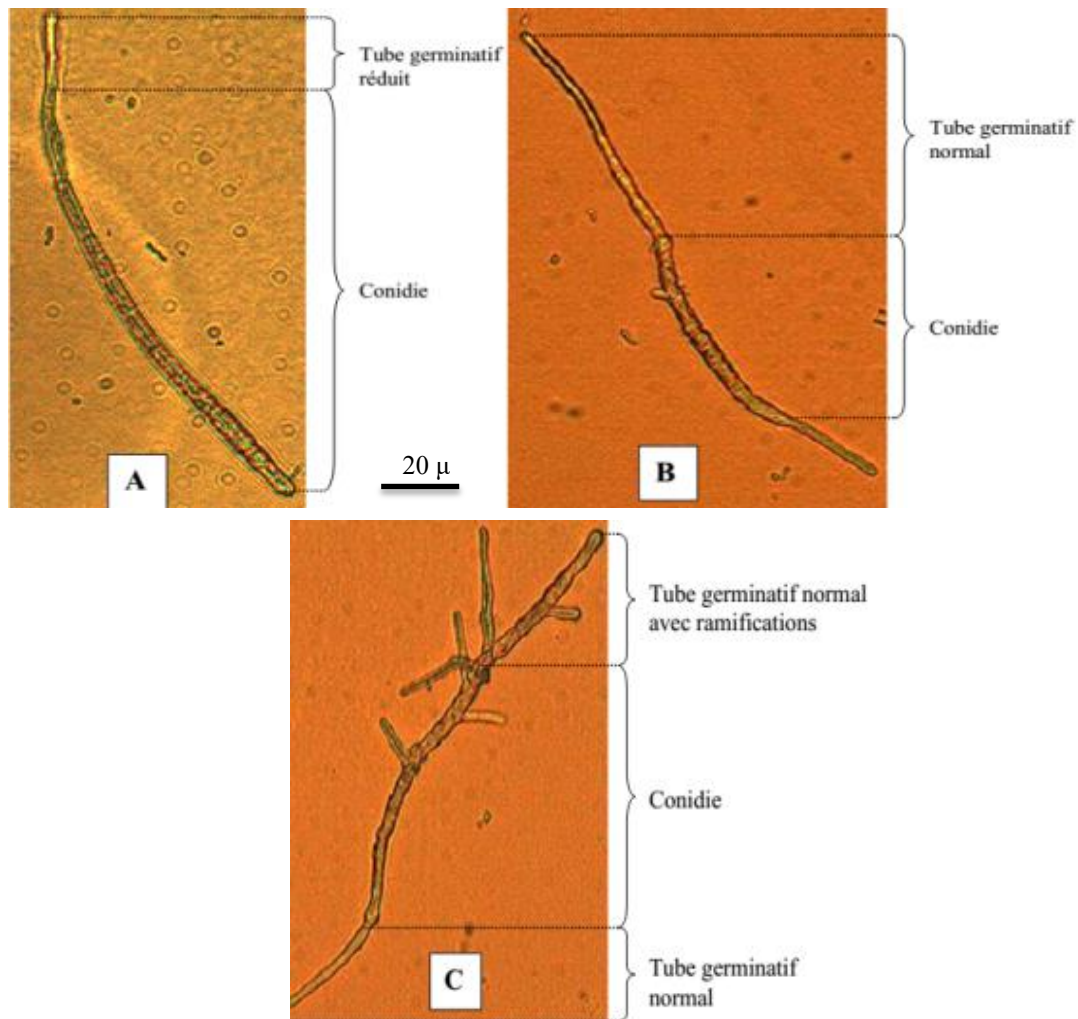


Figure 25 : Conidies de *Mycosphaerella fijiensis* (Kobenan *et al.*, 2009)

(A) : tube germinatif raccourci par le triazole à 0,1 ppm ; (B) : tube germinatif normal sur milieu sans fongicide ;
(C) : tubes germinatifs normaux sur milieu amendé de fongicides (résistant)

6.4. Evaluation du comportement de *Mycosphaerella fijiensis* en fonction des variétés de bananiers

Cette évaluation a concerné l'effet de l'interaction hôte-pathogène entre plusieurs variétés de bananiers et *M. fijiensis* sur la sensibilité du champignon aux fongicides. Un essai a été mis en place avec différentes variétés de bananier. L'évaluation du comportement du champignon a concerné d'abord, le niveau d'attaque des bananiers par variété à travers les paramètres phytopathologiques de la maladie que sont la plus jeune feuille atteinte (PJFA) et la plus jeune feuille nécrosée (PJFN). Ensuite, elle a concerné les caractéristiques des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* que sont la taille, le nombre des conidies/mm² et la sensibilité aux fongicides des isolats de *M. fijiensis*.

6.4.1. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Huit variétés de bananiers (BITA 3, Bana Dishye, Big Ebenga, FHIA 21, French sombre, SACI, SH 3640 et 3 Vert) ont été évaluées et ont constitué les huit traitements. Les bananiers ont été plantés dans un dispositif en bloc (Fisher), avec pour seul facteur la variété de bananier. Au total, huit parcelles élémentaires ont constitué l'essai. Les bananiers ont été plantés à la densité de 2500 plants/ha. Au sein de chaque parcelle, le nombre de bananiers a été de 20 plants.

A cet effet, des vivoplants issus d'une multiplication par souche décortiquée (MSD) ont été utilisés. Un traitement anti-nématode a été appliqué au sol autour des bananiers, à raison de 30 g/pied, avec le nematicide Rugby (matière active : cadusafos). Un mois après le planting, chaque plant a reçu 160 g de dolomie (appliqué autour du bananier au sol) et 135 g de phosphate tricalcique. A partir de deux mois après le planting, des apports d'urée et Chlorure de Potassium (KCl) ont été effectués mensuellement à raison, respectivement, de 22 g/plant et 55 g/plant jusqu'à la récolte. Le contrôle de l'enherbement a été effectué par sarclage régulier accompagné de traitements herbicides avec du Basta à la dose 2 L/ha, à 4, 8 et 16 semaines après le planting.

Aucun traitement antifongique n'a été effectué pendant l'expérimentation. Seules les parties de feuilles entièrement nécrosées ont été supprimées régulièrement de façon mécanique.

6.4.2. Evaluation du niveau de développement de la maladie sur les différentes variétés

Des observations des rangs de PJFA et de PJFN ont été effectuées de façon mensuelle sur les plants des différentes variétés de bananier testées. Elles ont été faites durant la phase végétative du bananier. Ces observations ont permis de connaître l'étage foliaire attaqué et la pression d'inoculum de la cercosporiose noire sur les plants des différentes variétés de bananier.

6.4.3. Détermination des caractéristiques des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sur différentes variétés de bananier

6.4.3.1. Prélèvement de feuilles portant les symptômes de la cercosporiose

Pour la mesure des caractéristiques des conidies, un prélèvement de feuilles des plants des différentes variétés de bananier mises en culture a été effectué. Ces feuilles ont été prélevées aux stades 3 et 4 de développement des symptômes de la maladie. Elles ont été conservées dans des emballages plastiques, étiquetées et transportées au laboratoire dans une glacière pour les mesures du nombre et de la taille des conidies.

6.4.3.2. Mesure et comptage des conidies au laboratoire

Au laboratoire, des milieux de cultures ont été préparés à 2 % de gélose et coulés dans des boîtes de pétri. Par la suite, ces milieux ont servi pour isoler les conidies présentes sur les feuilles prélevées au niveau des lésions. La lecture a été faite avec un microscope optique de marque Leitz Laborlux K. Les morceaux de milieux de culture ont été posés directement sur la lame posée sur la platine du microscope.

- Des comptages ont été faits à l'aide d'un compteur mécanique de marque Ferrari-Statitest, Typ : 8 Nr. 84110281 et d'un microscope optique au grossissement $g \times 10$. Au total, 20 vues ont été réalisées pour chaque variété et ont permis de déterminer la densité de conidies sur les feuilles des plants de chaque variété de bananier.
- Des mesures de la taille des conidies ont été effectuées à l'aide d'un microscope optique au grossissement $G \times 40$ muni d'un micromètre-objet gradué de 0,01 mm en 0,01 mm placé sur la platine de l'appareil. La longueur des conidies sur une variété de bananier est obtenue en faisant la moyenne des longueurs de 50 conidies prélevées sur les feuilles de cette variété.

6.4.3.3. Détermination du comportement de *Mycosphaerella fijiensis* en fonction des variétés de bananier

Le test de sensibilité des conidies aux fongicides a été fait selon la méthode décrite par Van Den Berg Loidat en (1989) et modifié par Kobenan en 2006 (Cf : paragraphe 6.3.3). Cette méthode a consisté à préparer des solutions mères, qui ont servi à préparer des milieux de culture sur lesquelles les conidies ont étéensemencées et incubées. Par la suite, le comptage de conidies et la mesure des tubes germinatifs ont été effectués.

6.5. Analyse statistique des données

La longueur des tubes germinatifs des conidies (sans fongicide), le taux d'inhibition à 0,1 ppm de triazoles et de strobilurines, le taux de germinations aux benzimidazoles, la taille et le nombre de conidies ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur avec 5 % de significativité à l'aide du logiciel XLSTAT version 2014. Le test de Newman Keuls a été utilisé pour la séparation des moyennes. Une ACP a été réalisé pour corrélérer les paramètres de la maladie sur les variétés de bananiers. Le logiciel EXCEL a servi à tracer les graphiques.

Cet ensemble de matériel et des méthodes a permis d'obtenir des résultats qui seront présentés dans la partie suivante.

**TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET
DISCUSSION**

7. RÉSULTATS

7.1. Effet des facteurs environnementaux sur l'évolution de la maladie au champ et gestion des plantations industrielles

Durant trois années (2016, 2017 et 2018), des études ont été menées dans les bananeraies industrielles ivoiriennes pour connaître leurs niveaux d'entretien et l'effet des facteurs environnementaux sur l'évolution de la cercosporiose noire.

7.1.1. Mode de gestion et entretien des différentes plantations industrielles

Au cours des observations de 2016 à 2018 dans les plantations, il a été constaté que la gestion et l'entretien des bananeraies ont varié d'un groupe industriel à un autre. En effet, dans les plantations des groupes SAKJ et EGLIN, il y a eu une amélioration notable dans la gestion et la stratégie de lutte contre la maladie des raies noires. Ce qui s'est traduit par la présence effective d'équipes phytosanitaires chargées de suivre l'évolution de la maladie dans toutes leurs plantations (observation hebdomadaire des descripteurs phytopathologiques, numérisation des données, tracé de courbe de PJFA, PJFN et EE), drain bien curé (annexe 5a). Par contre, au niveau du groupe WANITA, des difficultés de gestion de la maladie et l'entretien des plantations, que ce soit à Dabou ou à Tiassalé, ont été relevées depuis 2017 (annexe 5b et 5c).

7.1.2. Impact des facteurs environnementaux sur l'évolution de la maladie dans les bananeraies industrielles Impact de la pluviométrie sur l'évolution de la maladie dans les plantations du groupe SAKJ

- **Zone d'Aboisso**
 - **Pluviométrie de la zone d'Aboisso**

La figure 26 montre les quantités de pluie tombées au cours des trois années d'étude dans la zone d'Aboisso. En 2018, il y a eu plus de pluie qu'en 2016. Entre les semaines 3 et 6, les pluies ont atteint 106,5 mm en 2018. Par contre, elles étaient de 25 mm en 2017 et 12 mm en 2016. Les semaines 25 (170,65mm) et 41 (159,75mm) ont été les plus pluvieuses de l'année 2018, alors qu'en 2016 les plus grandes quantités de pluies sont tombées au cours des semaines 25 (115 mm) et 30 (131,5 mm). De la semaine 11 à la semaine 22, il y a eu plus de pluies en 2017 contrairement aux autres années.

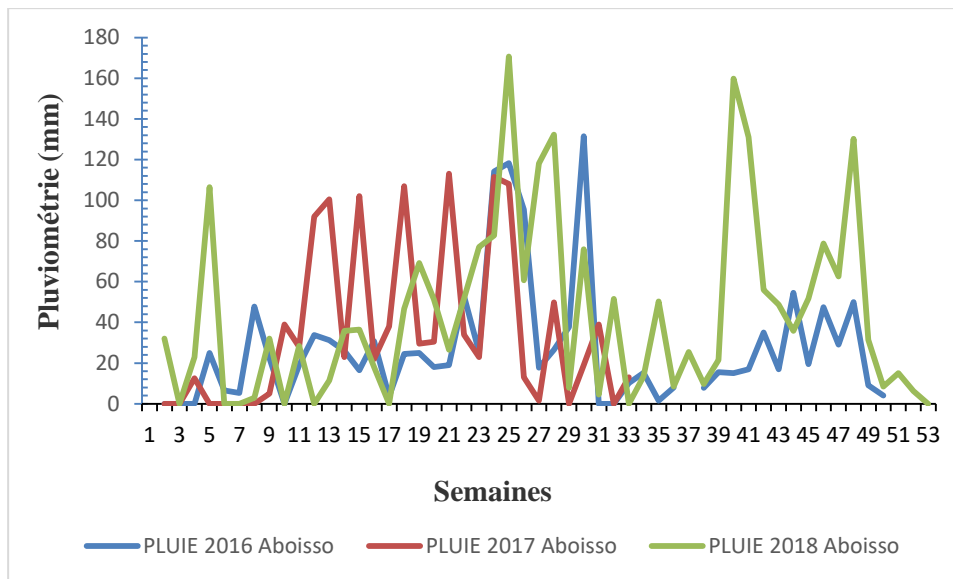


Figure 26 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d’Aboisso en 2016, 2017 et 2018

○ **Étage foliaire attaqué par la maladie dans la plantation d’ELIMA**

Concernant l’étage foliaire attaqué par la maladie, dans la plantation ELIMA, le rang de la plus jeune feuille atteinte (PJFA) a baissé entre 2016 et 2018 (Figure 27 A). En effet au fil des années, les symptômes apparaissent sur les feuilles plus jeunes. Il en est de même pour le rang de la plus jeune feuille nécrosée qui montre à quelle vitesse les symptômes se développent sur sur les feuilles.

Au cours de l’année 2016, la semaine 13 a enregistré la moyenne la plus élevée de PJFA (6,5) contrairement à la semaine 47 qui enregistre une moyenne de 4,1. En 2017, la plus forte moyenne a été de 5,1, enregistrée pour les semaines 9 et 17 et la plus faible moyenne (3,8) a été enregistrée à la semaine 26. Au cours de l’année 2018, la plus forte valeur de PJFA 4,2 a été atteinte à la semaine 5 et la plus faible 3,1 aux semaines 31 et 32. À partir de la semaine 39 de l’année 2018, la PJFA n’a pas beaucoup varié, elle est restée proche de 4 jusqu’en fin d’année.

Au niveau de la PJFN (Figure 27 B) en 2016, elle a atteint son meilleur niveau à la semaine 26, avec une moyenne 12,6 et son plus bas niveau les semaines 39, 40 et 41 avec une moyenne 9,4. Par contre, en 2017 le rang PJFN le plus élevé était de 10,8 pour la semaine 18 et le plus faible était de 6,9 à la semaine 28. En 2018, la PJFN a atteint sa plus forte moyenne (10,1) à la semaine 5 et sa plus faible moyenne (5,6) à la semaine 26. Pour les trois années, les PJFN ont été plus fortes entre la première semaine et la semaine 24 puis ils ont été faibles entre les semaines 25 et la fin de l’année.



Figure 27 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016, 2017 et 2018 dans la plantation ELIMA

A : PJFA (Rang de plus jeune feuille atteinte par la maladie) et B : PJFN (Rang de la plus jeune feuille nécrosée par la maladie)

o **État d'évolution de la maladie (EE) dans la plantation d'ELIMA**

Le niveau d'évolution de la maladie des raies noires mesuré par l'EE a été très faible en 2016 et en 2017 dans cette plantation. Par contre, il a été très élevé en 2018 (Figure 28). La maladie a été plus grave en 2018 que pour les deux autres années. En 2016, l'EE était compris entre 23 et 140 de la semaine 19 à la semaine 48. Notons qu'il était en dessous de

100 de la première à la semaine 38. C'est seulement entre les semaines 39 et 50 qu'il a dépassé 100. Pour l'année 2017, l'EE a évolué de 27 à 228 de la semaine 17 à la semaine 27. L'EE est passée de 152 à la semaine 3 à 64 à la semaine 4, par la suite il est resté en dessous de 100 jusqu'à la semaine 25. Entre les semaines 26 et 33, l'EE est passée 228 à 96. Relativement aux deux premières années, l'EE en 2018 a été très élevée. Au cours de cette année l'EE de la maladie a varié entre 128,2 et 854. De la première à la semaine 32, l'EE a augmenté pour atteindre sa plus forte moyenne (854). Ensuite, une baisse de l'EE a été constatée jusqu'à la semaine 53. Une augmentation de l'EE a été observée jusqu'à la semaine 55.

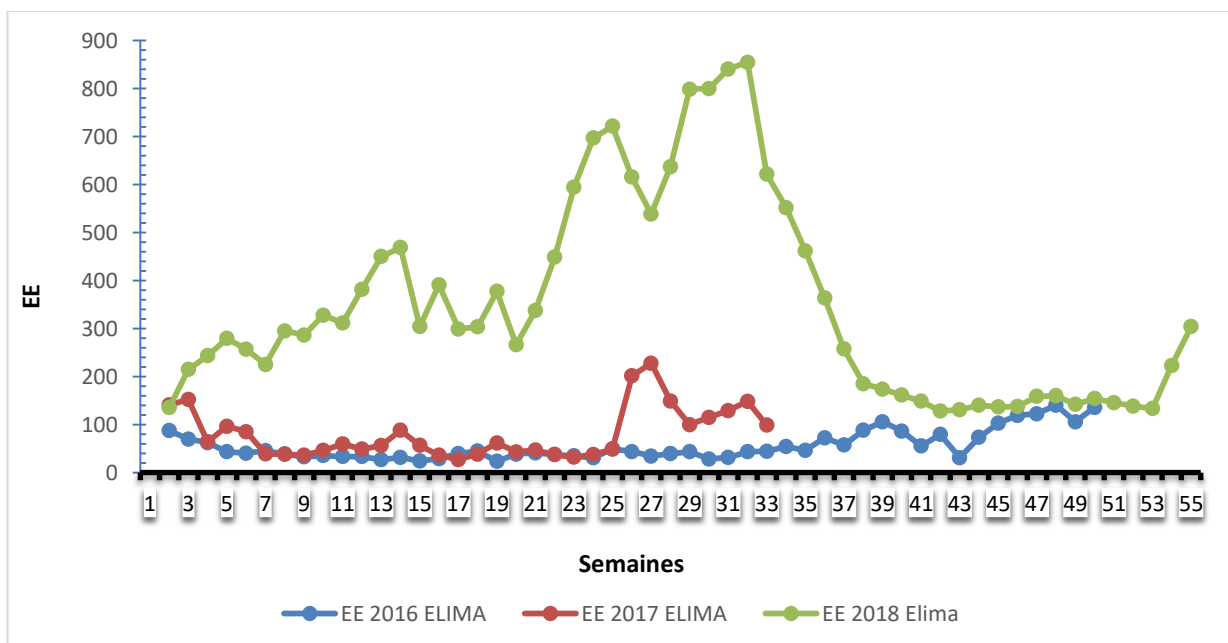


Figure 28 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation ELIMA en 2016, 2017 et 2018

- **Zone de Niekya (Attinguié)**
 - **Pluviométrie de la zone d'attinguié**

Les courbes pluviométriques, de 2016 à 2018, de la zone d'Attinguié, montrent que la pluviosité n'a pas beaucoup varié entre les trois années (Figure 29). De la première semaine à la semaine 23, il n'y a pas eu de fortes pluies sur les trois années. Les quantités de pluies sont en dessous de 100 mm/semaine. Par contre, entre les semaines 23 et 31, de fortes pluies sont tombées avec une moyenne 186 mm à la semaine 24 en 2017, 187 mm à la semaine 25 pour 2018 et 219 mm à la semaine 25 également pour l'année 2016. En 2016, de la semaine 31 à la semaine 49, les précipitations ont été très faibles. Les quantités de pluie les plus élevées ont été de 26 et 27 mm enregistrées respectivement aux semaines 34 et 47. Alors qu'en 2018, à

cette même période, les quantités de pluie ont été plus élevées, avec une moyenne maximale de 127 mm à la semaine 49.

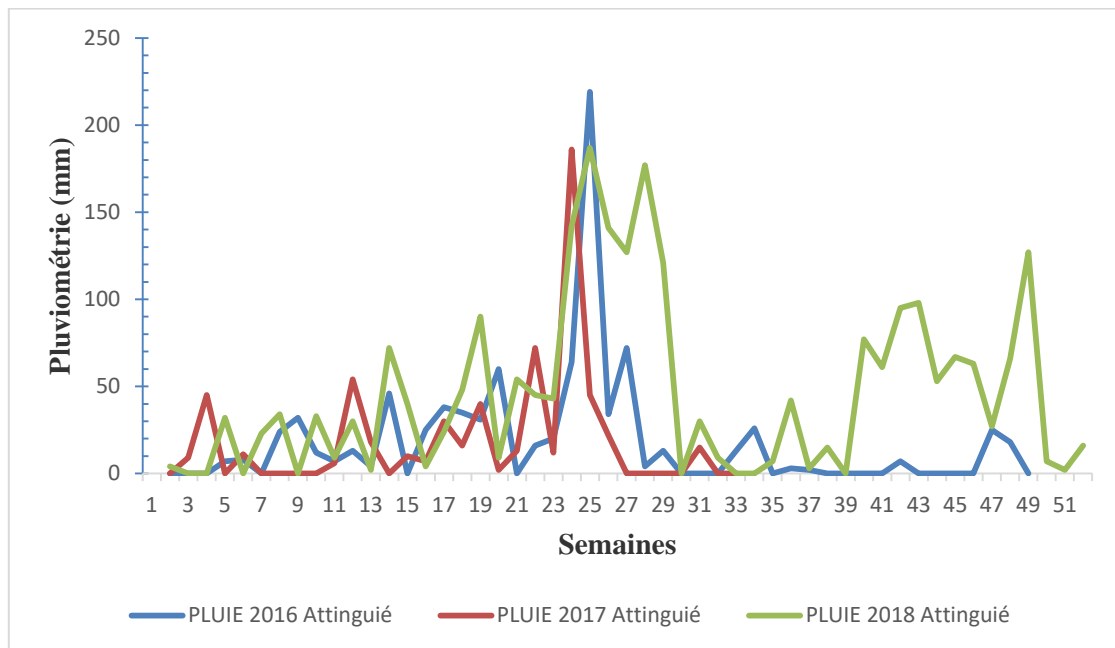


Figure 29 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d'Attingué en 2016, 2017 et 2018

○ **Étage foliaire attaqué par la maladie des raies noires dans la plantation Rouchard**

Au niveau de la plantation Rouchard, située dans la zone d'Attingué, l'évolution des courbes de PJFA des trois années sont similaires jusqu'à la semaine 7 (Figure 30 A). Le rang de la PJFA a été de 4,4. Par la suite, la PJFA de l'année 2016 n'a plus varié jusqu'à la semaine 11 et est restée autour de 4,7 alors qu'à cette même période une baisse de la PJFA est constatée pour l'année 2018. La moyenne la plus élevée de PJFA de cette plantation a été de 4,9 obtenue à la semaine 41 pour l'année 2018. En 2017, elle était de 4,8 à la 13^{ème} semaine et de 4,6 en 2016 obtenue à la semaine 26 (Figure 30 A).

Le rang de la PJFN le plus élevé (12) a été obtenu à la semaine 47, pour l'année 2018 et celui de 2016 a été de 10,3 obtenu à la semaine 15. En 2017, la plus forte PJFN a été obtenue à la semaine 11 (9,9) (Figure 30 B).

L'étage foliaire attaqué n'a pas beaucoup évolué dans la plantation Rouchard de 2016 à 2018.

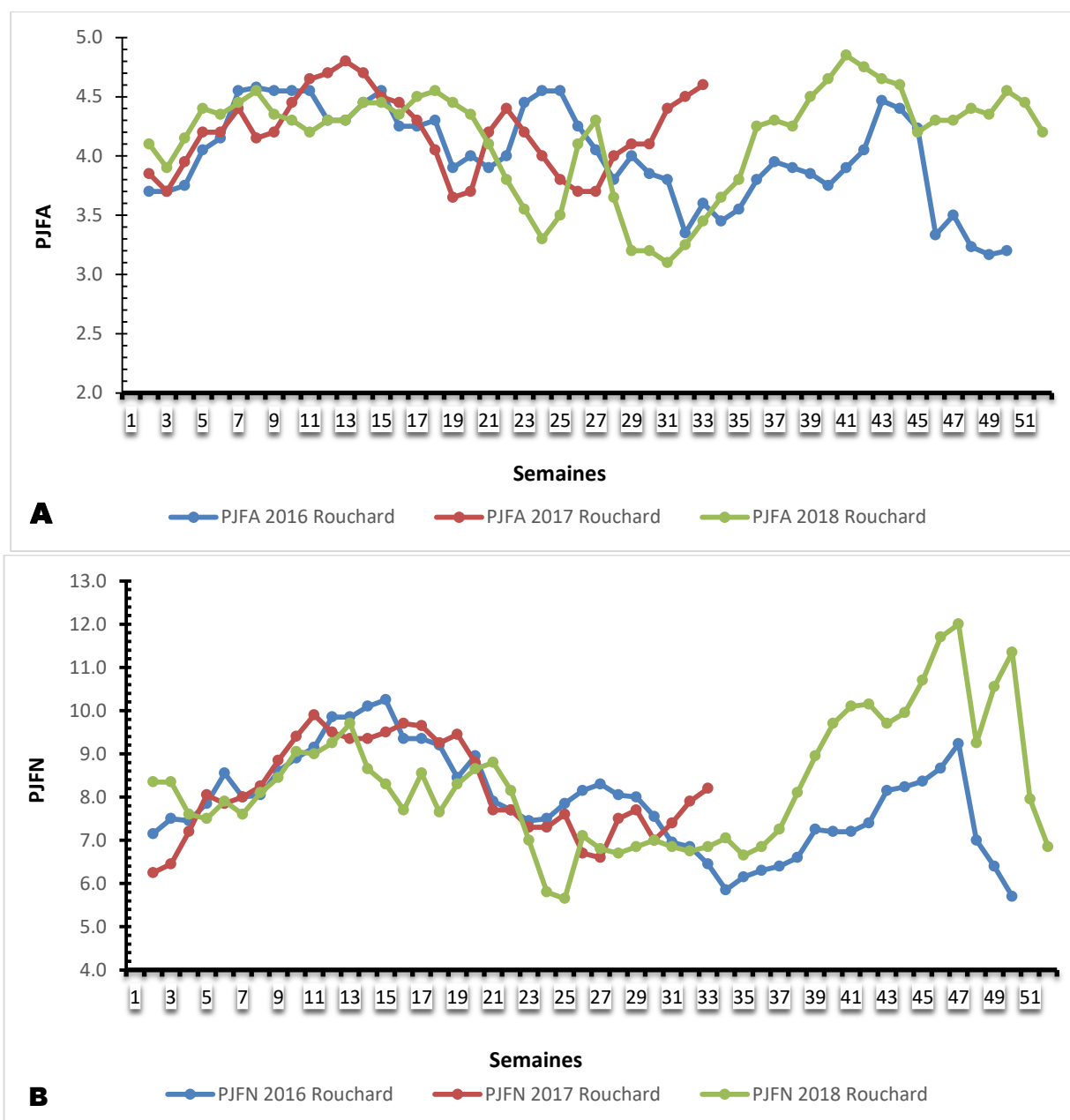


Figure 30 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016, 2017 et 2018 dans la plantation Rouchard

A : PJFA (Rang de plus jeune feuille attaquée par la maladie) et B : PJFN (Rang de la plus jeune feuille nécrosée par la maladie)

○ **État d'évolution de la maladie (EE) des raies noires dans la plantation Rouchard**

Dans la plantation Rouchard, l'EE en 2016 était plus élevée, comparé à celui des deux autres années (Figure 31). Les valeurs les plus élevées de l'EE en 2016 ont été obtenues à la semaine 2 (745) et à la semaine 32 (778). Au cours des années 2017 et 2018, les moyennes les plus élevées ont été respectivement de 459 et 360. Ces valeurs ont été observées respectivement aux semaines 27 et 32. En 2018, l'EE a été plus faible que les deux années

précédentes, il a évolué entre 20 et 360. Il a baissé passant de 180 à la semaine 3 à 27 la semaine 18. Puis aucune variation notable n'a été observée jusqu'à la semaine 21. À partir de cette semaine les valeurs de l'EE ont commencé à augmenter pour atteindre 331 à la semaine 24. De la semaine 33 à la semaine 43 on observe une diminution progressive de l'EE où il a atteint son plus bas niveau qui est 20. Le niveau de la maladie des raies noires a baissé entre 2016 et 2018 dans la plantation Rouchard.

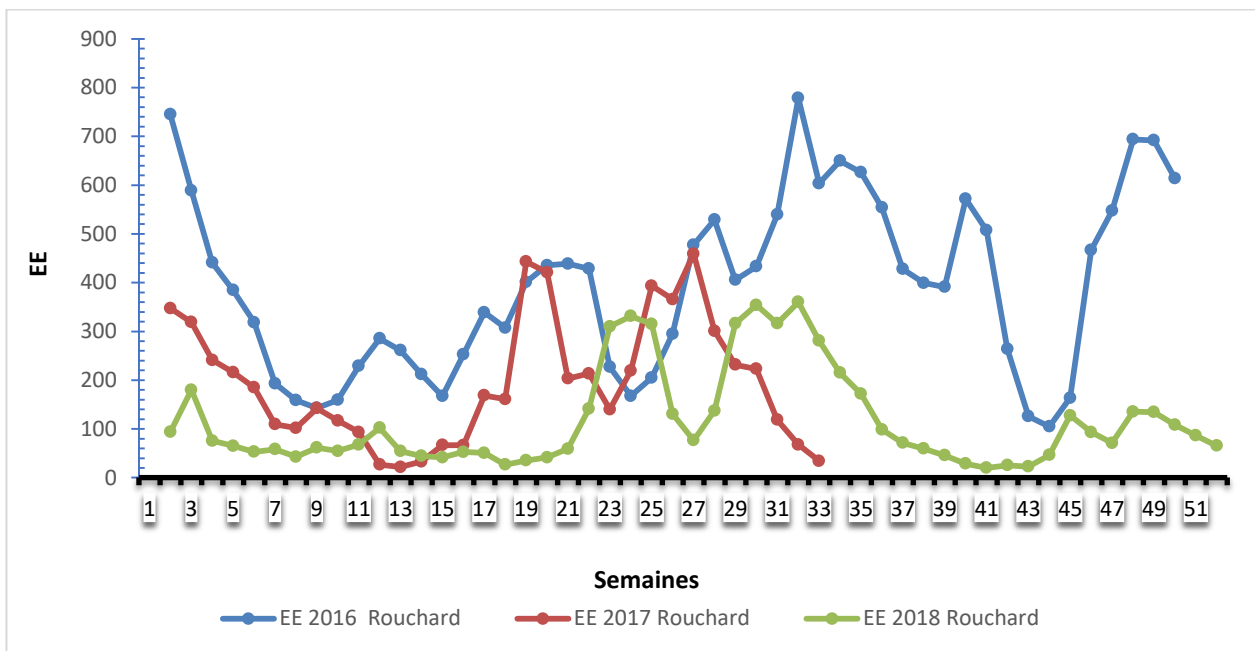


Figure 31 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation Rouchard en 2016, 2017 et 2018

7.1.2.2. Impact de la pluviométrie sur l'évolution de la maladie dans les plantations du groupe EGLIN

- **Zone d'Agboville**
 - **Pluviométrie de la zone d'Agboville**

Au niveau de cette zone, les données pluviométriques de l'année 2017 n'ont pas été enregistrées, celles de 2016 ne sont pas complètes. En 2016, les pluies ont débuté dans la zone d'Agboville dans la quatrième semaine. Entre la semaine 11 et la semaine 23, il est tombé une quantité de pluie moyenne. On a 92 mm la semaine 12, 106 mm la semaine 16, 100 mm la semaine 20 puis 106 mm la semaine 22. En 2018, par contre les pluies se sont étendues sur toute l'année. Les précipitations ont été faibles seulement entre les semaines 30 et 36. La semaine où il y a eu plus de pluie a été la semaine 45, avec une moyenne de 158 mm de pluie (Figure 32).

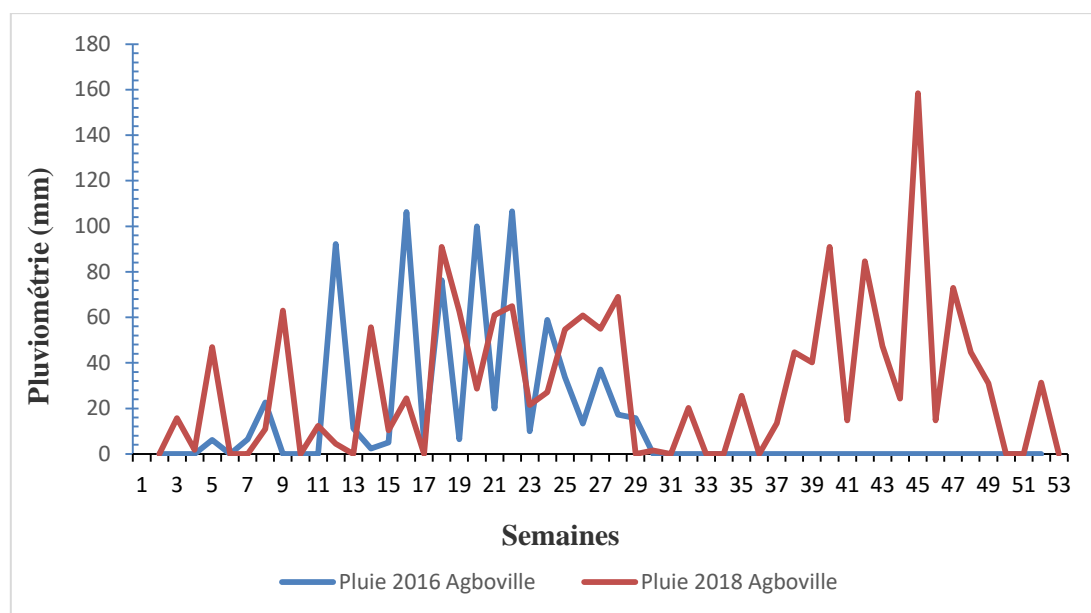


Figure 32 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d'Agboville en 2016 et 2018

○ **Étage foliaire attaqué par la maladie des raies noires dans la plantation EGLIN d'Agboville**

Dans la plantation EGLIN d'Agboville, les rangs de PJFA et PJFN n'ont pas évolué généralement de 2016 à 2018 (Figure 33 A et B). Pour la PJFA et la PJFN les courbes des années 2016 et 2018 se chevauchent. Au niveau de la PJFA, pour les deux années il y a une augmentation entre la première et la semaine 23. Durant cette période les moyennes les plus élevées de PJFA ont été atteintes. Il s'agit de 5,4 la semaine 19, pour 2016 et 4,6 les semaines 21 et 23, pour 2018. Puis elle diminue après la semaine 23 où il y a eu les plus faibles valeurs pour les deux années. Ces valeurs sont de 2,7 les semaines 48 et 49 pour 2016 et de 2,8 les semaines 43, 47 et 51 pour 2018.

La PJFN (Figure 33 B), quant à elle, a augmenté en début d'année jusqu'à la semaine 19 pour 2016, avec 10,8 son meilleur niveau et la semaine 25, avec la même valeur pour 2018. La PJFN a commencé à baisser au milieu de l'année. La plus faible moyenne (6,2) a été observée à la semaine 49 en 2016 et à la semaine 50 (6,5) en 2018.

L'étage foliaire attaqué par la cercosporiose noire n'a pas beaucoup évolué entre les années 2016 et 2018.



Figure 33: Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016 et 2018 dans la plantation EGLIN d'Agboville

A : PJFA (Rang de plus jeune feuille atteinte par la maladie), B : PJFN (Rang de la plus jeune feuille nécrosée par la maladie)

Ag : Agboville

○ **État d'évolution de la maladie (EE) dans la plantation EGLIN d'Agboville**

Dans cette plantation d'EGLIN, les courbes d'EE de la maladie des raies noires des années 2016 et 2018 ont présenté la même allure (Figure 34). Elles présentent principalement deux phases ; une phase descendante en début d'année et une phase ascendante en fin d'année. En effet en 2016, entre la première semaine et la semaine 15, l'EE a baissé, passant de 1109 à 227 son plus bas niveau. Entre les semaines 15 et 48 l'EE a augmenté. Il est passé de 227 à la semaine 15 à 1494, son plus haut niveau la semaine 48. En 2018, l'EE a baissé

entre les semaines 6 et 20 où il a atteint son plus bas niveau qui est 91. Par la suite, il a augmenté jusqu'à la semaine 50 où il a atteint son niveau la plus élevé qui est 1602. L'évolution de la maladie des raies noires a été la même les années 2016 et 2018.

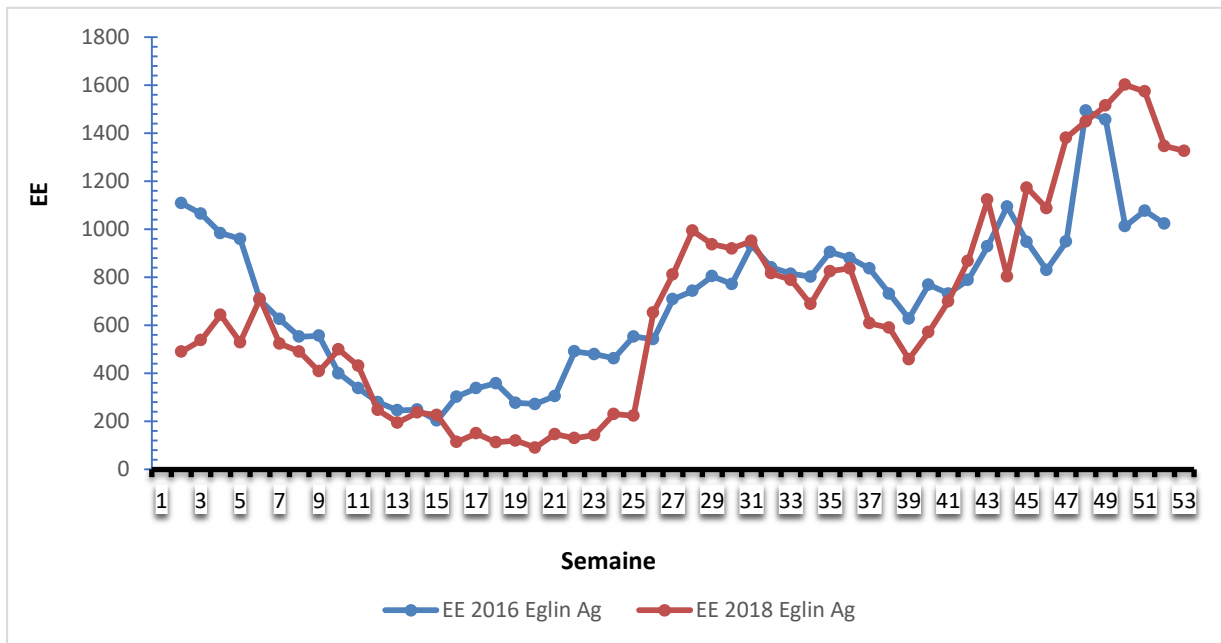


Figure 34: Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation Eglin à Agboville en 2016 et 2018

- **Zone d'Azguié**
 - **Pluviométrie de la zone d'Azaguié**

Dans la zone d'Azaguié, les courbes pluviométriques ont à peu près la même allure. En effet, les précipitations ont augmenté progressivement en début d'années jusqu'à la semaine 28 pour les trois années. Cependant, en 2016 les précipitations ont été plus fortes atteignant environ 250 mm à la semaine 25. Alors qu'elles étaient d'environ 160 et 150 mm respectivement pour les années 2018 à la semaine 23 et 2017 à la semaine 25. Les précipitations ont diminué seulement entre les semaines 27 et 37 pour les trois années (Figure 35).

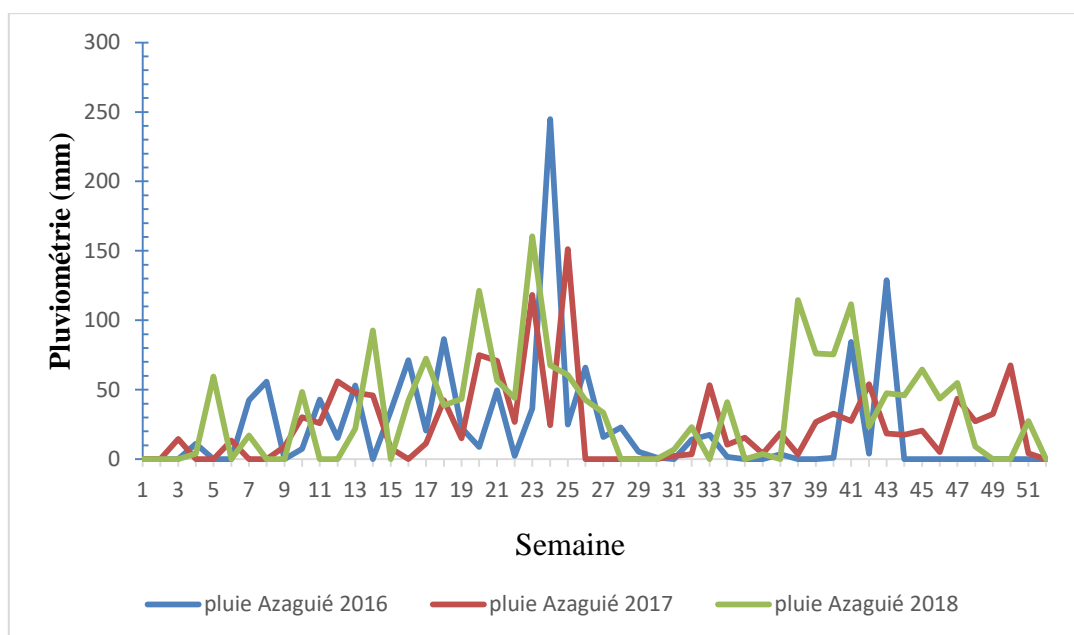


Figure 35 : Pluviométrie hebdomadaire de la zone d’Azaguié en 2016, 2017 et 2018

○ **Étage foliaire attaqué par la maladie des raies noires dans la plantation EGLIN d’Azaguié**

A Azaguié, dans la plantation EGLIN (Figure 36 A), le rang de PJFA a été plus élevé en 2016 qu’en 2018 dans l’ensemble. En 2016, la PJFA a évolué de façon ascendante entre les semaines 3 (3,3) et 15 (4,7). Entre les semaines 15 et 23 la PJFA a baissé pour atteindre son plus bas niveau (3,1) puis a augmenté entre les semaines 23 et 4. Pour 2018 la PJFA était comprise entre 2,9 et 4,1 de la première à la semaine 23. Par contre, elle était comprise entre 2,4 et 3,2 de la semaine 23 à la semaine 53. Les attaques foliaires de la cercosporiose noires ont porté sur les feuilles plus en 2018 par rapport à 2016

Concernant la PJFN, entre la première et la semaine 22, la PJFN de 2016 était comprise entre 6,6 et 8,3, alors que celle de 2018 était comprise entre 7,1 et 9,1. Ensuite, entre la semaine 25 et la semaine 36, la PJFN de 2016 était comprise entre 6,3 et 7,7 tandis que la PJFN de 2018 était entre 4,4 et 7. Enfin, de la semaine 36 à la fin de l’année, le rang de la feuille nécrosée de 2016 était compris entre 6,3 et 8,6 et celui de 2018 entre 5,2 et 8,1 (Figure 36 B). Entre la semaine 25 et la semaine 35, les symptômes de la cercosporiose noire se sont développés sur les feuilles plus jeunes en 2018 par rapport à 2016.

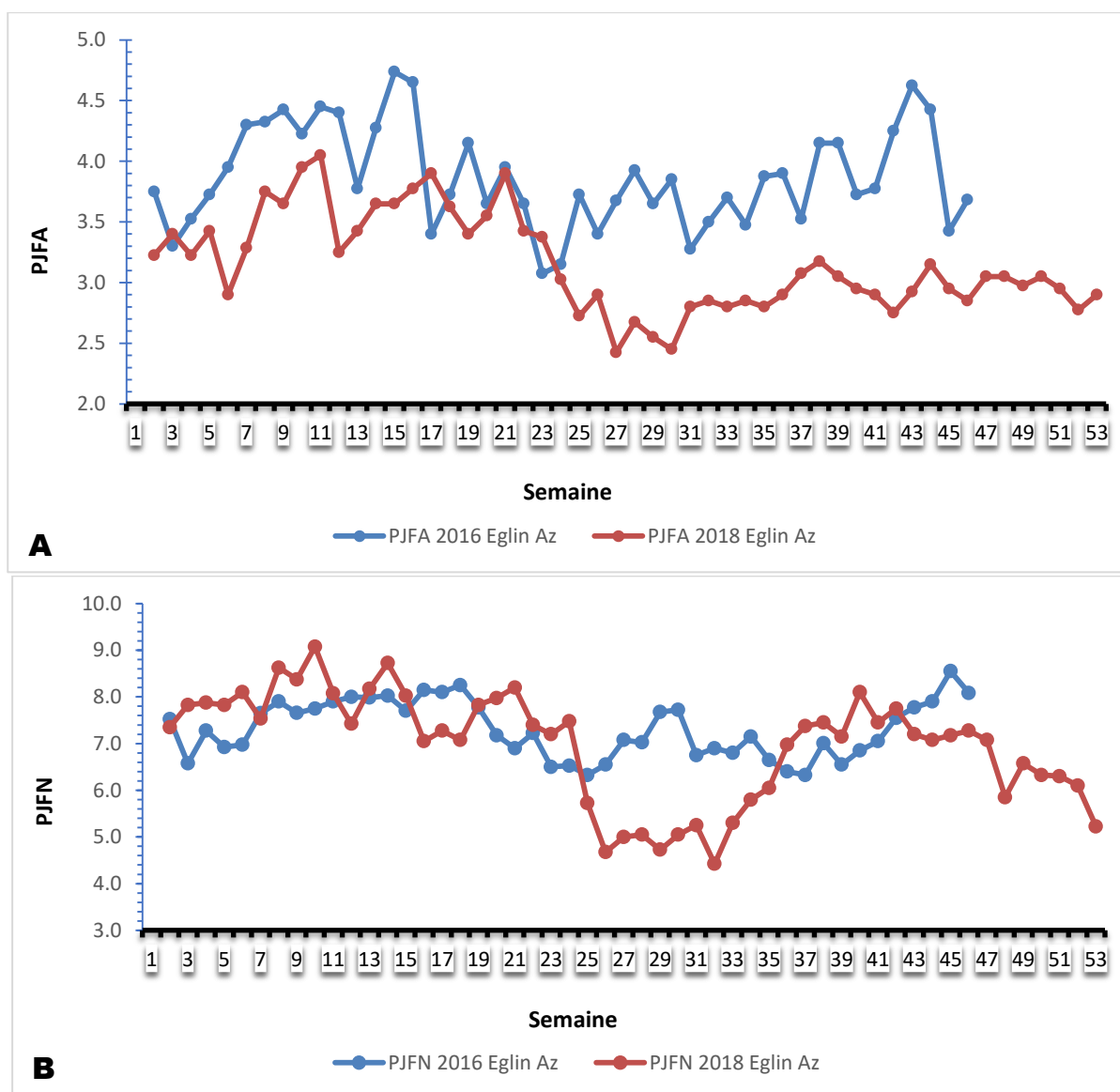


Figure 36 : Evolution hebdomadaire de l'étage foliaire de bananier attaqué par la maladie des raies noires en 2016 et 2018 dans la plantation Eglin à Azaguié

A : PJFA (Rang de plus jeune feuille atteinte par la maladie) et B : PJFN (Rang de la plus jeune feuille nécrosée par la maladie)

Az : Azaguié

o **État d'évolution de la maladie (EE) des raies noires dans la plantation EGLIN d'Azaguié**

Au niveau d'Azaguié, l'EE a beaucoup varié au cours des années 2016 et 2018. La vitesse d'évolution de la maladie en 2018 a été plus forte que celle de 2016 (Figure 37). En 2016, de la semaine 5 à la semaine 11, l'EE a diminué progressivement. Il est passé de 566 à 267. La valeur la plus élevée (1766) a été obtenue à la semaine 23 et la plus faible (171) à la semaine 43. Au cours de l'année 2018, la valeur la plus élevée était de 2312 à la semaine 29 et

la plus faible 452 à la semaine 17. Une diminution progressive a été observée de la semaine 33 à 39.

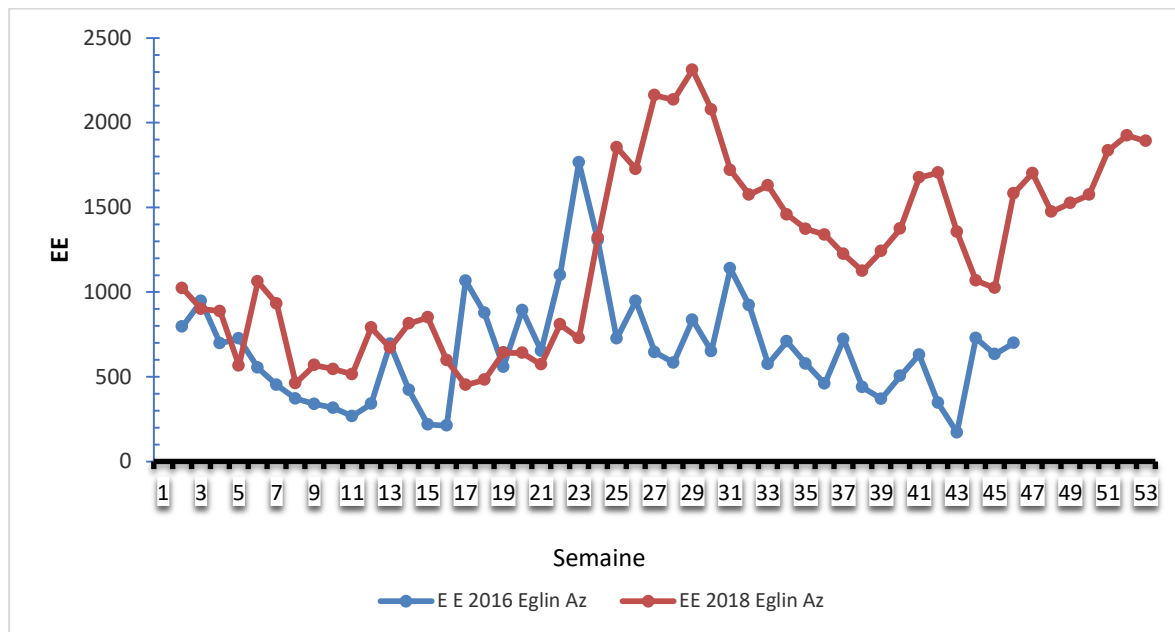


Figure 37 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation Eglin à Azaguié en 2016 et 2018

Az : Azaguié

7.1.2.3. Impact de la pluviométrie sur l'évolution de la maladie dans les plantations du groupe WANITA

Le groupe WANITA n'a pas fourni de données pluviométriques.

▪ Zone de Dabou

○ Étage foliaire attaqué par la maladie des raies noires dans la plantation WANITA de Dabou

Dans la plantation WANITA de Dabou, il n'y a pas eu de distinction véritable au niveau des rangs des PJFA en 2016 et en 2017 de la première à la semaine 15 (figure 38 A). Ils ont varié entre 3,4 et 4. À partir de la semaine 15 les rangs des PJFA ont baissé pour les deux années. Par contre, pour 2016, après la semaine 24, la PJFA qui était de 3,2 est remontée à 3,7 la semaine 28. La PJFA la plus élevée en 2016 était de 3,9 aux semaines 7 et 16 tandis que la plus faible était de 3,2 à la semaine 24. Par contre en 2017, la plus forte moyenne de PJFA a été de 3,8 à la semaine 12 puis la plus petite valeur était de 3 à la semaine 12.

En ce qui concerne le rang de PJFN en général, il a été plus élevé en 2016 qu'en 2017 (Figure 38 B). En effet en 2016, la PJFN était de 8,5 la première semaine. Et elle a augmenté progressivement jusqu'à la semaine 15 où elle a atteint 10,5 son niveau le plus élevé. La PJFN a diminué après cette semaine jusqu'à la semaine 25 où elle a eu son plus bas niveau (7,4). En

2017, la PJFN a augmenté lentement entre la première semaine et la semaine 16, passant de 7,7 à 9,2. Après la semaine 16, la PJFN a baissé pour atteindre son plus bas niveau à la semaine 24 (6,2). Généralement, la cercosporiose noire s’est attaquée et s’est développée sur les feuilles plus jeunes de cette plantation en 2017 par rapport à 2016.

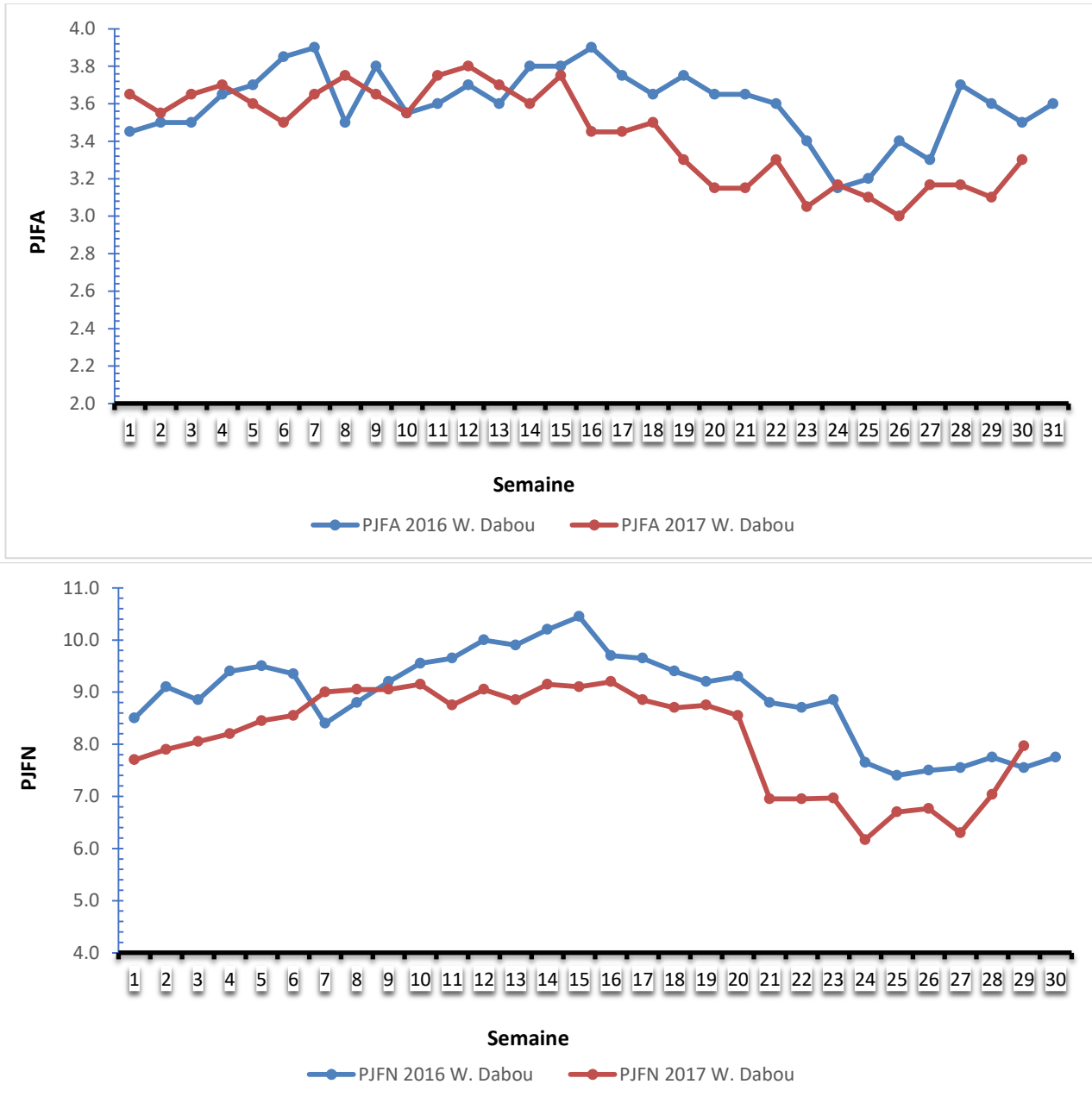


Figure 38 : Evolution hebdomadaire de l’étage foliaire attaqué par la maladie des raies noires en 2016 et 2017 dans la plantation WANITA à Dabou

A : PJFA (Rang de plus jeune feuille attaquée par la maladie), B : PJFN (Rang de la plus jeune feuille nécrosé par la maladie)

○ **État d'évolution de la maladie (EE) des raies noires dans la plantation WANITA de Dabou**

Dans la plantation WANITA de Dabou, l'EE n'a pas beaucoup varié au cours des années 2016 et 2017. En 2016, l'EE a été à son niveau le plus élevé (3787) à la première semaine (Figure 39). Par contre, il a baissé brutalement pour atteindre 339 la semaine 4. Entre les semaines 3 et 30, l'EE a varié entre 231 et 734. En 2017 de la première à la semaine 23, l'EE n'a pas beaucoup varié. Les valeurs ont oscillé entre 265 et 705. Puis, entre les semaines 23 et 30, il a varié entre 662 et 2706 qui a été son niveau le plus élevé (Figure 39). Par la suite, on observe une diminution jusqu'à la semaine 30 avec une moyenne de 662. En effet, l'intensité de la cercosporiose noire a été plus forte de la semaine 1 à la semaine 4 en 2016 par rapport à 2017. Par contre, entre la semaine 16 et la semaine 30, elle a été plus forte en 2017 par rapport à 2016.

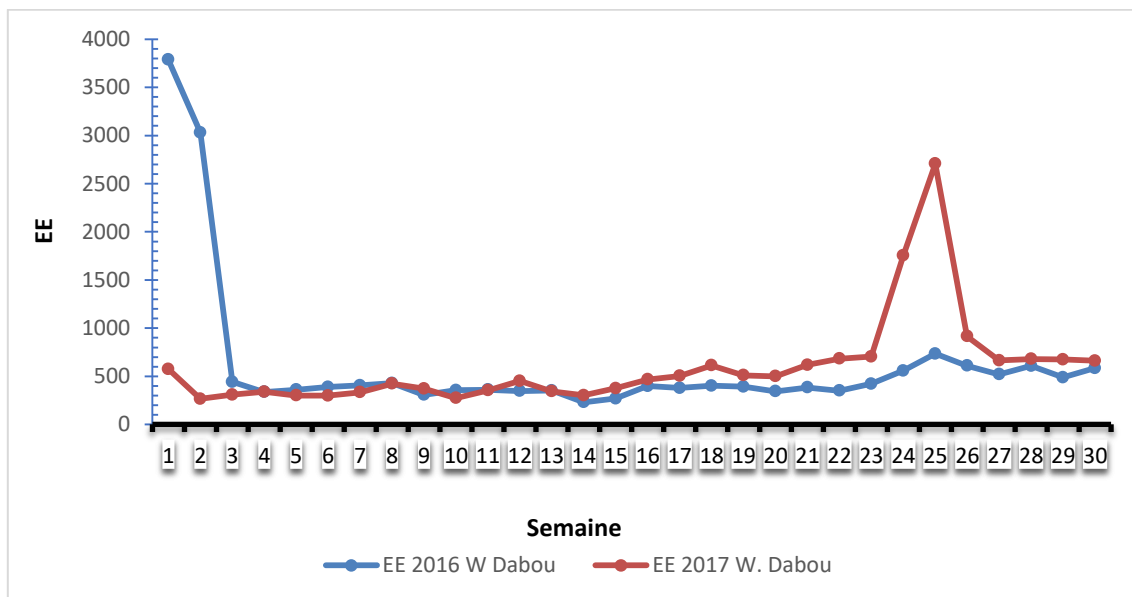


Figure 39 : Moyenne hebdomadaire de l'état d'évolution (EE) de la maladie dans la plantation WANITA à Dabou en 2016 et 2017

7.2. Méthodes et régimes d'utilisation de fongicides

➤ **Zone d'Aboisso**

Au niveau d'ELIMA à Aboisso, sur les trois années (de 2016 à 2018), le fongicide de contact Dithane (mancozèbe) a été le plus utilisé (tableau XV). En 2016, douze molécules fongicides et l'huile Banole ont été utilisées. Cependant, la matière active mancozèbe a été utilisée 17 fois sur les 37 traitements réalisés au cours de l'année soit 46 %. Il a été utilisé 5 fois consécutivement de la première à la semaine 6. Il a été associé à des fongicides systémiques lors des traitements deux fois (semaine 1 et 5). En 2017, de la première à la

semaine 32, il y a eu 23 traitements antifongiques dont 14 fois soit 61 % avec le Dithane (mancozèb). Au total 8 molécules ont été utilisées. En ce qui concerne les fongicides systemiques, en 2016 et 2017, ils n'ont pas été utilisés plus de deux fois consécutivement. Au cours de l'année 2018, dix molécules fongicides ont été utilisées, le taux d'utilisation du Dithane a été 51,4 %. Cette même année le Peltis (méthyl-thiophanate), un fongicide systémique, à action unisite, a été utilisé 5 fois successivement entre la semaine 47 et la semaine 52. Le taux d'utilisation de cette molécule est de 17 %.

Tableau XV : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations ELIMA de 2016 à 2018

2016		2017		2018	
Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide
S 1	Dithane+Difécor+Banole	S 1	Volley 88 OL	S 2	Dithane 60 OS
S 3	Dithane	S 3	Dithane 60 OS	S 3	Dithane 60 OS
S 4	Dithane	S 4	Dithane 60 OS	S 5	Dithane 60 OS
S 5	Dithane+Pyrus+Fairland+Banole	S 6	Dithane 60 OS	S 7	Callis
S 6	Dithane	S 7	Difecor	S 9	Dithane 60 OS
S 7	Baléar	S 10	Dithane 60 OS	S 10	Polyram
S 8	Baléar	S 11	Dithane 60 OS	S 11	Peltis
S 9	Dithane	S 12	Peltis	S 12	Dithane
S 10	Dithane	S 14	Volley	S 14	Dithane
S 12	Volley+Banole	S 16	Peltis	S 16	Opal
S 16	Dithane	S 18	Peltis	S 18	Pyrus
S 17	Dithane	S 20	Bankit	S 21	Dithane 60 OS
S 18	Dithane	S 22	Dithane 60 OS	S 22	Comet +
S 19	Opal+Banole	S 23	Dithane 60 OS	S 25	Psycho
S 20	Dithane	S 24	Dithane 60 OS	S 27	Syllit
S 22	Baléar	S 25	Opal	S 29	Callis
S 23	Baléar	S 26	Dithane	S 31	Dithane 60 OS
S 24	Dithane	S 27	Dithane	S 32	Dithane 60 OS
S 25	Difecor	S 28	Dithane	S 33	Dithane 60 OS
S 26	Dithane	S 29	Psycho	S 34	Polyram
S 27	Dithane F 448	S 30	Dithane	S 35	Dithane 60 OS
S 28	Dithane F 448	S 31	Dithane	S 36	Dithane 60 OS
S 29	Volley 88 OL	S 32	Dithane	S 37	Dithane 60 OS
S 30	Dithane F 448			S 38	Dithane 60 OS
S 31	Dithane F 448			S 40	Dithane 60 OS
S 32	Callis + Banole			S 41	Dithane 60 OS
S 33	Banguard 42 SC			S 42	Polyram
S 35	Opal 7.5 EC			S 44	Polyram
S 37	Baléar 720 SC			S 45	Dithane 60 OS
S 38	Bangard			S 46	Dithane 60 OS
S 39	Difecor			S 47	Peltis
S 41	Sillit			S 48	Peltis
S 43	Bangard			S 50	Peltis
S 44	Difecor			S 51	Peltis
S 45	Bangard			S 52	Peltis
S 46	Volley 88 OL				
S 47	Difecor				

➤ **Zone du Nieké (Attinguié)**

Dans les plantations Rouchard, à Attinguié il y a eu 40 traitement en 2016 avec 9 molécules (Tableau XVI). Le fongicide Dithane (mancozèbe) a été utilisé 21 fois sur les 40

traitements effectués en 2016, soit 52,5 %. Dans la majorité des cas il est utilisé plusieurs semaines de façon consécutive (cinq fois successivement de la semaine 1 à la semaine 7 et cinq fois également entre les semaines 20 et 24). En 2017, il y a eu 24 traitements avec 8 molécules différentes. Le mancozèbe a été utilisé à 5 semaines consécutives (semaines 2 et 6) et 3 fois consécutives (semaines 22 à 24 et semaines 26 à 28). Le Peltis dont la matière active est le méthyl-thiophanate et qui fait partie de la famille des benzimidazole a été utilisé une fois la semaine 12 puis deux fois successivement les semaines 15 et 18. En 2018, 36 traitements ont été réalisés avec seulement 5 molécules. Le Peltis a été utilisé plusieurs semaines consécutives (semaines 3 à 13, semaines 18 à 26, semaines 29 à 35 et semaines 37 à 49), il a été utilisé à 32 reprises sur les 36 traitements, soit 88,88 %. Il a été en association avec le volley la semaine 45 et avec comet la semaine 46. Par contre, il y a eu une seule utilisation de fongicides de contact dans la deuxième semaine.

Tableau XVI : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations Rouchard de 2016 à 2018

2016		2017		2018	
Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicides
1	Dithane	2	Dithane 60 Os	2	Dithane
3	Dithane	3	Dithane 60 Os	3	Peltis
4	Dithane	4	Dithane 60 Os	4	Peltis
5	Dithane	5	Dithane 60 Os	6	Peltis
7	Dithane	6	Dithane 60 Os	7	Peltis
8	Balear	7	Psycho	8	Peltis
9	Balear	10	Dithane 60 Os	9	Peltis
10	Pyrus+Ferland	11	Dithane	11	Peltis
11	Dithane	12	Peltis	12	Peltis
13	Volley	14	Volley	13	Peltis
16	Dithane	16	Peltis	15	Psycho+Volley
17	Dithane	18	Peltis	18	Peltis
18	Dithane	20	Bankit	20	Peltis
19	Opal	22	Dithane 60 Os	21	Peltis
20	Dithane	23	Dithane 60 Os	22	Peltis
21	Dithane	24	Dithane 60 Os	24	Peltis
22	Dithane	25	Opal	25	Peltis
23	Dithane	26	Dithane	26	Peltis
24	Dithane	27	Dithane	28	Psycho+Volley
25	Difecor	28	Dithane	29	Peltis
26	Dithane	29	Difecor	30	Peltis
27	Dithane	30	Dithane	31	Peltis
28	Syllit	31	Dithane	32	Peltis
30	Banguard	32	Dithane	33	Peltis
31	Banguard			35	Psycho+Vol
32	Opal			37	Peltis
33	Banguard			38	Peltis
34	Dithane 448			39	Peltis
35	Banguard			40	Peltis
36	Dithane 448			42	Peltis
37	Banguard			43	Peltis
38	Dithane 448			44	Peltis
39	Banguard			45	Peltis +Vol
40	Opal/Volley			46	Peltis +Comet
42	Dithane 448			48	Peltis
43	Banguard			49	Peltis
44	Dithane 448				
45	Banguard				
46	Syllit				
47	Banguard				

➤ **Zone de Dabou**

Pour les plantations WANITA Dabou (Tableau XVII), très peu de données ont pu être enregistrées à cause des difficultés que rencontre le groupe. Il ressort de ces données qu'au cours de l'année 2016, il y a eu 27 traitements au cours desquels 13 molécules ont été utilisées. Le fongicide Ivoiry (matière active mancozèbe) a été utilisé à deux reprises la deuxième et la

troisième semaine. Par la suite le fongicide Balear (matière active chlorothalonil) a été utilisé trois fois successivement au cours des semaines 4, 5 et 6. Quant au Dithane, il a été utilisé 7 fois dont 2 fois les semaines 10 et 11 et trois fois les semaines 13, 14 et 15, sur les 27 traitements, soit un taux d'utilisation de 25 %. Il faut noter que les fongicides Ivoirly et Dithane ont la même matière active (mancozèb). En 2017, l'huile Banole a été utilisée 5 fois consécutivement.

Tableau XVII : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations WANITA en 2016 et 2017

2016		2017	
Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide
2	Ivoirly	3	Banole
3	Ivoirly	5	Banole
4	Balear	7	Banole
5	Balear	11	Banole
6	Balear	13	Banole
7	Dithane		
8	Volley		
10	Dithane		
11	Dithane		
12	Ecran		
13	Dithane		
14	Dithane		
15	Dithane		
17	Difecor		
19	Impulse		
21	Syllit		
22	Comet Plus		
23	Dithane		
24	Psycho		
25	Ecran		
28	Volley		
31	Ecran		
34	Impulse		
37	Comet-Plus		
41	Folicur		
45	Opal		
49	Ecran		

➤ **Zone d'Agboville**

Dans les plantations EGLIN d'Agboville (Tableau XVIII), deux fongicides ont été régulièrement utilisés pour la lutte contre les cercosporioses des bananiers. Il s'agit de Dithane et Balear des fongicides de contact (multisites). En 2016, dans cette plantation, 27 traitements ont été effectués avec 10 molécules différentes. Entre les semaines 3 et 15, les deux fongicides dithane et balear ont été utilisés de façon alternée. En 2017, il y a eu 28 traitement et 9 molécules différentes ont été utilisées. Entre la première semaine et la semaine 17 les fongicides de contact balear et dithane ont été utilisés à l'exception des semaines 9 et

13 où c'est le fongicide systémique Banguard qui a été utilisé. Dans l'année 2018 30 traitements ont été réalisés avec seulement 7 molécules différentes. Le dithane a été utilisé à 12 reprises avec un taux de 40 %. Il faut noter que le nombre d'applications annuelles a régulièrement augmenté, passant de 27 à 28, puis 30 respectivement en 2016, 2017 et 2018 (tableau XVIII). Outre les fongicides de contact, il y a eu une alternance de fongicide systémiques dans cette plantation.

Tableau XVIII : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations EGLIN Agboville de 2016 à 2018

2016		2017		2018	
Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide
1	Opal	1	Balear	2	Dithane 60 Os
3	Dithane	2	Balear	3	Dithane 60 Os
4	Balear	3	Balear	4	Banguard
5	Dithane	4	Balear	5	Dithane 60 Os
6	Balear	5	Dithane	6	Dithane 60 Os
7	Dithane	6	Dithane	7	Dithane 60 Os
8	Balear	7	Dithane	8	Banguard
9	Dithane	8	Dithane	9	Dithane 60 Os
10	Balear	9	Banguard	10	Dithane 60 Os
11	Dithane	10	Balear	11	Polyram
12	Ballear	11	Balear	12	Dithane
13	Balear	12	Balear	13	Dithane
14	Dihtane	13	Banguard	14	Polyram
15	Dihtane	14	Balear	15	Dithane
16	Volley	15	Dithane	16	Dithane
20	Difecor	16	Dithane	17	Polyram
23	Comet-Plus	17	Dithane	18	Dithane
25	Junior 250 Ew	19	Opal	19	Psycho 250 Ec
28	Psycho 250 Ec	22	Comet Plus	22	Volley
30	Callis	29	Callis	25	Impulse
33	Impulse	33	Volley	28	Psycho 250 Ec
36	Difecor	35	Volley	31	Volley
39	Impulse	37	Comet Plus	33	Pyrus
42	Opal	40	Volley	35	Psycho 250 Ec
46	Comet Plus	42	Opal	38	Volley
49	Difecor	45	Volley	41	Volley+Psycho
52	Opal	48	Pyrus	43	Pyrus
		51	Volley+Diffrcor	46	Volley+Psycho
				48	Volley
				51	Polyram

➤ **Zone d'Azaguié**

Au niveau des plantations EGLIN d'Azaguié (Tableaux XIX), c'est le même constat qu'à Agboville. En effet, le Groupe EGLIN est propriétaire des plantations d'Agboville, d'Azaguié et de Motobé (Bassam), ainsi leurs méthodes de traitement sont quasi identiques.

Presque les mêmes fongicides sont utilisés et aux mêmes périodes. À Azaguié en 2016 il y a eu 27 traitements avec 14 molécules différentes. Les semaines 22, 25 et 27, trois triazoles ont été utilisés successivement pour les traitements contre la cercosporiose noire. Le taux d'utilisation des fongicides de contact a été de 40 %. Pour l'année 2018 les 27 traitements ont été faits avec 9 molécules dont 48 % avec des fongicides de contact. Concernant l'année 2018, le nombre de traitement a été de 35 et les molécules utilisées sont au nombre de 9. Le taux d'utilisation du dithane a été de 57 % au cours de cette année. Dans l'ensemble, au niveau des fongicides systémiques, il y a eu une alternance. Le nombre de traitement est passé de 27 en 2016 et 2017 à 35 en 2018.

Tableau XIX : Succession des fongicides utilisés dans la lutte contre la cercosporiose noire dans les plantations EGLIN à Azaguié de 2016 à 2018

2016		2017		2018	
Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide	Semaine	Fongicide
1	Siganex	3	Dithane	2	Dithane 60 Os
3	Dithane	4	Banguard	3	Dithane 60 Os
4	Balear	5	Balear	4	Banguard
5	Dithane	6	Balear	5	Dithane 60 Os
6	Balear	7	Balear	6	Dithane 60 Os
7	Dithane	8	Balear	7	Dithane 60 Os
8	Balear	9	Balear	8	Banguard
9	Dithane	10	Dithane 60	9	Dithane 60 Os
10	Balear	11	Dithane	10	Dithane 60 Os
11	Dithane	12	Dithane	11	Polyram
12	Volley	13	Banguard	12	Dithane 60 Os
14	Dithane	14	Balear	13	Dithane 60 Os
15	Dithane	15	Dithane	14	Polyram
16	Trical	16	Dithane 60 Os	15	Dithane 60 Os
19	Siganex	17	Dithane 60 Os	16	Dithane 60 Os
21	Comet Plus	18	Opal	17	Polyram
22	Junior	21	Comet Plus	18	Dithane 60 Os
25	Psycho	25	Difecor	19	Psycho+Volley
27	Opal	28	Callis	22	Volley
30	Callis	31	Volley	25	Impulse
33	Pyrus	34	Volley+Difecor	27	Psycho+Volley
36	Cumora	37	Comet Plus	30	Volley
39	Impulse	40	Volley	32	Pyrus 400 Sc
43	Opal	42	Opal	34	Psycho
47	Comet Plus	45	Volley	37	Volley
50	Difecor	48	Pyrus	38	Dithane 60 Os
53	Opal	51	Volley+Difecor	39	Dithane 60 Os
				40	Comet Plus
				41	Dithane
				43	Dithane
				44	Psycho+Volley
				45	Dithane
				47	Dithane
				49	Dithane
				51	Balear/Dithane

7.3. Effet des traitements antifongiques sur l'évolution de la sensibilité des différents isolats de *Mycosphaerella fijiensis*

7.1.3. Evolution de la sensibilité *in-vitro* des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* issues des plantations industrielles de 2016 à 2017

7.3.1.1. Longueur des tubes germinatifs de *Mycosphaerella fijiensis* sans fongicides

La longueur moyenne des tubes germinatifs des conidies a varié d'une plantation à une autre et d'une année à une autre. Cependant, il existe des similitudes au niveau de la zone d'Aboisso (Figure 40).

❖ Plantations SAKJ

➤ Zone d'Aboisso

La longueur moyenne des tubes germinatifs des conidies issues des plantations d'Akressi a été plus élevée en 2017 (90 μm) qu'en 2016 (72 μm). Il en est de même dans toutes les plantations du groupe SAKJ à Aboisso (Figure 40). Cette longueur moyenne des tubes germinatifs des conidies d'Akressi qui était de 90 μm en 2017 est passée à 86 μm en 2018. A Diby également, la longueur moyenne, qui était de 72 μm en 2016, est passée à 84 μm en 2017, puis retombée à 79 μm en 2018. Quant aux conidies des plantations Diconne et SBMK, la longueur des tubes germinatifs a été élevée en 2017 (106 μm pour Diconne et 107 μm pour SBMK). Par contre, les conidies d'Elima ont présenté des longueurs de tubes germinatifs identiques (96 μm) en 2017 et 2018 (Figure 40).

➤ Zone de Niekya (attinguié)

La croissance des tubes germinatifs des conidies issues des plantations Rouchard à Attinguié a régressé progressivement, de 103 μm en 2016 à 87 μm en 2017 et 70 μm en 2018 (Figure 40).

❖ Plantations WANITA

➤ Zone de Tiassalé

A Batia, dans la zone de Tiassalé, la longueur des tubes germinatifs des conidies a augmenté entre 2016 et 2018. D'abord, elle est passée de 88 μm (2016) à 93 μm (2017) puis à 97 μm en 2018 (Figure 40).

➤ Zone de Dabou

Dans la plantation WANITA, à Dabou, la longueur des tubes germinatifs a baissé entre 2016 (87 μm) et 2017 (73 μm), puis elle a augmenté (90 μm) en 2018 (Figure 40).

❖ **Plantations EGLIN**

➤ Zone d'Agboville

Dans la plantation EGLIN d'Agboville, il y a une régression de la longueur moyenne des tubes germinatifs entre 2016 (101 μm) et 2018 (81 μm). En 2017, la longueur moyenne de croissance des tubes germinatifs a été de 86 μm (Figure 40).

➤ Zone d'Azaguié

À Azaguié, dans une des plantations du groupe EGLIN, c'est l'inverse de celle d'Agboville ; la longueur moyenne de croissance des tubes a été de 73 μm en 2016, elle a atteint 80 μm en 2017 puis est passée à 92 μm en 2018 (Figure 40).

➤ Zone de Bassam (Motobé)

À Motobé, la situation a été différente de celles des deux autres plantations du groupe EGLIN. En effet, la croissance moyenne des tubes germinatifs est passée de 70 μm en 2016 à 92 μm en 2017, puis à 79 μm en 2018 (Figure 40).

❖ **Plantations SIAPA**

➤ Zone de Tiassalé

À Tiassalé, dans la plantation SIAPA, la moyenne de croissance des tubes germinatifs est passée de 74 μm , en 2016, à 95 μm en 2017 (Figure 40).

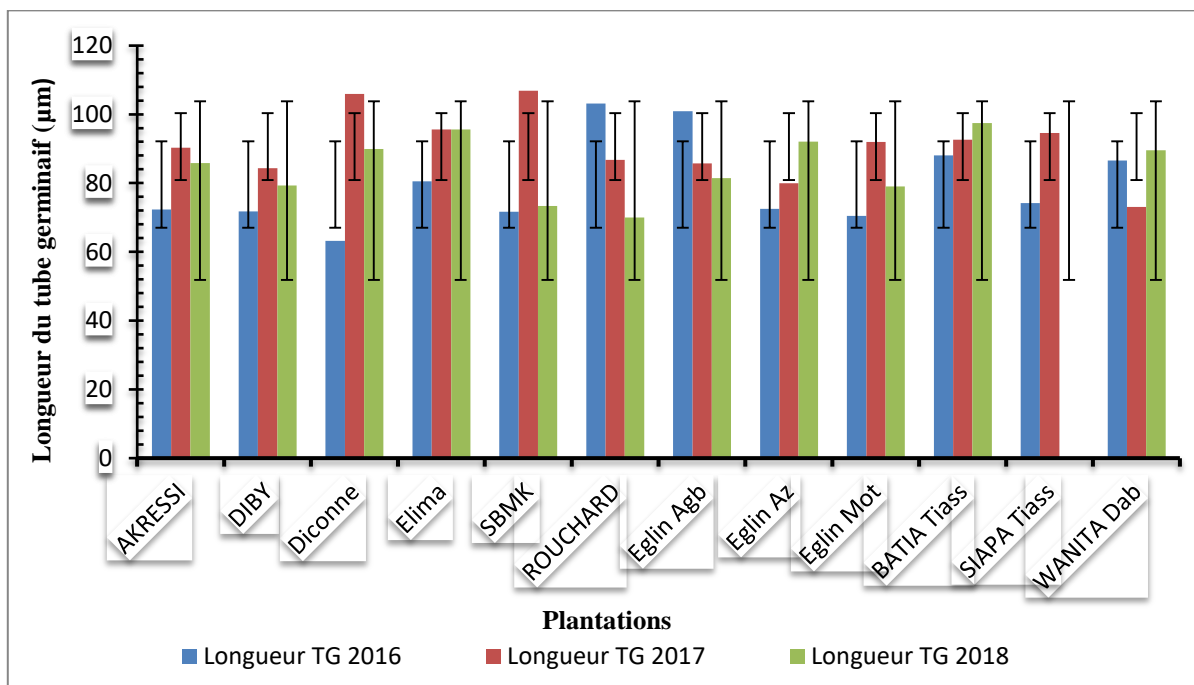


Figure 40 : Longueur moyenne du tube germinatif des conidies en fonction des plantations et des années

7.3.1.2. Sensibilité aux triazoles des conidies de *Mycosphaerella fijiensis*

✚ Difénoconazole

Le difénoconazole a montré une faible efficacité sur les conidies pendant les trois années. Elle a complètement perdu son efficacité sur les conidies dans certaines plantations.

❖ Plantations SAKJ

➤ Zone d'Aboisso

Le difénoconazole a été inefficace en 2016 (64 % d'inhibition) sur les conidies de la plantation d'Akressi (figure 41). Cette perte d'efficacité s'est accentuée en 2017 (61 % d'inhibition), mais en 2018, le difénoconazole a été efficace, avec 68 % d'inhibition. Pour les conidies de la plantation Diby, ce fongicide est resté inefficace entre 2016 et 2018, les taux d'inhibition sont restés en dessous du seuil de résistance pour les trois années. Par contre, à Diconne, il y a eu une restauration de la sensibilité au difénoconazole des conidies de 2016 (48 % d'inhibition) à 2017 (68 % d'inhibition). En 2018, cette sensibilité est restée constante (68 %). Au niveau d'Elima, le difénoconazole a présenté un taux d'inhibition de 72 % en 2016. Ce taux a baissé à 65 % en 2017 et n'a pas évolué en 2018. Le difénoconazole n'a pas été efficace sur les conidies issues de SBMK en 2016 (62 % d'inhibition). Par contre, cette matière active a retrouvé son efficacité en 2017, avec 69 % de taux d'inhibition de la germination des conidies. En 2018, le difénoconazole a perdu son efficacité (64 % d'inhibition) sur les conidies (Figure 41).

➤ Zone de Niekky

En 2016, le difénoconazole a été efficace sur les conidies de la plantation Rouchard du groupe SAKJ, avec une inhibition de 69 % de la croissance des tubes germinatifs. Il a perdu cette efficacité en 2017 (58 % d'inhibition), puis cette perte d'efficacité s'est accentuée en 2018, avec 49 % d'inhibition (Figure 41).

❖ Plantations WANITA

➤ Zone de Tiassalé

A Batia (Tiassalé), dans une plantation du groupe WANITA, les conidies ont été sensibles au difénoconazole en 2016 (66 % d'inhibition) et en 2017 (67 % d'inhibition) puis il y a eu une perte de sensibilité en 2018 avec 59 % d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs (Figure 41).

➤ Zone de Dabou

Les conidies du champignon issues de la plantation du groupe WANITA, à Dabou, ont été sensibles au difénoconazole en 2016 (67 % d'inhibition). Cette efficacité du fongicide s'est ensuite dégradée progressivement en 2017 (64 % d'inhibition) et en 2018 avec 58 % d'inhibition des tubes germinatifs des conidies (Figure 41).

❖ Plantations EGLIN

➤ Zone d'Agboville

Dans la plantation EGLIN d'Agboville, le champignon a été sensible au difénoconazole sur les trois années. Cette sensibilité s'est renforcée légèrement en passant de 66 % d'inhibition des tubes germinatifs en 2016 à 69 % en 2017 puis, n'a plus évolué en 2018 (Figure 41).

➤ Zone d'Azaguié

Les conidies issues de la plantation d'EGLIN, à Azaguié, n'ont pas été sensibles au difénoconazole en 2016 (58 % d'inhibition) et en 2017 (61 % d'inhibition). Par contre, en 2018, il y a eu une sensibilité remarquable de ces conidies aux difénoconazole avec un taux d'inhibition de 70 % (Figure 41).

➤ Zone de Bassam

Concernant cette zone, les conidies, qui ont été prélevées dans la plantation EGLIN de Motobé, ont perdu leur sensibilité au difénoconazole en 2016 (43 % d'inhibition). En 2017, le fongicide a retrouvé son efficacité, avec 66 % d'inhibition des tubes germinatifs des conidies (Figure 40). Le fongicide a perdu son efficacité à nouveau en 2018 (61 % d'inhibition).

❖ Plantations SIAPA

➤ Zone de Tiassalé

Les conidies issues de la plantation de SIAPA, dans la zone de Tiassalé, ont été sensibles au difénoconazole en 2016 (66 % d'inhibition). En 2017, le fongicide a perdu son efficacité, avec 60 % d'inhibition (Figure 41).

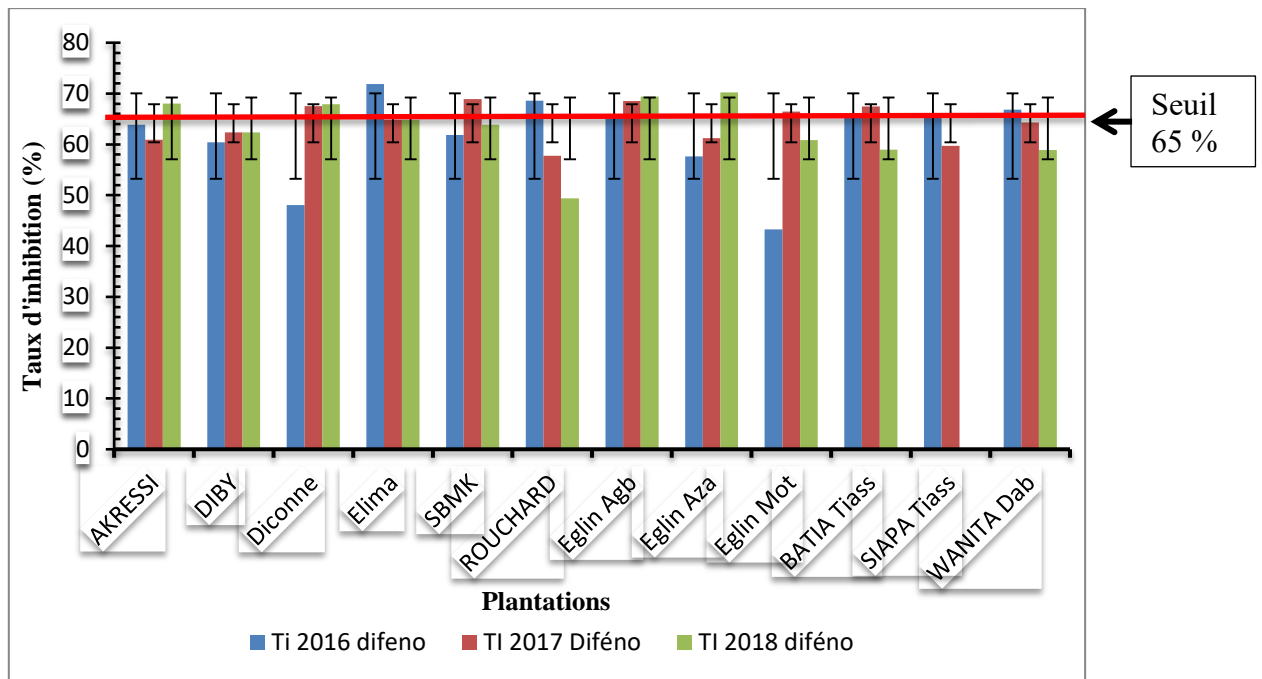


Figure 41 : Taux d’inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par le difénoconazole en fonction des plantations et des années

Tébuconazole

Sur les trois années de l’étude, toutes les conidies du champignon *Mycosphaerella fijiensis* qui ont été testées, peu importe leurs provenances, n’ont pas été sensibles au tébuconazole. Ce fongicide est dans une phase de perte totale d’efficacité dans les bananeraies industrielles (Figure 42).

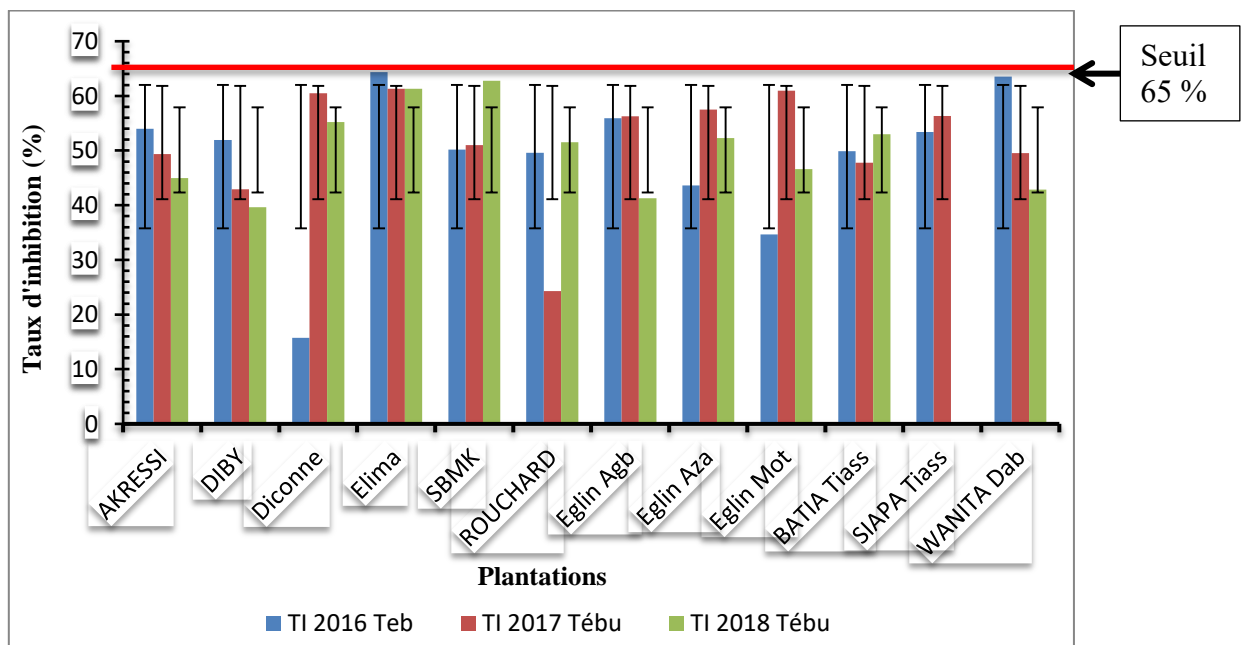


Figure 42 : Taux d’inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par le tébuconazole en fonction des plantations et des années

Epoxiconazole

Plantations SAKJ

➤ Zone d'Aboisso

Sur les conidies prélevées à Akressi et à ELIMA, dans la zone d'Aboisso, l'époxiconazole s'est montré inefficace au cours des trois années (2016, 2017 et 2018). Il faut noter que pour les conidies prélevées à ELIMA, le taux d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs est resté constant sur les trois années (63 %). Pour les plantations Diby et Diconne (Figure 43), l'époxiconazole n'a pas été efficace en 2016 sur les conidies (respectivement 56 % et 33 % d'inhibition). En 2017, ce fongicide a été efficace sur les conidies des deux plantations (avec respectivement 66 % et 72 % d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs). En 2018, il a été encore inefficace sur les conidies des mêmes plantations (50 % d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs pour Diby et 64 % pour Diconne). Les conidies de la plantation SBMK ont perdu leur sensibilité à l'époxiconazole en 2016 (57 % d'inhibition). Ce fongicide a été efficace en 2017 (76 % d'inhibition) et en 2018 (68 % d'inhibition) (Figure 43).

➤ Zone de Nieky

Sur les conidies de la plantation Rouchard, dans la zone d'Attinguié, la matière active époxiconazole a été efficace en 2016 (71 % d'inhibition) puis en 2017 (68 % d'inhibition). Par contre, en 2018, il y a eu une perte d'efficacité brutale, avec 14 % d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs (Figure 43).

Plantations WANITA

➤ Zone de Tiassalé

Pour la plantation de BATIA, dans la zone de Tiassalé, les conidies ont été sensibles à l'époxiconazole en 2016 avec 65 % d'inhibition de croissance des tubes germinatifs puis en 2017 (67 % d'inhibition). En 2018, les conidies de BATIA ont perdu leur sensibilité à l'époxiconazole avec un taux d'inhibition 55 % (Figure 43).

➤ Zone de Dabou

Concernant les plantations WANITA de Dabou, il y a eu une perte d'efficacité de l'époxiconazole sur les conidies en 2016 (62 % d'inhibition). Ce fongicide a par la suite, été efficace en 2017, avec 66 % d'inhibition de croissance des tubes germinatifs des conidies. En 2018, il a été à nouveau inefficace avec un taux d'inhibition de 44 % (Figure 43).

❖ **Plantations EGLIN**

Dans deux plantations (Azaguié et Motobé) du groupe EGLIN, la matière active époxiconazole a été inefficace sur les conidies du champignon durant les trois années (2016, 2017 et 2018). Par contre, dans la plantation d’Agboville, elle a d’abord été inefficace en 2016 avec un taux d’inhibition de la croissance des tubes germinatifs de 62 %, puis a été efficace en 2017, avec 73 % d’inhibition de la croissance des tubes germinatifs. Cette efficacité a été maintenue en 2018 à 70 % d’inhibition (Figure 43).

❖ **Plantations SIAPA**

➤ Zone de Tiassalé

Dans la zone de Tiassalé, au niveau de la plantation SIAPA, il y a une inefficacité critique du fongicide sur les conidies en 2016 (14 % d’inhibition), puis en 2017, le fongicide a été efficace, avec un taux d’inhibition de 68 % (Figure 43).

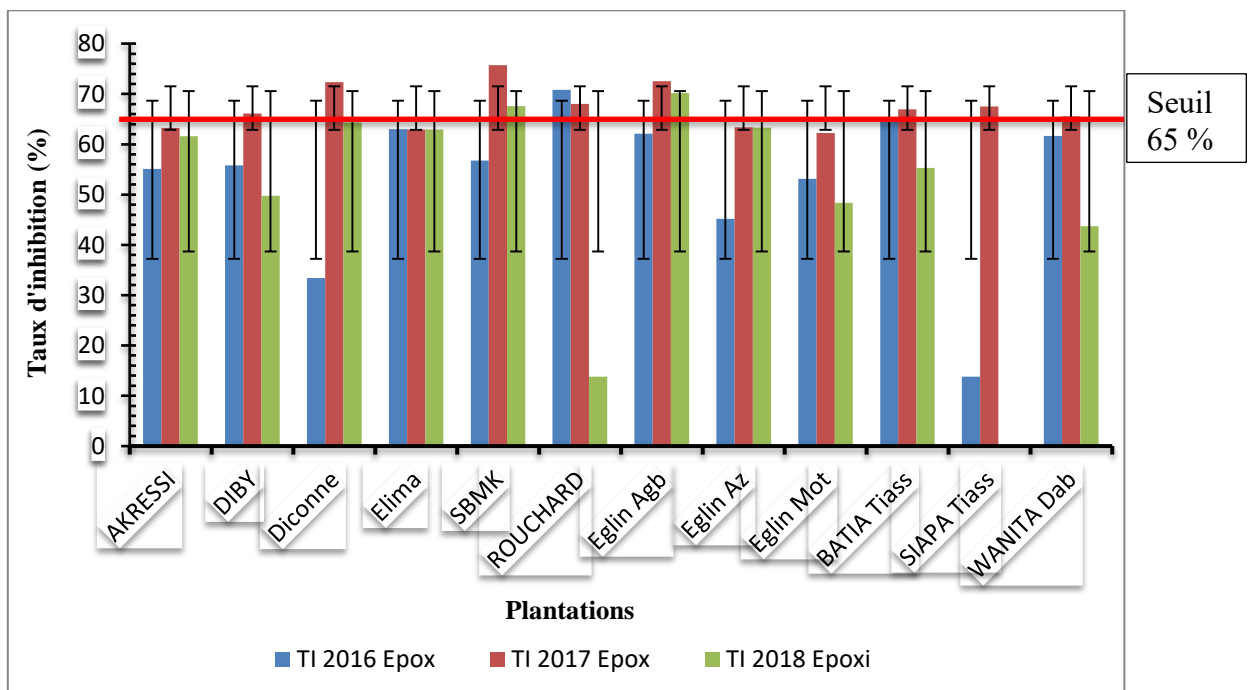


Figure 43: Taux d’inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par l’époxiconazole en fonction des plantations et des années

7.3.1.3. Sensibilité aux strobilurines des conidies de *Mycosphaerella fijiensis*

✚ **Trifloxystrobine**

Cette matière active a eu des taux d’inhibitions de la croissance des tubes germinatifs des conidies supérieurs au seuil de résistance de 25 % dans la majorité des des plantations de 2016 à 2018 (figure 44). C’est seulement dans les plantations du groupe SAKJ telle

qu'Akressi et Diconne que les taux d'inhibition ont été inférieures au seuil avec les taux d'inhibition respectifs de 22 %, 19 % en 2016 (Figure 44).

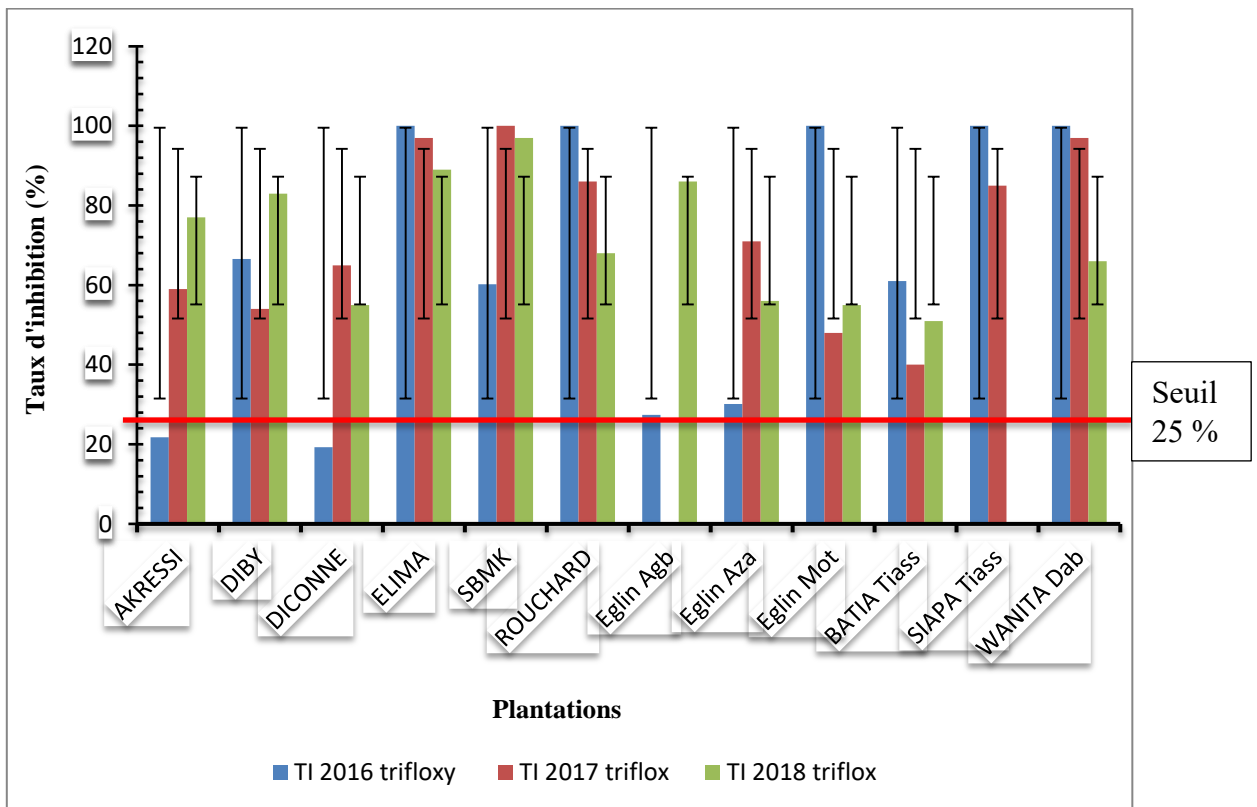


Figure 44 : Taux d'inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par le trifloxystrobin en fonction des plantations et des années

Azoxystrobine

En ce qui concerne cette matière active, hormis la plantation Diconne à Aboisso, pour laquelle les taux d'inhibition, en 2016 (17 %) et 2017 (22 %) ont été inférieurs au seuil de 25 %. Dans l'ensemble, elle a été efficace durant les trois années dans les bananeraies (Figure 45).

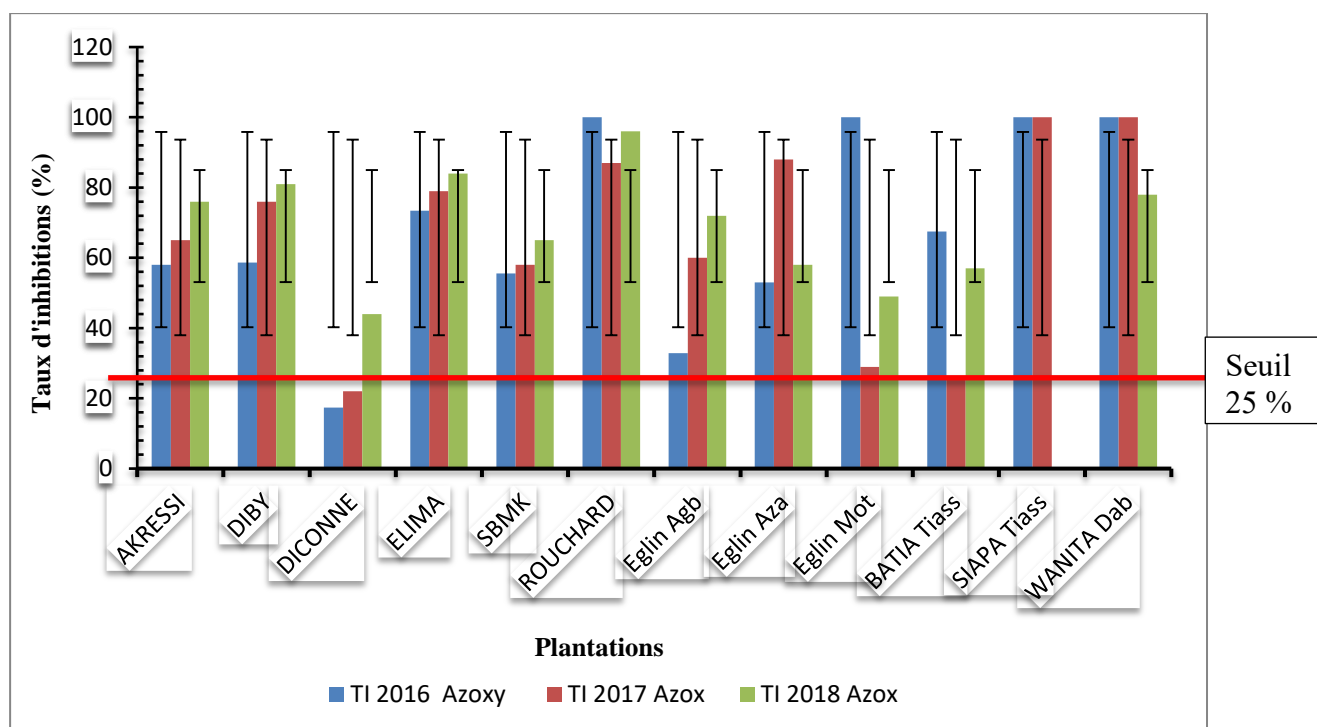


Figure 45: Taux d’inhibition de la croissance du tube germinatif des conidies par l’azoxystrobine en fonction des plantations et des années

7.3.1.4. Sensibilité au benzimidazole des conidies de *Mycosphaerella fijiensis*

✚ Méthyl-thiophanate

Cette matière active a été efficace dans la majorité des plantations. C’est seulement dans les plantations EGLIN Azaguié (avec un taux de germination de 47 %) puis WANITA Dabou (avec un taux de germination de 24 %) qu’elle a été inefficace au cours de l’année 2017 (Figure 46). En effet son efficacité se base sur le taux de germination par rapport au témoin sans fongicide qui doit être inférieur à 20 %.

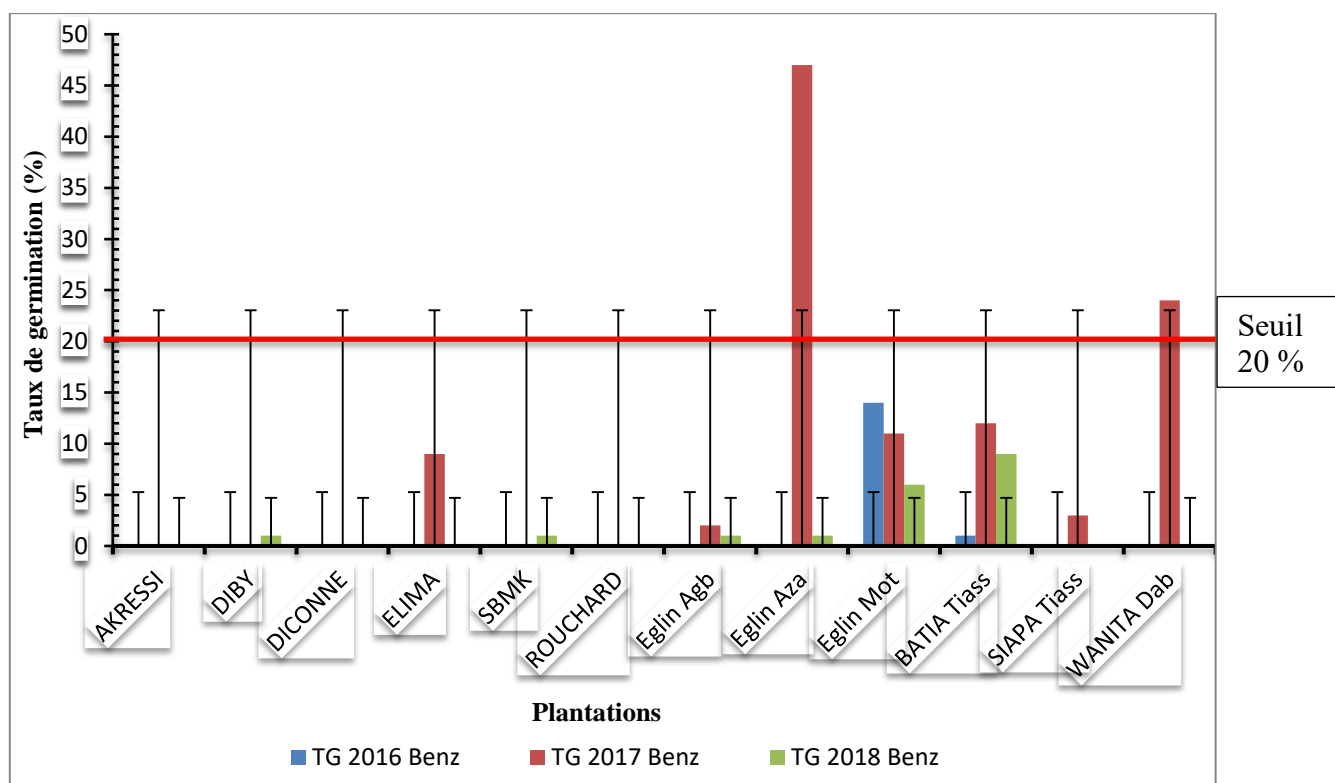


Figure 46: Taux de germination des conidies sur milieu amendé de méthyl-thiophanate de 2016 à 2018 selon les localités

7.1.4. Sensibilité *in-vitro* des isolats de *Mycosphaerella fijiensis* issues des plantations villageoises

De 2016 à 2018, des prospections ont été réalisés dans les bananeraies industrielles ivoiriennes afin de faire l'état des lieux sur la présence de la cercosporiose noire et l'efficacité des fongicides destinés à la lutte contre cette maladie. Ceci a permis d'observer des pertes d'efficacité de certaines matières actives sur plusieurs souches de l'agent pathogène de la maladie. Ainsi pour mieux comprendre l'origine de cette perte d'efficacité qui peut être imputable à plusieurs facteurs. La sensibilité des souches sauvages du champignon *Mycosphaerella fijiensis* à trois familles de fongicides systémiques utilisées dans les bananeraies industrielles a été évaluée. Les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre suivant.

7.3.1.5. Longueur moyenne des tube germinatifs des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sans fongicides

La longueur des tubes germinatifs de conidies provenant des plantations jamais traitées aux fongicides a varié d'une plantation à une autre (Figure 47). Cependant, certaines plantations présentent des similitudes. Les longueurs des tubes germinatifs des conidies ont varié de 81 μm à 102 μm , selon les localités. Ainsi, deux groupes de longueurs de tubes

germinatifs ont été statistiquement distingués. En effet, la longueur des tubes germinatifs de conidies prélevées sur des feuilles de bananiers desserts à Anguédédou et Aboisso a été plus courte que celles prélevées à Azaguié. Parcontre les conidies issues des feuilles de bananiers plantains ont présenté des longueurs tubes germinatifs moyennes, intermédiaires entre les tubes germinatifs court et long.

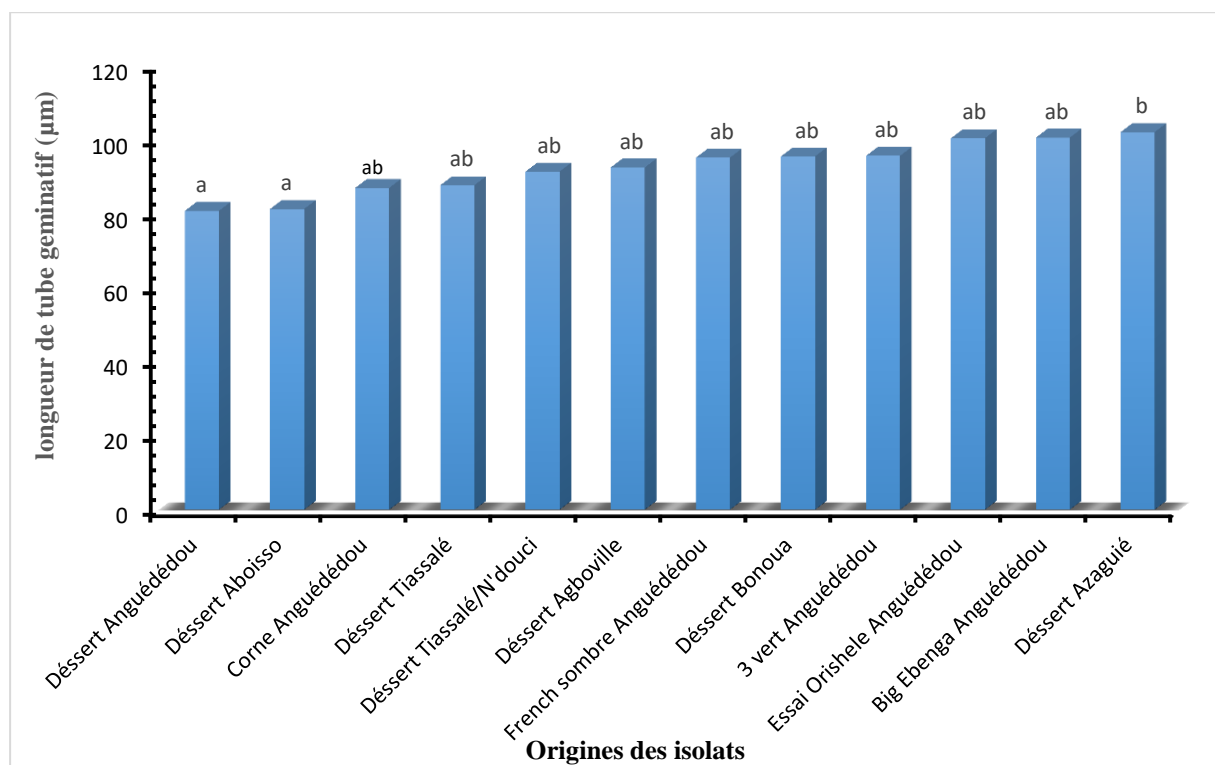


Figure 47 : Longueur moyenne des tubes germinatifs des conidies des isolats sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* selon les localités

7.3.1.6. Sensibilité des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* aux Triazoles

Pour les triazoles, il n'y a pas eu de variation significative des taux d'inhibitions de la croissance des tubes germinatifs des conidies entre les différentes matières actives. En effet, tous les taux d'inhibitions ont été aux dessus du seuil de la résistance qui est de 65 % pour toutes les matières actives testées.

Difénoconazole

Les taux d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* traitées à la matière active difénoconazole (Figure 48) ont varié de 70 % à 80 %. Ils sont tous supérieurs à la valeur seuil de résistance (< 65%) pour toutes les conidies et dans toutes les zones. Un effet significatif du difénoconazole a été observé entre les différents isolats sauvages. Sur les conidies issues des bananiers desserts de la zone de Tiassalé, le taux d'inhibition a été le plus élevé comparativement aux taux d'inhibition sur les

conidies issues des bananiers de dessert d'Anguédédou, Azaguïé et de Tiassalé/N'douci et sur plantain 3 vert d'Anguédédou.

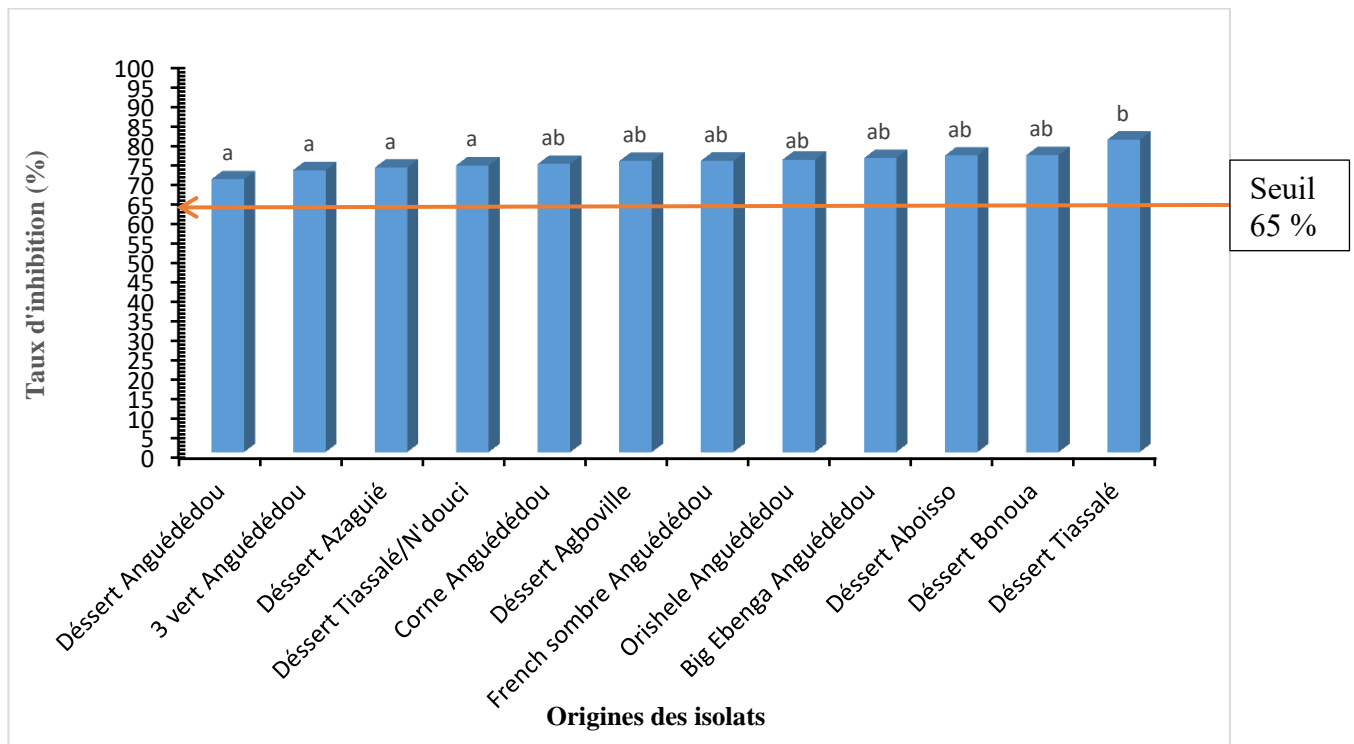


Figure 48 : Taux d'inhibition de la germination des conidies sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* par le difénoconazole selon les localités

✚ Epoxiconazole

Pour cette matière active (Figure 49), l'intervalle des valeurs a été sensiblement le même que celui du difénoconazole. Les taux d'inhibition ont été tous supérieurs à 65 % et ont varié de 67 % à 79 % en fonction des isolats. Les isolats issus des feuilles de bananiers dessert d'Anguédédou, ont été inhibés à 67 %, tandis que, ceux des bananiers dessert d'Agboville ont été inhibés à 79 %.

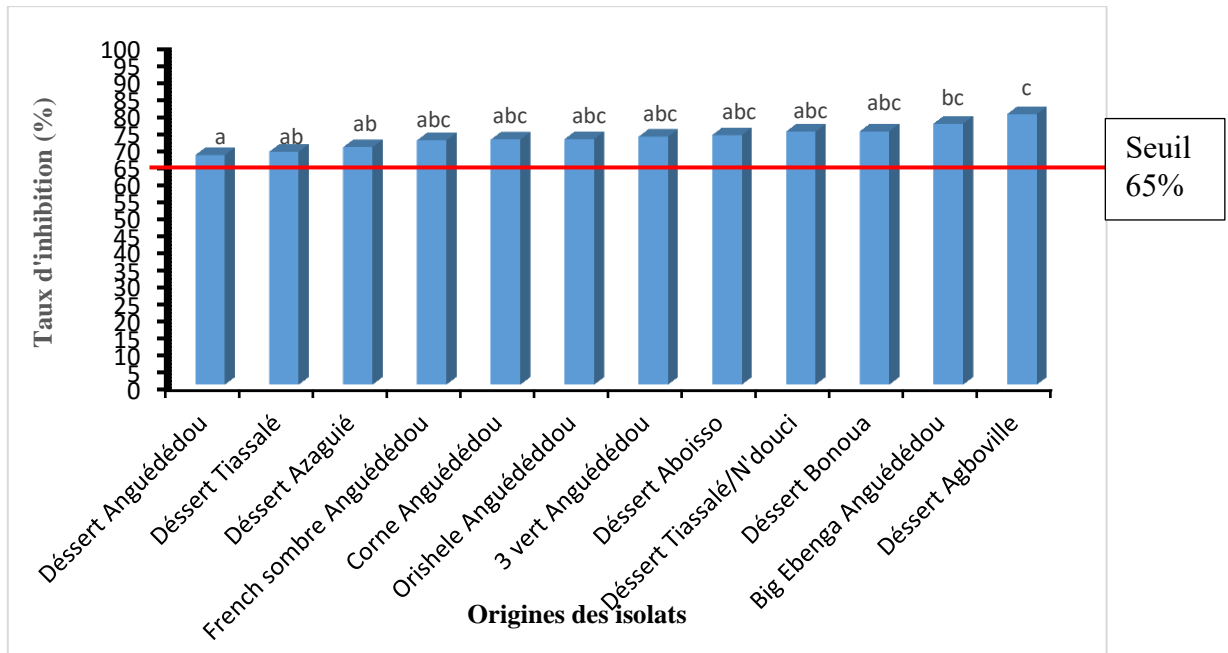


Figure 49 : Taux d'inhibition de la germination des conidies sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* par l'époxiconazole selon les localités et les variétés de bananiers

🚩 Tébuconazole

Pour la matière active tébuconazole (Figure 50) les taux d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs n'ont pas beaucoup varié. Toutefois, ils ont été tous supérieurs au seuil de la résistance (65 %). Ces taux sont compris entre 67 %, pour l'essai de Corne d'Anguédédou et 75 %, pour l'essai de Big Ebenga d'Anguédédou. Pour ce fongicide aucune différence significative n'a été observée entre les taux d'inhibitions.

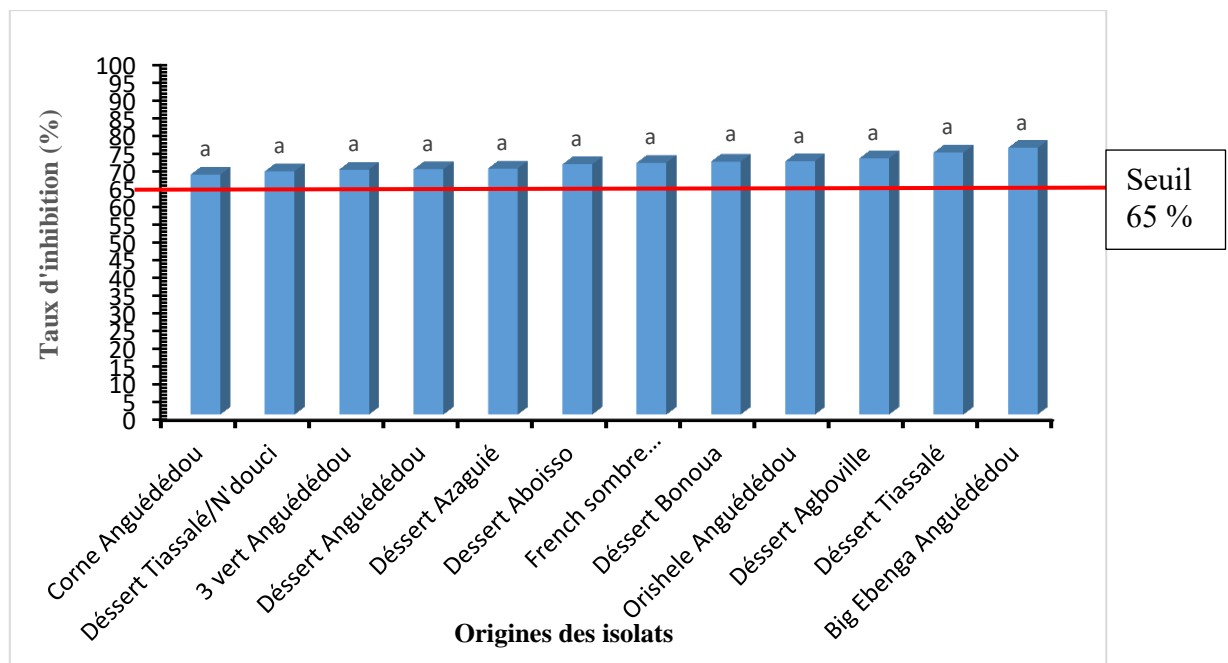


Figure 50 : Taux d'inhibition de la germination des conidies sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* par le tébuconazole selon les localités et les variétés de bananiers

Les taux d'inhibition de croissance des tubes germinatifs ont varié en fonction des matières actives et des zones de production. Tous les isolats, peu importe leur provenance, ont été sensibles aux triazoles, mais à des degrés différents. Les taux d'inhibition de la croissance des tubes germinatifs des conidies ont été plus élevés pour le difénoconazole et l'époxiconazole que pour tébuconazole. Aussi, les conidies issues des feuilles de bananiers dessert d'Anguédédou ont eu un comportement particulier ; car en plus d'avoir eu le taux de croissance des tubes germinatifs le plus faible sur milieu gélosé, sans fongicide, présentent au niveau du difénoconazole et de l'époxiconazole, les taux d'inhibition les plus faibles et même au niveau du tébuconazole, le taux d'inhibition fait partie des plus petits même si statistiquement aucune différence n'apparaît entre ces taux.

7.3.1.7. Sensibilité des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* aux benzimidazoles

Les résultats du traitement des conidies avec le méthyl-thiophanate à 5 µL/L (Figure 51) se sont présentés sous plusieurs formes. Les taux de germination ont été généralement nuls à l'exception de ceux provenant d'Anguédédou (1 % pour Big Ebenga, 2 % pour Orishele et 4 % pour French Sombre), puis de la zone de Tiassalé avec 11 %. Quant aux taux de non germination, ils ont varié entre 2 % pour les conidies issues des bananiers de dessert d'Anguédédou à 93 %, pour l'échantillon de Bonoua. Les taux de déformation ont varié entre 7 % pour les isolats de la zone de Bonoua à 97 %, pour les isolats de l'essai de bananiers dessert d'Anguédédou.

Les taux de germination normale, sont tous en dessous du seuil (20 %) de la résistance dans toutes les zones.

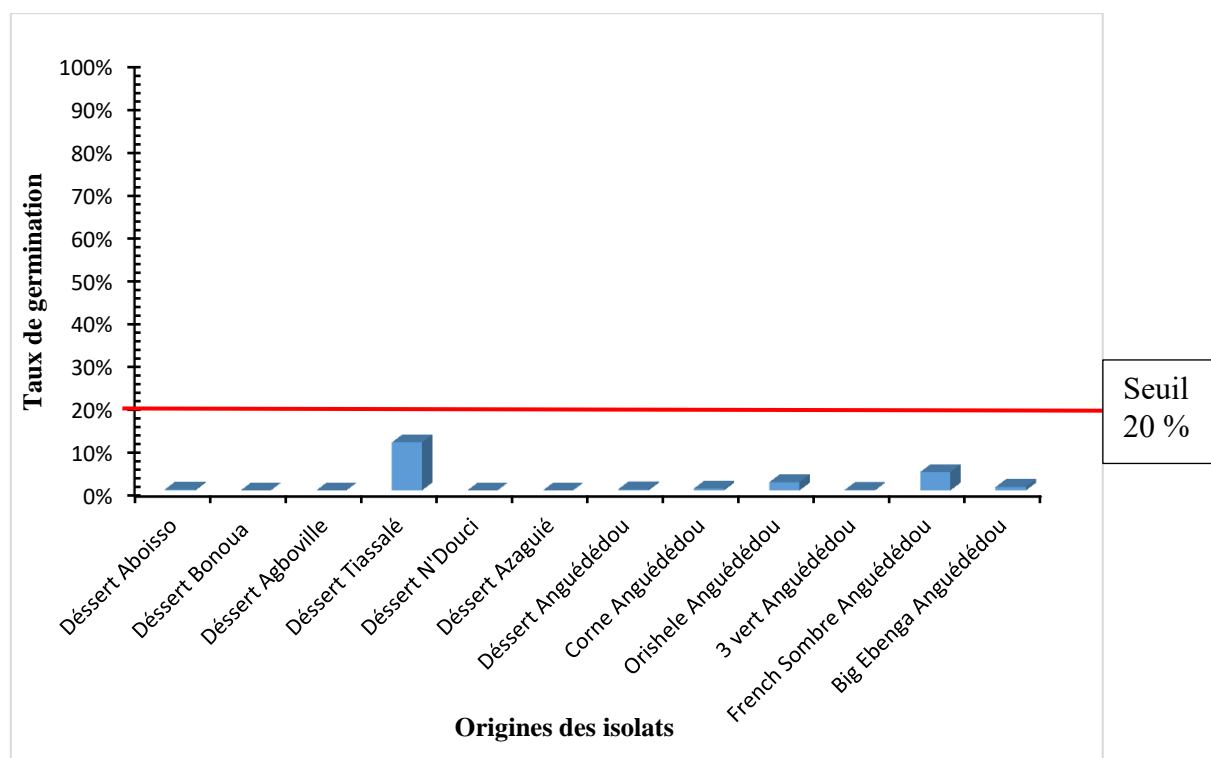


Figure 51 : Taux de germination des conidies sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* sur milieu additionné de méthyl-thiophanate selon les localités et les variétés de bananiers

7.3.1.8. Sensibilité de conidies de *Mycosphaerella fijiensis* aux strobilurines

Les conidies traitées à 1 $\mu\text{L/L}$ d'azoxystrobine ont donné les résultats (Figure 52) qui se présentent sous trois formes. Les taux de germination normale ont été nuls pour les conidies provenant de des isolats d'Agboville, N'douci, Azaguié et de l'essai de bananiers dessert d'Anguédédou. Par contre, ils ont été de 2 % pour les isolats de Bonoua, 5 % pour Big Ebenga, 6 % pour Orishele et celui d'Aboisso, 7 % pour Tiassalé, 13 % pour corne et 20 % pour les isolats de l'essai de French Sombre à Anguédédou. En ce qui concerne les taux de déformation des conidies, ils ont été nuls pour 7 échantillons (Agboville, N'douci et les essais de bananiers de dessert, de corne, d'Orishele, de 3 verts et de French Sombre d'Anguédédou). Pour le reste des isolats, nous avons 2 % pour Tiassalé, 4 % pour Aboisso, 5 % pour Bonoua, 7 % pour Azaguié et 43 % pour l'essai de Big Ebenga d'Anguédédou. Quant aux taux de non germination, ils ont été les plus élevés et ont varié entre 50 % pour l'essai de Big Ebenga et 100 % pour les isolats d'Agboville, N'douci et l'essai de dessert d'Anguédédou.

Néanmoins, les taux de germination normale ont été tous inférieurs au seuil de résistance des strobilurines.

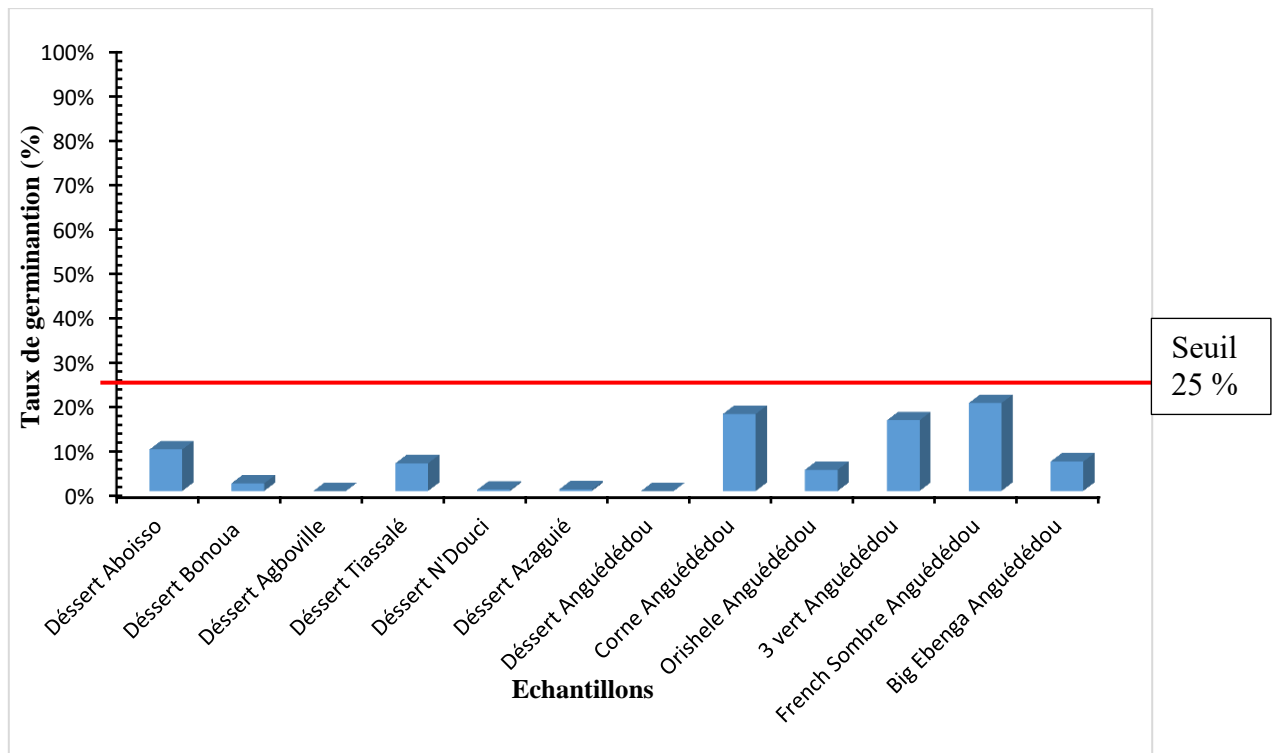


Figure 52 : Taux de germination des conidies sauvages de *Mycosphaerella fijiensis* sur milieu additionné d'azoxystrobine selon les localités et les variétés de bananiers

7.4. Comportement de l'agent pathogène de la maladie des raies noires en fonction des variétés de bananiers

Après avoir évalué les sensibilités des différents isolats de *Mycosphaerella fijiensis* des plantations industrielles et villageoises, il ressort que certains isolats des plantations industrielles ont perdu leur sensibilité vis-à-vis de certains fongicides de famille des triazoles. Les isolats sauvages demeurent sensibles à toutes les matières actives testées. Desormais, il est possible d'affirmer que la perte d'efficacité n'est pas liée à la qualité des fongicides commercialisés mais plutôt à la manière dont ces produits sont utilisés dans les plantations industrielles. Aussi, cet autre volet de l'étude va permettre de mettre en évidence l'effet de l'interaction hôte-pathogène sur les paramètres de la maladie des raies noires dans des conditions naturelles sur des variétés de bananiers de sensibilités diverses. Ainsi, les paramètres phytopathologiques concernés sont entre autres les rangs de plus jeunes feuilles atteintes (PJFA) par la maladie, les rangs de plus jeunes feuilles nécrosées (PJFN) par la maladie et les caractéristiques des conidies telles que la taille et le nombre de conidies sur les feuilles des plants de chaque variété de bananiers. En plus de cela, le comportement des conidies des isolats de chaque variété a été testé. Les observations ont été faites sur les bananiers durant la phase végétative pendant les huit premier mois après leur planting.

7.1.5. Paramètres de la maladie des raies noires en plantation (PJFA et PJFN)

7.4.1.1. Rang de plus jeune feuille attaquée par la maladie (PJFA)

Les rangs des plus jeunes feuilles attaquées par la maladie ont varié d'une variété à l'autre. En effet, ils ont été compris entre 3,514 pour la variété SH 3640 et 2,471 pour FHIA 21. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les variétés pour le rang de plus jeune feuille touchée (Tableau XX). La variété de bananier SH 3640 a présenté le rang le plus élevé de la plus jeune feuille attaquée par la cercosporiose noire avec une moyenne de 3,514. Pour la variété 3 Vert, le rang de la plus jeune feuille atteinte a été 3,043. Aucune différence significative n'a été observée entre les variétés SACI (2,943), Bana dishye (2,9), French sombre (2,879) Big Ebanga (2,757) et BITA 3 (2,714). Quant à la variété FHIA 21, elle a eu le plus bas rang de plus jeune feuille atteinte par la maladie (2,471).

Tableau XX : Rang de la plus jeune feuille attaquée par la cercosporiose noire en fonction des différentes variétés de bananiers

Variétés	PJFA
SH 3640	3,514 a \pm 0,193
3 Vert	3,043 b \pm 0,193
SACI	2,943 bc \pm 0,193
Bana dishye	2,900 bc \pm 0,193
French sombre	2,879 bc \pm 0,193
Big Ebanga	2,757 cd \pm 0,193
BITA 3	2,714 cd \pm 0,193
FHIA 21	2,471 d \pm 0,93
P-value	< 0,0001

Les valeurs moyennes du rang des feuilles dans les colonnes affectées de la même lettre sont statistiquement égales. Les valeurs moyennes du rang des feuilles dans les colonnes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha=0,05$)

7.4.1.2. Rang de plus jeune feuille nécrosée (PJFN)

Les rangs des plus jeunes feuilles nécrosées par la maladie des raies noires ont varié entre 7,028 pour la variété SH 3640 et 4,911 pour Bana dishye en fonction des variétés de bananiers. Une différence significative a été observée entre la variété SH 3640 et les autres variétés de bananier. Par contre, il n'y a pas eu de différence significative entre les variétés BITA 3, 3 Vert et Big Ebanga, il en est de même pour les variétés SACI, FHIA 21, French Sombre et Bana dishye qui ont été statistiquement identiques (Tableau XXI).

Tableau XXI : Rang de la plus jeune feuille nécrosée par la cercosporiose noires en fonction des variétés de bananiers

Variétés	PJFN
SH 3640	7,028 a ± 0,448
BITA 3	5,983 b ± 0,448
3 Vert	5,678 b ± 0,448
Big Ebanga	5,644 b ± 0,448
SACI	5,233 c ± 0,448
FHIA 21	5,050 c ± 0,448
French sombre	5,044 c ± 0,448
Bana dishye	4,911 c ± 0,448
P-value	< 0,0001

Les valeurs moyennes du rang des feuilles dans les colonnes affectées de la même lettre sont statistiquement égales. Les valeurs moyennes du rang des feuilles dans les colonnes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha= 0,05$)

7.1.6. Caractéristiques de *Mycosphaerella fijiensis* en fonction des variétés de bananiers

7.4.1.3. Taille des conidies de *Mycosphaerella fijiensis*

En ce qui concerne les tailles des conidies, elles ont évolué selon les variétés et ont été comprises entre 33,65 μ (variété SH 3640) et 26,1 μ (variété FHIA 21). Il a été observé une différence significative entre les variétés de bananiers pour la taille des conidies (Tableau XXII). Ainsi, les conidies prélevées sur la variété SH 3640, ont présenté les plus grandes tailles avec une moyenne de 33,65 μ . Ensuite, les variétés Big Ebanga (32,3 μ), 3 Vert (31,6 μ), SACI (31 μ), French sombre (30,65 μ), Bana dishye (29,3 μ) et BITA 3 (27,9 μ) qui ont été statistiquement équivalentes, avec des conidies de tailles moyennes. La variété FHIA 21 a eu les conidies de plus petites tailles (26,1 μ).

Tableau XXII : Taille moyenne des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* en fonction des variétés de bananiers

Variétés	Taille des conidies (μ m)
SH 3640	33,650 a ± 2,447
Big Ebanga	32,300 ab ± 2,447
3 Vert	31,600 ab ± 2,447
SACI	31,000 abc ± 2,447
French sombre	30,650 abc ± 2,447
Bana dishye	29,300 abc ± 2,447
BITA 3	27,900 bc ± 2,447
FHIA 21	26,100 c ± 2,447
P-value	< 0,0001

Les valeurs moyennes de taille de conides dans les colonnes affectées de la même lettre sont statistiquement égales. Les valeurs moyennes du rang des feuilles dans les colonnes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha= 0,05$)

7.4.1.4. Nombre de conidies de *Mycosphaerella fijiensis*

S'agissant du nombre de conidies, en fonction des variétés, il a varié entre 34,3 conidies obtenues sur les feuilles de la variété 3 Vert et 2,5 conidies obtenues sur les feuilles de la variété BITA 3. Il a été observé une différence significative entre les variétés pour le nombre de conidies (Tableau XXIII). Les variétés portant le plus de conidies sont 3 Vert (34,3), Big Ebanga (33) et SACI (28,3). Entre ces trois variétés aucune différence significative n'a été observée. Par contre, les variétés Bana dishye (7,2), FHIA 21 (4,95) et BITA 3 (2,5) ont été statistiquement identiques. Leurs conidies ont été en très petit nombre.

Tableau XXIII : Nombre de conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sur les feuilles en fonction des variétés de bananiers

Variétés	Nombre de conidies/mm ²
3 Vert	34,300 a ± 13,427
Big Ebanga	33,000 a ± 13,427
SACI	28,300 a ± 13,427
French sombre	27,500 ab ± 13,427
SH 3640	10,900 bc ± 13,427
Bana dishye	7,200 c ± 13,427
FHIA 21	4,950 c ± 13,427
BITA 3	2,500 c ± 13,427
P-value	< 0,0001

Les valeurs moyennes de nombre de conidies dans les colonnes affectées de la même lettre sont statistiquement égales. Les valeurs moyennes du rang des feuilles dans les colonnes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha=0,05$)

7.1.7. Influence de la sensibilité des différentes variétés de bananiers sur la sensibilité aux fongicides des conidies de *Mycosphaerella fijiensis*

Les conidies issues des variétés FHIA 21 et BITA 3 n'étaient pas en quantité suffisante pour cette analyse de sensibilité aux fongicides.

7.4.1.5. Taux de germination des conidies

○ Taux de germination sur milieu sans fongicides

Les taux de germination des conidies, sur milieu sans fongicide, en fonction des variétés, ont varié entre 82 % et 98 % (figure 53). Les variétés ont été classées en deux groupes statistiquement distincts selon les taux de germination des conidies. Les taux de germination de conidies issues de la variété SACI ont été les plus bas soit 82 %. Les taux de germination des variétés Bana dishye, Dessert, Orishele et French Sombre ont été intermédiaires. Les variétés SH 3640, Corne1, 3 Vert et Big Ebanga appartiennent au groupe des taux de germinations élevés. La variété Big Ebanga a eu le taux de germination très élevé avec 98 %.

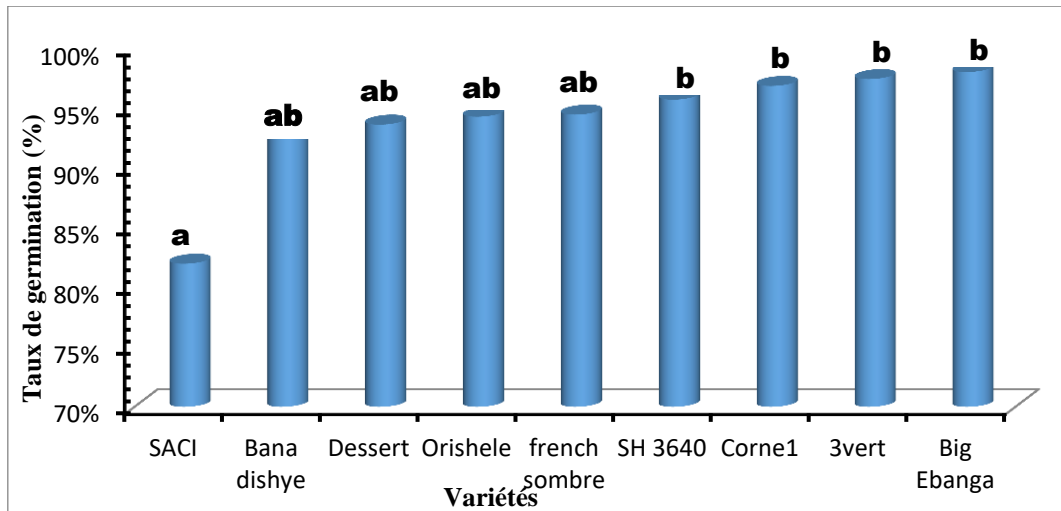


Figure 53 : Taux de germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu sans fongicide

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha= 0,05$)

○ **Taux de germination sur milieu additionné de benzimidazole**

Sur milieu amendé de Méthyl-thiophanate, les taux de germination des conidies ont été très faibles et ont varié entre 0 % pour la variété Orishele et et 4 % pour la variété French Sombre (figure 54). Tous les taux de germination ont été en dessous du seuil de 20 %. Statistiquement, il n’y a pas eu de différence entre les conidies de chaque variété. Ces isolats ont été tous sensibles à cette matière active.

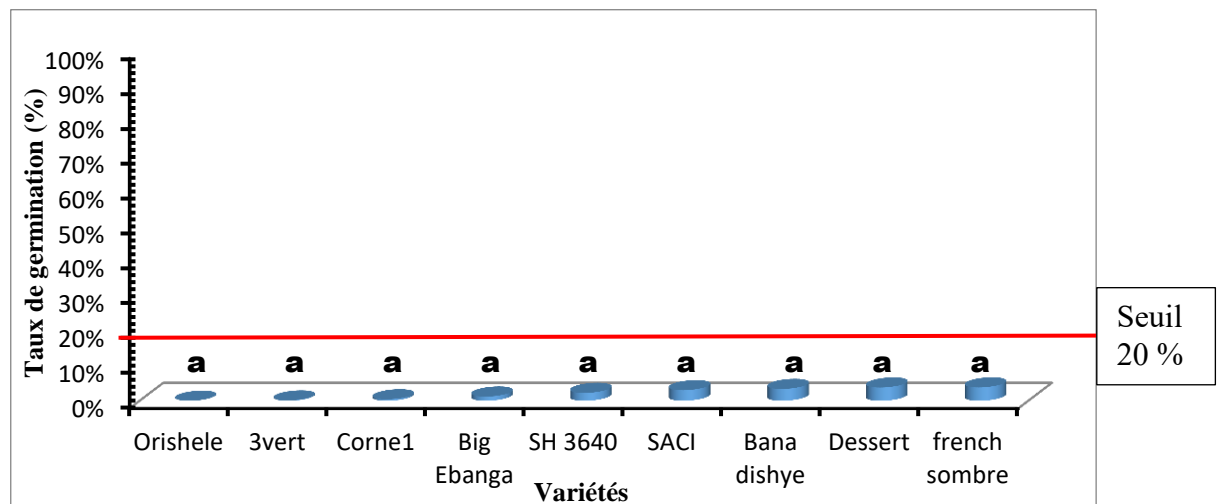


Figure 54 : Taux de germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné de Méthyl-thiophanate

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha= 0,05$)

○ **Taux de germination sur milieu additonné de strobilurine**

Les taux de germination des conidies sur milieu amendé d’Azoxystrobine ont varié entre 0 % pour la variété dessert et 23 % pour la variété Bana dishye qui a eu le taux de germination le plus élevé (figure 55). Sur le plan statistique, aucune différence significative n’a été observée entre les variétés de bananiers. Dans l’ensemble les taux de germination ont été inférieurs au seuil de la résistance qui est de 25 %. Toutes les conidies ont été sensible à l’azoxystrobine.

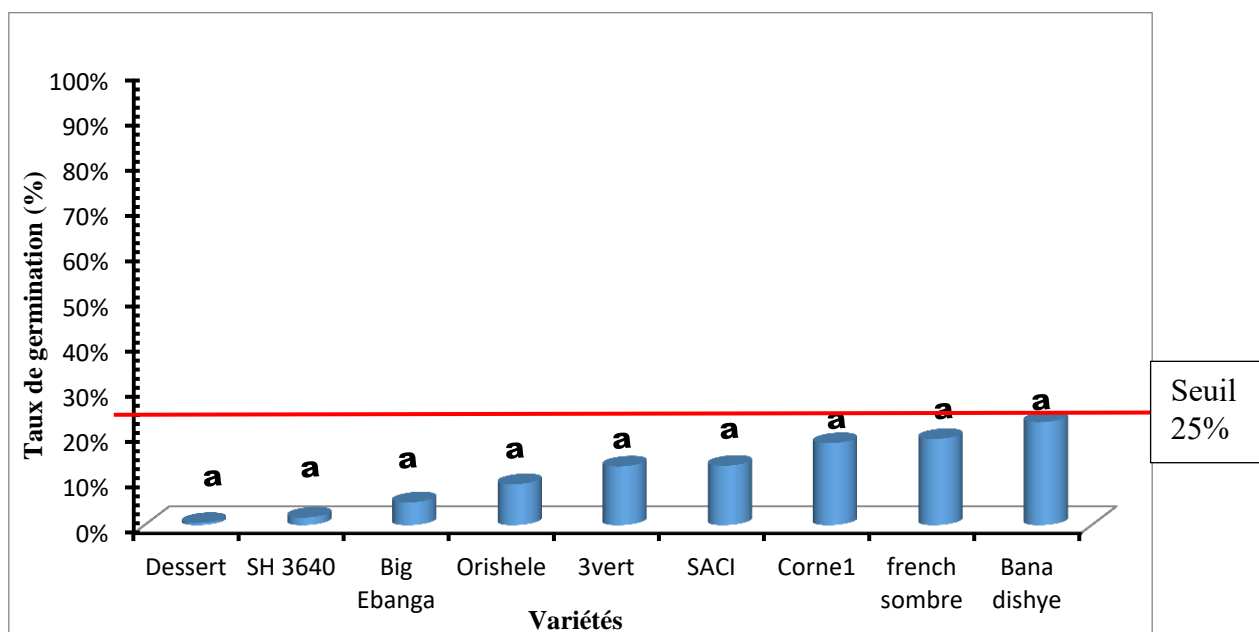


Figure 55 : Taux de germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné d’azoxystrobine

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha=0,05$)

7.4.1.6. Taux d’inhibition de la croissance des tubes germinatifs des conidies aux triazoles

○ **Longueur des tubes germinatifs des conidies sur milieu sans fongicide**

Les longueurs des tubes germinatifs des conidies ont varié d’une variété à une autre (Figure 56). En effet, les longueurs étaient comprises entre 81 μm pour la banane dessert et 145 μm pour la variété SH 3640. En fonction des longueurs, trois groupes de variétés statistiquement distincts ont été formés. Le dessert et Corne 1 appartiennent au même groupe, avec des conidies dont les tubes germinatifs ont été les moins longs. Les variétés French Sombre, 3 Vert, Orishele, Big Ebanga et Bana dishye ont eu des conidies à tubes germinatifs moyens (intermédiaire entre les plus petites longueurs et les plus grandes longueurs. Alors que

les variétés SACI et SH 3640 bien qu'appartenant à des groupe différents sur le plan statistique ont des conidies ayant des tubes germinatifs longs.

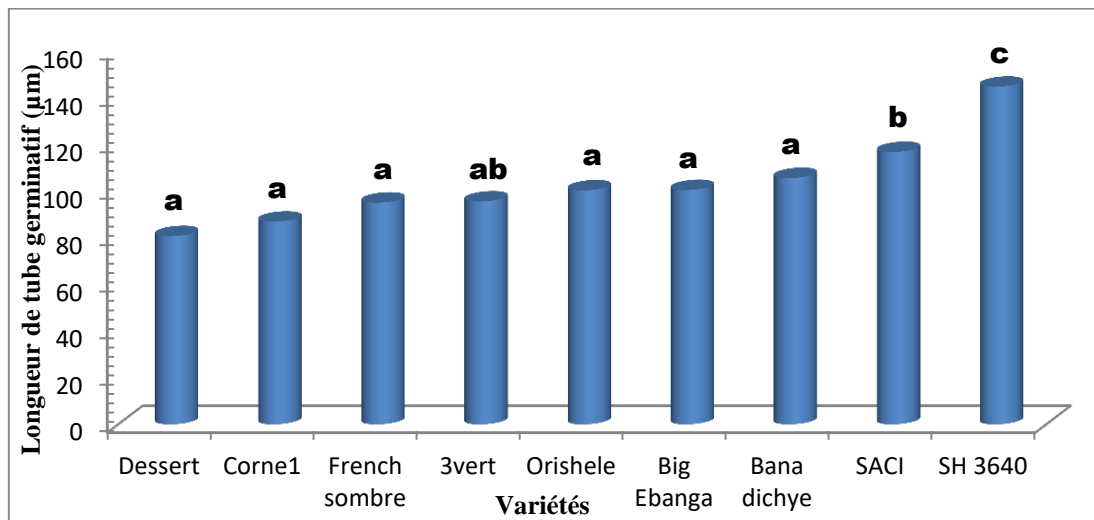


Figure 56 : Longueur du tube germinatif des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu sans fongicide

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha=0,05$)

○ **Taux d'inhibition de la germination des conidies aux triazoles**

Pour le difenoconazole, il n'y a pas eu de différence significative entre les variétés pour les taux d'inhibition de la germination des conidies (Figure 57). Les taux d'inhibition ont été compris entre 70 %, pour le dessert et 80 %, pour le SH 3640. Cependant, ces taux ont été tous supérieurs à 65 % le seuil d'inhibition en dessous duquel on déclare la résistance. Toutes les conidies testées avec cette matière active ont été sensibles indépendamment de la variété sur laquelle elles ont été prélevées.

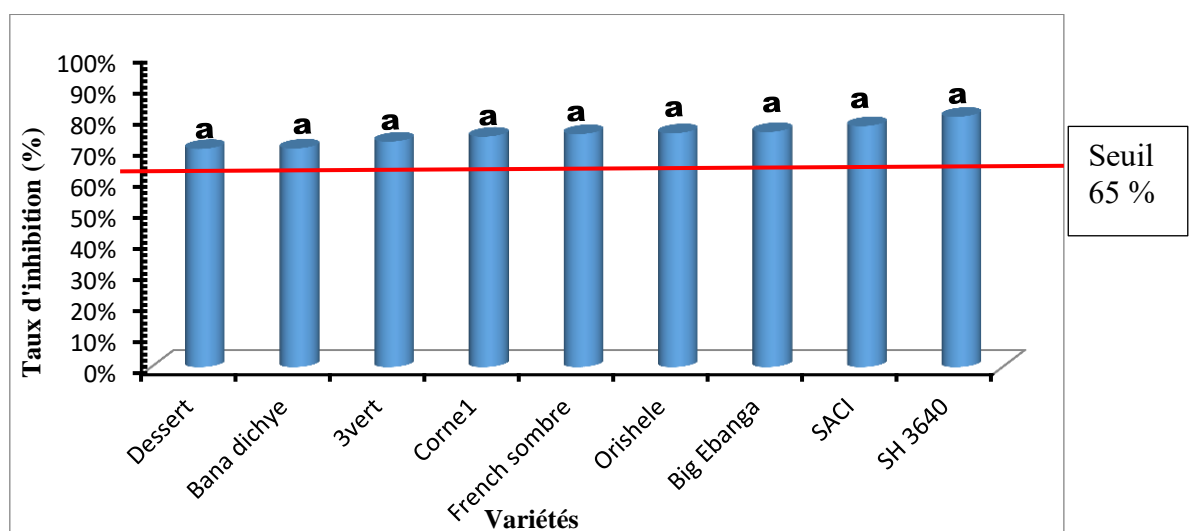


Figure 57 : Taux d'inhibition de la germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné difénoconazole

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha=0,05$)

En ce qui concerne l'époxiconazole, les taux d'inhibition ont varié entre 67 % (Dessert) et 82 % (SH 3640). Ils ont été tous supérieurs au seuil de résistance (figure 58). Trois groupes de variétés de bananier statistiquement distincts ont été formés. Le taux d'inhibition de la croissance des conidies issues des bananiers dessert a été le plus bas et celui de la variété SH 3640 a été le plus élevé. Les taux d'inhibition de la croissance des conidies des autres variétés ont été intermédiaires entre les deux premières variétés. Tous les isolats ont été sensibles à cette matière active.

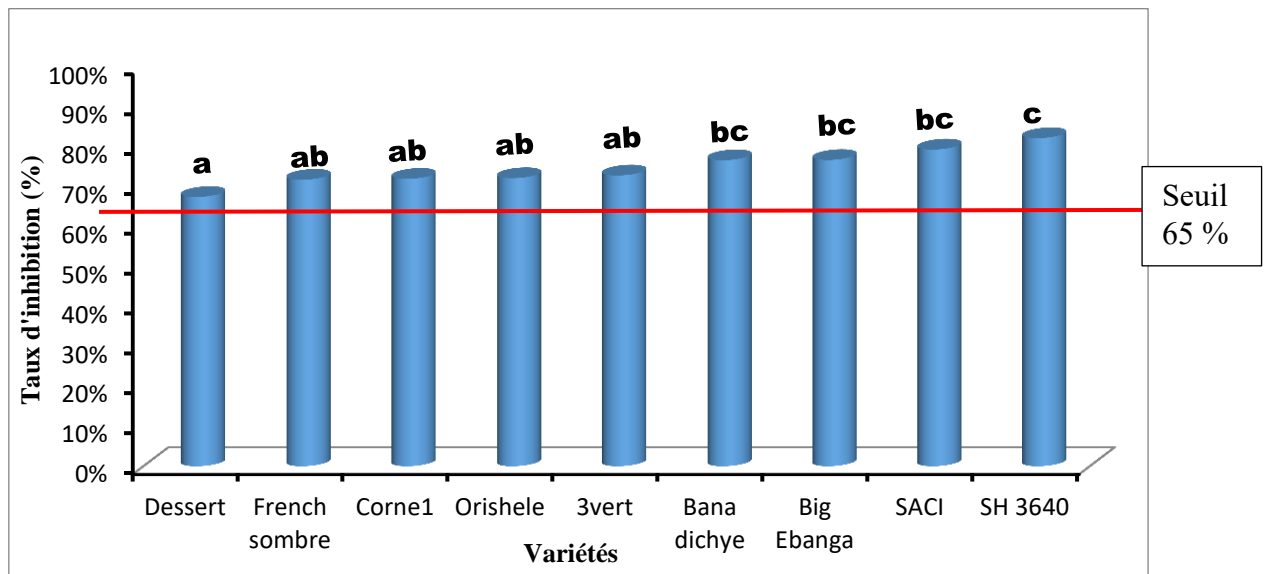


Figure 58 : Taux d'inhibition de la germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu additionné époxiconazole

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha=0,05$)

Pour le tébuconazole, les taux d'inhibition de la germination des conidies ont varié entre 67 % (Corne 1) et 84 % (SH 3640). Néanmoins, ils ont été tous au dessus du seuil de résistance (figure 59). En fonction des taux d'inhibitions, les variétés ont été classées en trois groupes statistiquement différents. Les taux d'inhibition de la croissance des conidies les plus bas ont été celles des variétés Corne 1, 3 Vert, dessert, French Sombre et Orishele. Par contre, la variété SH 3640 est celle dont le taux d'inhibition des conidies a été le plus élevé. Les taux d'inhibition de la croissance des conidies des autres variétés ont été intermédiaires entre les deux autres groupes de variétés.

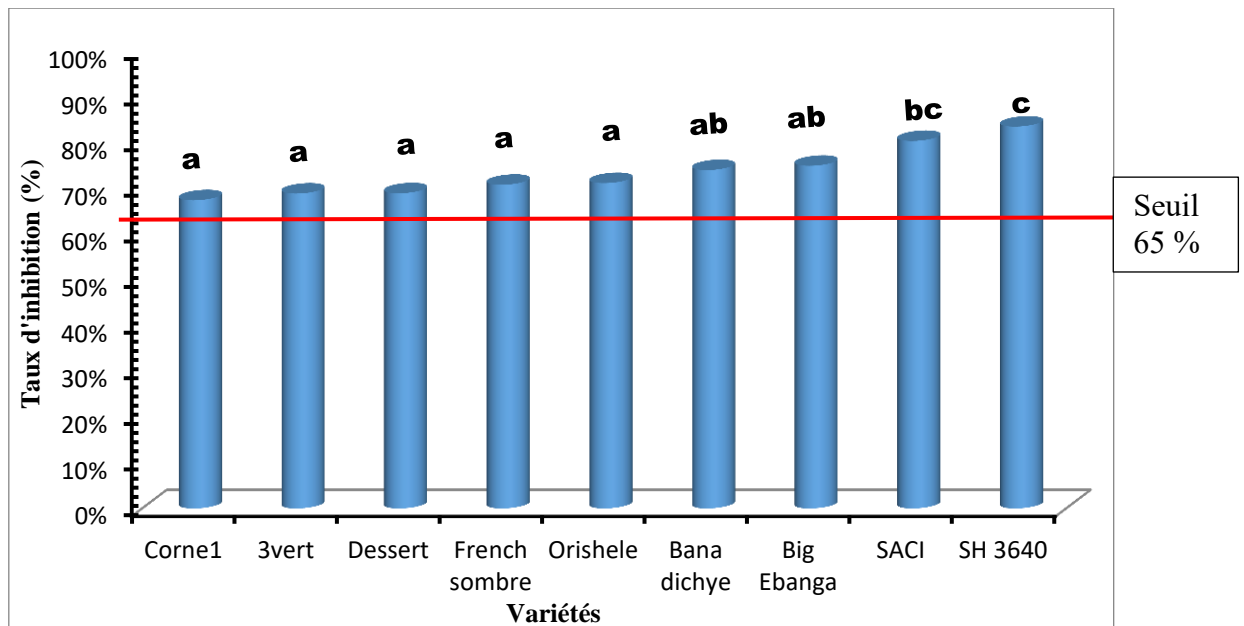


Figure 59 : Taux d’inhibition de la germination des conidies en fonction des variétés de bananiers sur milieu amendé tébuconazole

Les histogrammes affectés de la même lettre sont statistiquement identiques. Les histogrammes affectées de différentes lettres sont significativement différentes (Test de Newman et Keuls $\alpha = 0,05$)

7.4.2. Influence de la sensibilité des différentes variétés de bananiers sur les paramètres de la maladie des raies noires

L’analyse en composante principale (ACP) de l’influence de la sensibilité des bananiers sur les paramètres de la maladie montre que les axes 1 et 2 représentent 86,106 % des valeurs propres de l’inertie totale (Tableau XXIV). L’axe 1 représente 62,65 % et l’axe 2 représente 23, 45 %. Ceci étant, la représentation de l’ACP en deux dimensions suffit pour mettre en évidence l’influence de la sensibilité des bananiers sur les paramètres de la maladie des raies noire. Les axes 1 et 2 contribuent à 25 % chacun à la dispersion des paramètres de la maladie des raies noires. Par contre, les variétés de bananiers sont distribuées à 11,99 % par l’axe 1 contre 13,80 % pour l’axe 2.

Selon les coefficients de corrélation, les paramètres de la maladie tels que la PJFA ($\rho = 0,846$), la taille des conidies ($\rho = 0,956$) et le nombre de conidies ($\rho = 0,773$), puis les variétés de bananiers Big Ebanga ($\rho = 0,847$) et 3 Vert ($\rho = 1,270$) sont liés positivement à l’axe 1. La variété de bananiers SH 3640 ($\rho = 2,484$) a une corrélation positive forte avec l’axe 1 également. Par contre les variétés de bananiers Bana dishye ($\rho = -1,052$) et BITA 3 ($\rho = -1,408$) sont corrélées négativement à l’axe 1 quand la variété FHIA 21 ($\rho = -2,724$) a une corrélation négative forte avec ce même axe. Au niveau de l’axe 2, il y a une corrélation positive de cet axe avec les variétés de bananiers french sombre ($\rho = 1,047$) et SACI ($\rho =$

0,848) par contre la corrélation de cet axe avec le paramètre PJFN ($\rho = -0,825$) est négative, elle a aussi une forte corrélation négative avec la variété SH 3640 ($\rho = -2,074$) (Tableau XXV).

Tableau XXIV : Valeurs propres et inerties des axes de l'ACP

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Valeur propre	2,506	0,938	0,428	0,127
Valeur % cumulé	62,653	86,106	96,819	100,000
Paramètres	25	25		
Variétés	11,99	13,80		

Tableau XXV : Coefficients de corrélation entre les paramètres et les axes de l'ACP

	Variables observées	Axe 1	Axe 2
Paramètres	PJFN	0,528	-0,825
	PJFA	0,846	0,075
	Taille	0,956	-0,016
	Nombre de conidies	0,773	0,501
Variétés	French sombre	0,121	1,047
	BITA 3	-1,408	-1,235
	3 Vert	1,270	0,538
	SH 3640	2,483	-2,074
	Bana dishye	-1,052	0,400
	Big Ebanga	0,847	0,445
	SACI	0,462	0,848
	FHIA 21	-2,724	0,031

L'analyse des résultats de l'ACP révèle que quatre groupes ont été formés (Figure 60). Les paramètres évoluent en fonction des variétés de bananiers.

- Le groupe **G1**, composé des variétés 3 Vert et Big Ebanga ayant un nombre de conidies important et de grande taille avec le rang de plus jeune feuille atteinte relativement élevé pour 3 Vert (3,043) et moins élevé pour Big Ebanga (2,757). Les variétés de ce groupe ont été plus favorables au développement de la maladie.
- Le groupe **G2**, renferme les variétés French sombre et SACI dont le nombre de conidies est moyen (respectivement 27,5 et 28,3), avec aussi des tailles moyennes (respectivement 30,65 et 31) et des rangs de la plus jeune feuille attaquée par la maladie et de la plus jeune nécrosée également moyens. Ces variétés ont été aussi favorables au développement de la cercosporiose noire.
- Le groupe **G3**, contient les variétés portant les conidies les moins nombreuses et de petites tailles avec des faibles rangs de plus jeune feuille attaquée par la maladie

s'agissant des variétés BITA 3 (2,714) et FHIA 21 (2,471) et moyen pour Bana dishye (2,9). Ces variétés ont été moins favorables au développement de la maladie.

- Le groupe **G4** comprend la variété SH 3640 qui s'est démarquée particulièrement. En effet cette variété a eu les rangs de plus jeune feuille attaquée et de plus jeune feuille nécrosée par la maladie les plus élevés, elle a été aussi celle qui a eu les conidies de plus grande taille. Par contre elle fait partie de celles dont le nombre de conidies est faible. Cette variété n'a pas été favorable au développement de la cercosporiose noire.

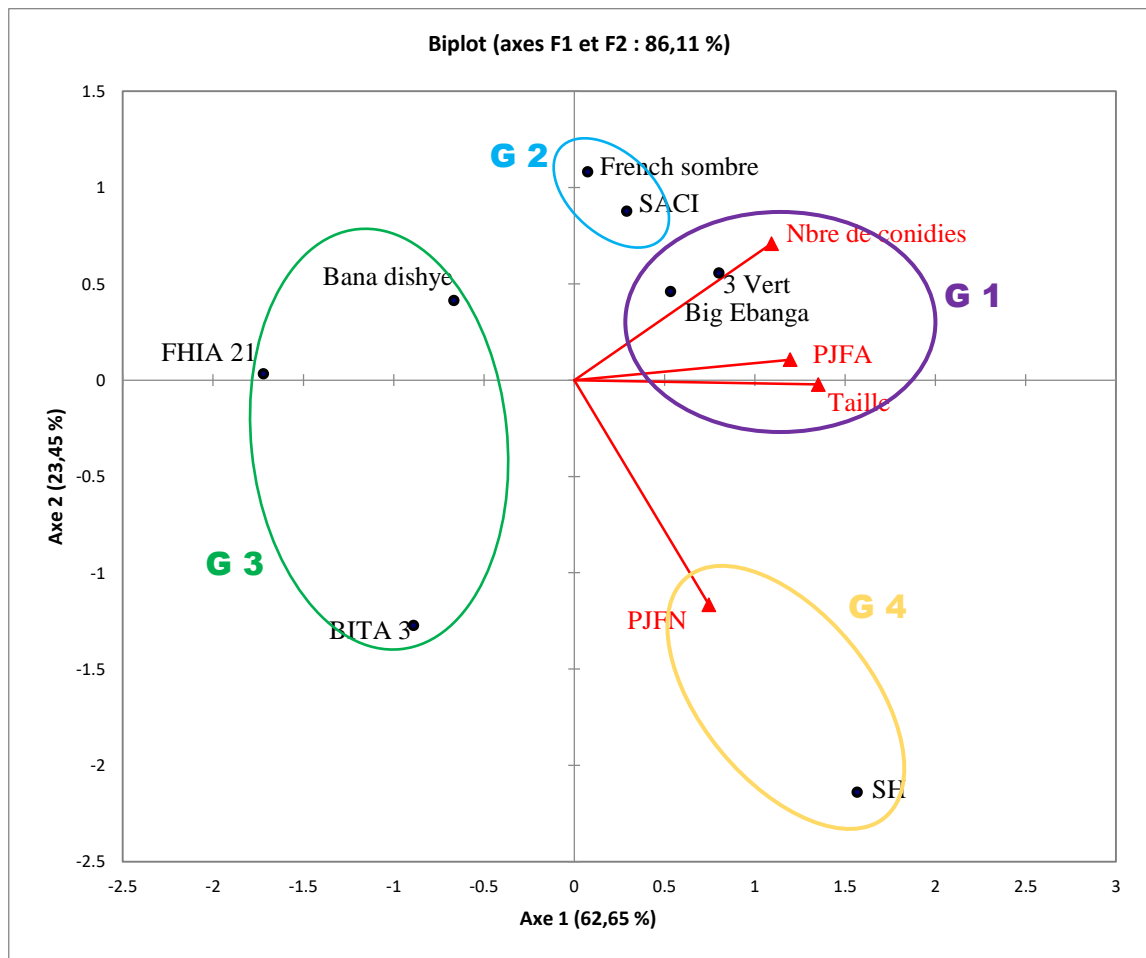


Figure 60 : Diagramme de l'ACP basé sur les relations sensibilité des variétés de bananiers et les paramètres de la maladie des raies noires

DISCUSSION

Effet des facteurs environnementaux et de l'entretien sur l'évolution de la maladie des raies noires au champ et gestion des plantations

Les observations faites lors des enquêtes indiquent qu'il y a eu une réelle amélioration dans l'entretien des plantations industrielles. Il faut entendre par entretien des plantations un ensemble de pratiques visant à créer un environnement défavorable à l'évolution de la maladie. Ces améliorations dans la conduite des plantations sont les résultats des formations successives des agents phytosanitaires depuis l'institution du « Monitoring cercosporiose » (Kobenan *et al.*, 2010). En effet, des équipes phytosanitaires existent dans toutes les plantations et les données sont numérisées. Au niveau de la gestion et l'entretien des plantations, il y a eu des avancées notables, mais beaucoup reste à faire. Toutes les données d'EE, de pluviométrie et les fongicides utilisés ne sont pas complètes pour beaucoup de plantations telles que celles du groupe WANITA. Selon Kermarrec (1990), il y a eu une bonne maîtrise dans l'ensemble, des observations de la cercosporiose jaune en Côte d'Ivoire conformément aux recommandations sur le respect de la technique de lutte sur avertissement. Dans la majorité des plantations, il y a une maîtrise du contrôle de l'enherbement à l'exception des plantations du groupe WANITA qui faisait face à des difficultés. Selon Jules et Jean (2009), les pratiques culturales influencent le développement de la maladie des raies noires. En effet, selon eux, l'indice de la cercosporiose noire est plus élevé dans les parcelles mal entretenues. Certains groupes de plantation se tournent de plus en plus vers le desherbage mécanique et abandonnent les herbicides (le groupe SIAPA). Des travaux ont montré que le desherbage manuel autour des bananiers pourrait renforcer l'effet du drainage (Mouliom *et al.*, 2019).

Aussi, dans la majorité des plantations, les drains sont curés régulièrement, mais dans certaines zones, malgré le curage régulier des drains, ils ne sont jamais secs pendant les périodes pluvieuses du fait de la proximité des cours d'eaux et de l'irrigation permanente. En effet, le drainage est un élément essentiel dans la lutte intégrée contre la cercosporiose noire, car un bon drainage réduirait le taux d'humidité de la parcelle et limiterait les proliférations des agents pathogènes (Mouliom *et al.*, 2019). Le type d'irrigation qui est conseillé est un système d'irrigation sous frondaison. Il permettrait de réduire l'expansion de la maladie selon Mouliom *et al.* (2019). Concernant la pluie, il est recommandé de choisir sa date de plantation de telle sorte que la floraison et la récolte aient lieu pendant la saison sèche au cours de laquelle le niveau de maladie est réduit naturellement (Mouliom *et al.*, 2019).

L'entretien des bordures des plantations est assuré. Cependant dans certaines plantations telles qu'EGLIN Agboville, des problèmes demeurent. De fait, des plantations villageoises sont souvent très proches de leurs plantations et cela constitue une source importante d'inoculum. Cependant, cette présence de plantations villageoise à proximité des plantations industrielles peut constituer un avantage dans la mesure où ces plantations abritent des souches de champignons sensibles qui peuvent permettre une réapparition des souches sensibles aux fongicides. Dans une autre mesure, les souches résistantes des plantations industrielles qui peuvent être plus virulentes, peuvent se propager dans ces plantations villageoises et à partir d'elles contaminer toute la région. Les travaux de Rieux *et al.* (2012, 2013 et 2014) ont démontré l'importance de la migration sur l'évolution de la résistance aux fongicides chez *M. fijiensis*, notamment le rôle potentiel des échanges de spores entre les zones non traitées (ZNT) et les zones traitées (ZT) dans les bassins de production de bananes dessert au Cameroun. En ZNT, les populations d'ascospores sont très abondantes et ces ascospores migrent à grande distance. Dans les ZT, du fait des pratiques de lutte (traitements fongicides et ablation des stades nécrotiques), seules des conidies persistent. Comme ces conidies ne se dispersent qu'à de faibles distances, cette situation favorise des flux migratoires asymétriques entre les ZNT et les ZT (flux d'ascospores de type sensible) qui contribuent à la diminution de la résistance en ZT. Mais ce processus de diminution « naturel » est lent (Essoh, 2014).

Les grands arbres qui pourraient constituer une entrave aux traitements aériens sont dégagés des proximités des plantations. L'apport d'engrais est assuré pour éviter les carences. Mobambo (2002) a rapporté que lorsque le sol est fertile, la sévérité de la cercosporiose noire est réduite. Ainsi, lorsque la matière organique est bien gérée, la production durable du bananier est assurée, l'impact de la maladie est moindre. En effet, la nutrition affecte la résistance des plants (la capacité à limiter la pénétration, le développement et la reproduction du pathogène) et la tolérance des plantes aux maladies c'est-à-dire l'habilité d'une plante à maintenir sa croissance ou son rendement malgré l'infection pathogène (Dordas, 2008). L'engorgement observé au niveau des feuilles des bananiers dans les plantations pourrait s'expliquer par le manque d'eau pendant les périodes de sécheresse. Très rarement, l'excès d'eau peut engendrer l'engorgement foliaire. En effet, Lassoudière (2007) a révélé que l'excès ou le déficit en eau pouvait constituer un frein au développement normal du bananier et réduire la production. Selon lui, le déficit hydrique réduirait le rythme d'émission foliaire et provoquerait l'engorgement.

Pour réduire l'impact de la maladie, une autre méthode prophylactique est la suppression des feuilles totalement nécrosées ou des parties nécrosées des limbes des feuilles, qui sont posés à même le sol pour accélérer la décomposition. 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). L'effeuillage limite les contaminations secondaires sur le plant et la diffusion de la maladie entre les bananiers. cela réduit la pression parasitaire sur le bananier au sein de la parcelle et d'une zone de production (si la pratique est généralisée). Par ailleurs, cette méthode est facile à réaliser et peu coûteuse (Mouliom *et al.*, 2019). Cette pratique est beaucoup suivie et devrait permettre de réduire la dispersion locale des spores (conidies) dans les plantations. En phase végétative, il est conseillé d'éliminer régulièrement toutes les feuilles nécrosées à plus de 40%, toutes les deux semaines en saison humide et toutes les quatre semaines en saison sèche (Mouliom *et al.*, 2019). Cependant, cette méthode n'est pas maîtrisée dans certaines plantations, si bien que certains bananiers se retrouvent avec les feuilles entièrement vertes coupées. Les mêmes constats ont été faits par Kobenan *et al.* (2016). Cela pourrait se justifier par le fait par le renouvellement du personnel dans certaines plantations. En phase florale, il est demandé de faire attention à la façon d'effeuiller (couper les feuilles) quand le régime est en place sur la plante et qu'il est encore immature. Il ne faut pas couper trop de feuilles. Il faut au moins six feuilles vivantes à la floraison (période de sortie de la dernière main viable sur l'inflorescence) pour conduire à bien un régime. Une feuille vivante a au moins les 2/3 de sa surface non attaquée. Lors des visites dans les plantations, il y avait dans certaines plantations, des bananiers portant des régimes dont presque toutes les feuilles ont été sectionnées, parfois des feuilles sont entièrement sectionnées pourtant elles ne sont pas totalement nécrosées. Des chercheurs ont montré qu'après la floraison, il faut éviter de couper les feuilles vertes qui permettent le développement du fruit (Mouliom *et al.*, 2019). Par contre, à la récolte, il est conseillé de couper toutes les feuilles restantes du plant récolté en laissant une hauteur du pseudo-tronc d'environ 1,5 m. Il est aussi important d'effeuiller le plant porteur d'un régime et son rejet si des nécroses sont visibles (Mouliom *et al.*, 2019).

Ces améliorations observées dans la gestion et l'entretien des plantations sont le fait des campagnes successives du projet « Monitoring Cercosporiose » qui ont permis de former et de suivre les équipes phytosanitaires sur les méthodes de lutte intégrées (Traoré, 2008).

Concernant le niveau d'attaque de la cercosporiose noire, il a été décrit à travers les éléments tels que le rang de plus jeune feuille atteinte par la maladie (PJFA), et du rang de plus jeune feuille nécrosée par la maladie (PJFN).

Au niveau des plantations du groupe SAKJ, on remarque dans la zone d'Aboisso représentées par la plantation d'ELIMA, que les attaques sont de plus en plus précoces. Au fil des années, les feuilles attaquées sont de plus en plus jeunes. Cette situation peut être liée à la pluviosité qui a été de plus en plus abondante entre 2016 et 2018 dans la zone d'Aboisso (zone forestière). En effet, plus la pluviosité est abondante, l'humidité relative est élevée. Or selon Etebu *et al.*, 2005, les zones à forte humidité sont favorables au développement rapide de la maladie des raies noires. Cela confirme les travaux de Essis *et al.*, (2016), qui ont montré que les ré-infections du feuillage pourrait être liée aux facteurs climatiques tels que l'humidité relative, la température et les précipitations dans les plantations. Les travaux de Martinez (1997), ont donné les mêmes résultats. Ces travaux ont révélé que les régions les plus touchées par la maladie des raies noires, ont été celles qui reçoivent des précipitations de plus de 1400 mm/an avec une humidité relative de l'air supérieure à 80 % en moyenne.

Dans la zone d'Attinguié au sein de plantation Rouchard de SAKJ, les PJFA des trois années sont au même niveau et sont élevés de la première semaine à la semaine 28. Cela pourrait s'expliquer par le fait que sur cette période des trois années, les pluies n'étaient pas très abondantes. A ceci, il faut ajouter une bonne maîtrise des méthodes prophylactiques. A partir de la semaine 28 jusqu'à la semaine 34, les PJFA de 2016 et 2018 ont baissé tandis que celui de 2017 a augmenté. Or sur cette période, les pluies ont été abondantes pour les trois années. Ainsi, le cas des années 2016 et 2018 pourrait être lié à la pluviosité qui a augmenté l'humidité relative dans les plantations, ce qui a permis une abondance d'inoculum primaire. Dans l'ensemble pour cette plantation, les PJFA et PJFT étaient à bon niveau. Cela serait dû à meilleure prise charge de la plantation par l'équipe phytosanitaire. Essis *et al.*, (2016), ont également obtenu des résultats semblables. Selon ces chercheurs, les améliorations de la PJFT observées sur les plantations des zones de production de Tiassalé et Dabou en 2009, 2011 et 2012 seraient le fait des formations de mises à niveau reçues par les agents.

Dans les plantations WANITA représentées par la plantation de Dabou, dans l'ensemble les rangs de feuille atteinte (PJFA) et de jeune feuille nécrosée (PJFN) ont été plus élevés en 2016 qu'en 2017. Les feuilles attaquées en 2017 sont de rang inférieur par rapport à celles de 2016. Parallèlement aux feuilles attaquées, les feuilles nécrosées ont été de rang inférieur en 2017 par rapport à 2016. Cela pourrait être lié à une mauvaise gestion vue que ce groupe rencontrait des difficultés financières. Des résultats semblables ont été obtenus par Essis *et al* (2016). Selon ses résultats, le faible rang de jeune feuille touchée observé en 2008, et 2010 sur l'ensemble des plantations seraient liés à une présence permanente de

propangules infectueuses qui pourrait s'expliquer par les insuffisances relatives à la conduite des plantations par les producteurs.

Pour les plantations EGLIN, en ce qui concerne la zone d'Agboville, les étages foliaires attaqués par la maladie n'ont pas vraiment évolué entre 2016 et 2018 en général. Cependant entre les semaines, les étages foliaires attaqués varient d'une année à l'autre avec des pics en 2016 pour les semaines 12 et 20. En effet, entre les semaines une (1) et 26, les PJFA et PJFN ont augmenté progressivement malgré l'abondance de pluies sur cette période. Cela pourrait être dû à la différence de pluie tombée entre les deux années. Au niveau d'Azaguié, le rang de feuille attaquée est légèrement plus élevé en 2016 qu'en 2018. A partir de la semaine 21, de l'année 2018, la PJFA a baissé considérablement puis est restée faible jusqu'à la fin de l'année. Quant à la PJFN dans la même année, à partir de la semaine 21 elle a régressé jusqu'à la semaine 33. Par la suite, elle a augmenté jusqu'à la semaine 41 avant de baisser légèrement. En effet, l'entretien de la plantation a été meilleur en 2016 qu'en 2018.

Du point de vue de l'étage foliaire attaqué, dans des bananeraies les pieds porteurs de régimes sont garnis d'au moins 5 ou 6 feuilles. Cependant, la maladie semble hors de contrôle dans certaines bananeraies. Dans ces dernières, même si aucun symptôme apparent n'est visible, les pieds porteurs de régimes n'ont plus que la bractée florale comme feuille saine. La technique de suppression des parties nécrosées du limbe a plutôt été mal appliquée par endroit ; les feuilles vertes jonchent le sol. Ces observations sont conformes à ceux de Kobenan *et al.* (2015). La bonne maîtrise des méthodes d'entretien des plantations, aide à réduire la progression de la maladie, et cela même quand les facteurs environnementaux (température et précipitations) sont favorables à la maladie. La présence d'humidité (pluie ou rosée) est strictement nécessaire à l'infection avec des températures moyennes de 25 à 28 °C. Ainsi en saison sèche, l'infection est quasiment nulle, ce qui permet un contrôle naturel. En saison humide, la durée du cycle de la maladie est de trois semaines. Ces durées s'allongent jusqu'à deux ou trois mois en saison sèche ou fraîche (Kwa et Temple, 2019).

Effet du mode d'application des fongicides sur l'évolution de la maladie des raies noires dans les plantations

L'EE est utilisé pour programmer les traitements antifongiques. Donc l'EE joue un rôle très important dans la gestion de la maladie. Aussi, lorsque le traitement est bien fait et que la plantation est bien entretenue, cela est perceptible à travers l'EE.

Dans les plantations Elima de SAKJ à Aboisso, l'EE en 2018 a été très élevée. Par contre, les deux premières années (2016 et 2017) l'EE a été très faible. La méthode de

traitement antifongique peut être à la base du niveau élevé de l'EE. En période pluvieuse, il est conseillé d'utiliser les fongicides systémiques qui sont pénétrantes. Les fongicides de contact sont moins efficaces quand il pleut car ils sont facilement lessivés (Ganry et Laville, 1983).

Dans la plantation Rouchard de SAKJ située à Attinguié le niveau de la maladie a régressé entre 2016 et 2018. On pourrait dire qu'il y a eu une meilleure gestion au niveau de cette plantation. Cependant, à travers le régime d'application de fongicide, en 2018 le Peltis a été excessivement utilisé. Entre les semaines 3 et 13, par exemple, ce fongicide a été utilisé 9 fois successivement. Etant donné que c'est un fongicide unisite, cela constitue un risque car des souches non sensibles à cette matière active pourraient proliférer si cette situation persiste.

Concernant les plantations du groupe WANITA, au niveau de Dabou, le niveau de la maladie était acceptable dans l'ensemble entre 2016 et 2017. Mais, le niveau de la maladie était très élevé au début de l'année 2016 entre la première et la troisième semaine. En 2017, le niveau de la maladie a commencé à progresser à partir de la semaine 23 jusqu'à atteindre son pic à la semaine 25 avant de régresser. Quant à la gestion des traitements, il a eu alternance de fongicides mais les fongicides de contact ont été beaucoup utilisés et cela constitue un risque de contamination des bananes et de pollution de l'environnement.

Au niveau des plantations EGLIN, à Agboville, le niveau de la maladie n'a pas vraiment changé entre les deux années (2016 et 2018). L'allure de la courbe est à peu près la même en 2016 qu'en 2018. En début d'année, l'EE qui était élevé va baisser progressivement jusqu'à la semaine 21 pour 2016 et la semaine 25 pour 2018. Par la suite, l'EE a évolué progressivement jusqu'à la semaine 48 pour 2016 et la semaine 50 pour 2018. Cette évolution du niveau de la maladie est la conséquence de la stratégie de lutte utilisée dans les plantations de ce groupe. En effet, les mêmes traitements sont quasiment reproduits chaque année.

En ce qui concerne la zone d'Azaguié, l'EE a été plus forte en 2018 qu'en 2016. Au niveau du régime d'application de fongicide, il est semblable à celui d'Agboville. En effet, les traitements ne tiennent pas compte de l'évolution de la maladie et de la saison. Cela rend les traitements aux fongicides inefficaces.

L'EE a évolué au cours des années dans les plantations. C'est un élément très important pour un meilleur contrôle de la cercosporiose noire du bananier. Cependant dans certaines plantations il n'est pas utilisé comme cela se devrait. Très souvent les traitements ne tiennent pas compte de l'état d'évolution de la maladie. Cela entraîne généralement dans les plantations une mauvaise utilisation des fongicides. Aussi, les fongicides de contact

(multisites) sont beaucoup plus utilisés et les systémiques rarement utilisés. Pourtant, le respect simple des principes de l'alternance des fongicides avec une utilisation plus importante et surtout diversifiée de fongicides systémiques pourraient permettre de réduire le nombre de traitement.

En fin de compte, les paramètres observés en plantation témoignent de la sévérité ou non de la maladie, mais ne peuvent nous permettre de détecter l'apparition de souches résistantes. C'est pourquoi, il est nécessaire de pouvoir connaître la sensibilité *in-vitro* des souches issues de ces plantations afin de connaître le niveau d'efficacité des fongicides systémiques.

Effet des traitements antifongiques sur la sensibilité des différents isolats de *Mycosphaerella fijiensis*

Au niveau d'Aboisso, les tubes germinatifs des conidies ont été plus longs en 2017 qu'en 2016. Cela pourrait être lié aux précipitations qui ont été plus élevées en 2017 dans la zone d'Aboisso, ainsi le taux d'humidité relative dans les bananeraies s'accroître.

Dans l'ensemble des zones, il y a eu une grande variation de la croissance moyenne des tubes germinatifs au fil des années. Vu que, les conditions environnementales (humidité, température, précipitations, vent et luminosité) influencent beaucoup le développement de la maladie, on pourrait expliquer cette variabilité de la croissance moyenne au fil des années par les variations climatiques que l'on observe ces dernières années. Aussi, cela peut être lié au mode de gestion et d'entretien dans les plantations. Lorsque la gestion est bonne (réduction du taux d'humidité par le désherbage et le drainage, réduction de la quantité d'inoculum par la suppression des parties nécrosées des feuilles), cela permet de réduire la sévérité de la maladie feuilles. De plus, les isolats pourraient provenir de différentes souches de *Mycosphaerella fijiensis*, cela peut aussi expliquer la variabilité des longueurs des tubes germinatifs.

Au niveau des triazoles, en dehors de la plantation Diby à Aboisso, où au cours des trois années (2016, 2017 et 2018), les conidies de *Mycosphaerella fijiensis* n'ont pas été sensibles au difénoconazole, l'efficacité de cette matière active a varié d'une année à une autre et selon les zones et les plantations. Les mêmes analyses réalisées en 2013 dans les zones du Grand Nieké, Grand Fleuve et Banacoméo, ont montré une bonne sensibilité des conidies au difénoconazole (N'guessan *et al.*, 2016). Les pertes d'efficacité observées, ont été restaurées chaque fois, l'année suivante. Quant à l'époxiconazole, sur les trois plantations du groupe EGLIN, les conidies issues d'Azaguié et de Motobé n'ont montré aucune sensibilité à cette matière active au cours des trois années. Il en est de même pour la plantation ELIMA de

SAKJ à Aboisso où le taux d'inhibition est resté le même sur les trois années. Les études de N'guessan *et al.* (2016), ont mis en évidence une perte d'efficacité de l'époxiconazole dans les zones de production du Grand Niéky, Grand Fleuve et Banacomé. Il y a une grande variation de la sensibilité à cette matière active. En ce qui concerne le tébuconazole, les taux d'inhibition ont varié d'une année à l'autre d'une zone à l'autre et d'une plantation à l'autre. Cependant tous les taux d'inhibitions étaient en dessous du seuil de la sensibilité. Cette matière active aurait complètement perdu son efficacité dans toutes les zones de productions.

Il y a une perte de sensibilité du champignon *Mycosphaerella fijiensis* aux triazoles dans l'ensemble mais plus spécifiquement au tébuconazole qui durant ces trois années n'a été efficace sur aucune souche du champignon issue des plantations industrielles. Kobenan *et al.* (2016) ont fait cas d'une perte d'efficacité généralisée des fongicides de la famille de triazoles en Côte d'Ivoire. Quant aux deux autres matières actives (difénoconazole et l'époxiconazole), on a observé des pertes de sensibilité et des restaurations de sensibilité. En effet, la sensibilité perdue peut être restaurée. Le rapport monitoring de 2010 a montré que la perte de sensibilité dans la plantation d'Elima à la campagne précédente a été restaurée en 2010 (Kobenan *et al.*, 2010). Des travaux similaires ont mis en évidence l'efficacité du difénoconazole, contrairement aux propiconazole et à l'époxiconazole (N'guessan, 2017).

A l'exception de deux plantations de SAKJ d'Aboisso (Akressi et Diconne) dont les conidies ont montré une résistance en 2016, le trifloxystrobine s'est montré très efficace au cours de ces trois années (2016, 2017 et 2018) dans l'ensemble des plantations industrielles.

Pour l'azoxystrobine, c'est également au niveau de la plantation Diconne de SAKJ à Aboisso que les conidies ont montré une résistance. Cette perte d'efficacité de la matière active a été restaurée progressivement. Dans les autres plantations, toutes les conidies ont été sensibles à cette matière active.

Les fongicides de la famille des strobilurines ont été très efficaces sur les conidies de *Mycosphaerella fijiensis* au cours des trois années sauf dans deux plantations de SAKJ à Aboisso. Des résultats semblables ont été obtenus lors de la neuvième campagne monitoring cercosporiose où seules les conidies des plantations d'EGLIN à Motobé, Akressi, Diby et Diconne des taux moyens d'inhibition des tubes germinatifs largement inférieurs au seuil de la résistance. Par ailleurs, ces mêmes résultats révèlent que les strobilurines affectent considérablement la germination des conidies (Kobenan *et al.*, 2012). Aussi, des chercheurs ont rapporté l'action anti-germinative des fongicides à base de strobilurines comme le trifloxystrobine (Reuveni et Sheglov, 2002). Les travaux de Kobenan *et al.* (2006) ont montré

que les applications du fongicide trifloxistrobine ont permis d'améliorer l'état végétatif et le rendement des bananiers.

Le représentant de la famille Benzimidazole, le méthyl-thiophanate a été inefficace seulement en 2017 sur les conidies issues de la plantation d'EGLIN à Azaguié avec un taux de germination très élevé puis sur les conidies de la plantation WANITA de Dabou. Ainsi, il est important de continuer à surveiller l'efficacité des benzimidazoles au champ à cause de leur action unisite (Cronshaw et Akers, 1989). Outre ces deux plantations, le méthyl-thiophanate a montré une efficacité remarquable sur les conidies de *Mycosphaerella fijiensis* avec de très faible taux de germination de conidies dans l'ensemble des zones de production. Il faut noter que la perte d'efficacité observée en 2017 dans les plantations EGLIN d'Azaguié et WANITA de Dabou a été restaurée l'année suivante (2018). Ces résultats sont conformes à ceux de la dixième campagne Monitoring selon lesquels les benzimidazoles ont eu un bon niveau d'efficacité sur les conidies excepté celles d'EGLIN MOTOBE (27,4 %) (Kobenan *et al.*, 2013).

Les fongicides ont montré plusieurs niveaux d'efficacité en fonction de leurs familles et des plantations dont sont issues les conidies. Les triazoles ont montré une faible efficacité sur les conidies. Cette famille de fongicide est sans doute la plus utilisée dans les bananeraies. Surtout le tébuconazole qui a complètement perdu son efficacité. Toutes les conidies peu importe leur provenance n'ont pas été sensibles à cette matière active. Quant aux deux autres triazoles elles continuent d'être efficaces dans certaines plantations, et même lorsqu'elles perdent leur efficacité, elle peut être restaurée l'année suivante. Les strobilurines et les benzimidazoles ont montré un bon niveau d'efficacité avec des taux inhibition élevés (strobilurines) et des taux de germination très faibles (benzimidazoles). Ces deux familles de fongicides ne sont pas beaucoup utilisées en plantation industrielle. Cependant, les conidies de certaines plantations ont montré des niveaux de résistance inquiétants, donc il convient d'avoir une attention particulière quant à l'utilisation de ces fongicides. Outre cela, il a été mis en évidence que les pertes d'efficacité observées ont été restaurées et la dernière année, ces fongicides ont été très efficaces.

En effet, les fongicides à cause de la différence au niveau de leur structure moléculaire auraient des modes d'actions différents (Fouré, 1983). Aussi, Koné *et al.* (2008) ont montré que les taux de réduction de la croissance mycélienne des champignons du bananier étaient variables en fonction des matières actives.

Sensibilité *in-vitro* des souches sauvages de *Mycosphaerella fijiensis*

Les conidies de souches sauvages de *M. fijiensis* cultivées sur le milieu gélosé sans fongicide ont eu des longueurs de croissance des tubes germinatifs variées. Cette variation pourrait être associée à la variabilité au sein de l'espèce, mais aussi à la variété de bananier attaquée ou encore, aux facteurs environnementaux. Elle peut être liée à l'environnement où ont eu lieu les prélèvements. De surcroît, la comparaison entre les populations sauvages (non-traitées) et les populations traitées montre que certaines populations locales (de la même zone) peuvent être identiques comme cela se voit dans les zones d'Aboisso ou de Tiassalé-N'douci où les conidies sauvages et non sauvages ont montré des longueurs de croissance moyennes identiques. Ces différences pourraient aussi s'expliquer par la proximité ou non des zones de prélèvement des échantillons sauvages d'avec les plantations traitées.

En ce qui concerne la réaction aux triazoles, les conidies des populations sauvages ont montré un bon niveau de sensibilité à toutes les matières actives de cette famille. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces populations n'aient jamais été exposées à ces matières actives. Les taux d'inhibition de croissance des tubes germinatifs ont varié en fonction des matières actives et des zones de production. Selon, Koné *et al.* (2009) les taux de réduction de la croissance mycélienne des parasites fongiques du bananier étaient variables en fonction des substances actives et des espèces considérées. Aussi, des variabilités de sensibilité aux triazoles ont été observées dans différentes plantations industrielles au Cameroun (Onautshu, 2013). La matière active difénoconazole s'est révélée plus efficace que les deux autres triazoles ; des résultats similaires ont été obtenus par N'guessan *et al.* (2016). Par contre, la matière active tébuconazole a été moins efficace. Des études ont montré que les différences de sensibilité des souches de *M. fijiensis* pourraient s'expliquer par des différences d'activités intrinsèques des principes actifs (Gisi *et al.*, 2000). La comparaison de la réaction des conidies « sauvages » et des conidies issues des plantations régulièrement traitées a montré que les taux d'inhibition sont plus élevés chez les conidies « sauvages » ; sauf la matière active difénoconazole dans la zone d'Azaguié. L'utilisation récurrente des fongicides sans alternance des matières actives, pourrait réduire la sensibilité des conidies à ses fongicides. Les travaux de N'guessan *et al.* (2016), ont montré que la variabilité de la sensibilité des souches de *M. fijiensis* testée aux différentes matières actives semble être en relation avec le nombre de traitements effectués avec ces matières dans leurs plantations d'origine. Aussi, la pression de sélection exercée par les traitements fongicides pourrait entraîner une diminution graduelle de la sensibilité des populations (Wolfe, 1982 ; Parisi *et al.*, 1991).

Les tests aux Benzimidazoles et aux Strobilurines comportaient un témoin sans fongicide dont les taux déformation des conidies se sont révélés nuls, des taux germination compris entre 44 % pour la zone de Bonoua et 99 % pour les essais de Corne et Big Ebenga d'Anguédédou. En ce qui concerne les taux de non germination, ils varient de 1 % pour l'essai de Corne d'Anguédédou à 56 % pour la zone de Bonoua. L'absence de déformation s'expliquerait par le fait que les conidies n'aient pas été en contact avec des fongicides qui sont à l'origine de la déformation.

Le taux faible de germination au méthyl-thiophanate des conidies sauvages pourrait s'expliquer par le mode d'action de cette matière active qui entraîne une déformation ou une absence de germination des conidies. Cependant, quelques rares germinations ont été observées, qui seraient liées à l'existence de populations non sensibles à cette matière active qui pourraient éventuellement proliférer avec une utilisation répétée de cette matière active dans ces zones sans alterner avec d'autres familles de fongicides. La comparaison des réactions des conidies sauvages et des conidies issues des zones régulièrement soumises aux traitements fongicides a montré que les taux de germination normale très faibles des deux côtés. Les fongicides de la famille des Benzimidazoles ont une efficacité *in-vitro* très remarquable sur la germination des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* dans toutes les zones de prélèvement. La sensibilité de ce champignon à ce fongicide (méthyl-thiophanate) serait due au fait que cette famille (Benzimidazoles) serait rarement utilisée dans la majorité des plantations étudiées (Joseph *et al.*, 2020). Cependant au niveau des plantations industrielles précisément à Eglin Agboville le taux de germination normale est supérieur au seuil de la résistance pour les benzimidazoles. Cette matière active aurait perdu son efficacité ce qui serait liée à une utilisation constante de cette matière active dans ladite plantation.

Pour l'azoxystrobine, les taux de germination normale des conidies sauvages ont varié entre 0 % et 20 %, donc les conidies sauvages sont sensibles à cette matière active. Cependant, il a été observé des taux de 16 % pour les conidies prélevées sur les feuilles de 3 Vert, 17 % pour les conidies de corne et 20 % pour les conidies prélevées sur le French Sombre d'Anguédédou qui seraient dus à la présence de souches résistantes dans ces populations sauvages de conidies. Dans toutes les zones le constat est que les taux de germination normale des conidies sauvages et non sauvages sont faibles à l'exception de certains échantillons dont les taux de germination n'excèdent pas le seuil de la résistance. En effet, tout comme l'azoxystrobine, le trifloxystrobine (deux strobilurines), un inhibiteur de la respiration s'est montré efficace sur la croissance radiale comparativement aux triazoles

(Koné *et al.*, 2009). Cependant, il faut une attention particulière car des pertes d'efficacité pourraient naître si l'utilisation de ces matières actives n'est pas suivie dans ces zones.

Effet de l'interaction hôte-pathogène sur les paramètres phytopathologiques de la maladie des raies noires et les caractéristiques des conidies de l'agent pathogène

Les mesures ont concernées spécifiquement les paramètres phytopathologiques de la cercosporiose noire et les caractéristiques de l'agent pathogène. En effet selon Tuo *et al* (2015), huit mois après la plantation, les paramètres agronomiques n'ont pas présenté de différence, par contre, les paramètres phytopathologiques de la cercosporiose noire ont montré des incidences différentes. Selon eux, ce comportement presque identique entre les bananiers d'un prototype à l'autre et aussi avec les témoins pourrait s'expliquer par l'apport adéquat et homogène de fertilisants organique et minéral sur l'ensemble des parcelles expérimentales. D'autres auteurs ont rapporté que la résistance des bananiers aux bioagressions (cercosporiose noire) n'est pas le seul fait des caractères génétiques des différentes variétés (Noupadja *et al.*, 2007).

Les rangs de plus jeune feuille atteinte (PJFA) par la maladie des raies noires ont varié en fonction des variétés de bananier. La variété qui a eu la PJFA la plus élevée est SH 3640, la variété 3 Vert également a eu une PJFA élevée. Tandis que FHIA 21 est la variété qui la PJFA le plus petite. Pourtant FHIA 21 est reconnu comme variété tolérante à la cercosporiose. Ces résultats sont contraires à ceux réalisés par des chercheurs qui a mis en évidence une bonne résistance à la juglone de FHIA 23 et PITA 14 contrairement aux autres cultivars tels que Figue sucré, Grande naine, Orishele et Poyo (Amari *et al.*, 2008). En effet cette précocité des attaques de la maladie peut être liée à l'abondance d'inoculum dans les essais vu qu'il n'y a pas eu de traitement antifongique. Aussi, toutes les variétés ont été plantées dans une même parcelle et cela peut faciliter la propagation de la maladie. Cela pourrait être expliqué aussi par les précipitations pluviales et les vents qui ont permis la dispersion de l'inoculum.

Au niveau du rang de la plus jeune feuille nécrosée (PJFN) également il y a une variation en fonction des variétés de bananier. En effet, les travaux de Tuo *et al* (2015) ont montré que les paramètres phytopathologiques pour lesquels les traitements ont montré des comportements variables significatifs, figure la plus jeune feuille nécrosée (PJFN) qui constitue un bon discriminant de la résistance des bananiers à la cercosporiose noire. Pour ce paramètre aussi, c'est la variété SH 3640 qui a eu le rang le plus élevé. Ici encore la variété FHIA 21 fait partie avec les variétés SACI, French sombre et Bana dishye des variétés ayant les plus faible PJFN. Ce développement rapide de la maladie sur une variété telle que FHIA

21 considérée comme tolérante à la maladie des raies noires mérite une attention particulière. Cependant, cela peut avoir un rapport avec les conditions environnementales qui auraient favorisé ce développement de la maladie. Aussi, le fait que toutes les variétés soient sur la même parcelle pourrait permettre des transferts de souche d'une variété à un autre surtout les variétés les plus proches.

La diversité au niveau de la taille des conidies a permis de classer les variétés de bananiers en cinq groupes. A ce niveau, c'est encore SH 3640 qui porte les conidies les plus grandes et il est seul dans son groupe. La variété Big Ebenga porte les conidies de grandes tailles mais moins grande que celle de SH 3640. Les variétés SACI et Bana dishye qui appartiennent au même groupe ont des conidies dont la taille moyenne est proche de celles de Big Ebenga. Quant à la variété BITA elle a eu les conidies de taille moyenne. En ce qui concerne FHIA 21 ces conidies sont celles qui ont les plus petites tailles. Ainsi, la taille moyenne des conidies serait différente d'une variété de bananier à une autre. Elle pourrait être liée à la tolérance ou à la sensibilité des variétés.

En fonction du nombre de conidies les variétés ont été classées en quatre groupes. Les nombres moyens de conidies par variété étaient compris entre 34,3 et 2,5 conidies. Le premier groupe est celui des variétés dont les feuilles portent beaucoup de conidies. Ce sont 3 Vert et Big Ebenga. La variété French Sombre porte un peu moins de conidies que les deux premières. Par contre, la variété SH 3640 porte peu de conidies tout comme Bana dishye qui appartient au même groupe que les variétés FHIA 21 et BITA 3 qui portent très peu de conidies. En effet, ces deux dernières variétés sont considérées comme tolérantes à la MRN. Le nombre de conidies présents sur les feuilles des différentes variétés de bananier permet de savoir laquelle de ces variétés de bananiers porte plus d'inoculum.

Comportement de l'agent pathogène de la maladie des raies noires sur différentes variétés de bananiers

L'étude des paramètres phytopathologiques de la maladie des raies noires et des caractéristiques des conidies du champignon *Mycosphaerella fijiensis* sur les différentes variétés de bananier a révélé quatre groupes de variétés de bananiers. Selon, Tuo *et al* (2015) des différences significatives ont pu être observées dans le comportement des bananiers suivant les différents descripteurs phytopathologiques de la maladie des raies noires pendant la phase végétative chez le cultivar "Orishele" en association avec d'autres cultivars moins sensibles (tolérants). Les variétés 3 Vert et Big Ebenga paraissent les plus sensibles car elles portaient les plus grands nombres de conidies, et aussi les conidies les plus grandes.

L'inoculum primaire est abondant pour ces variétés. Au niveau des paramètres de la maladie, les PJFA étaient élevées quand les PJFN étaient moyennes. Pour les variétés French Sombre et SACI, le nombre de conidies était un peu élevé, la taille des conidies aussi était grande tandis que les paramètres de la maladie tels que la PJFA et PJFN étaient moyens. Ces variétés sont aussi sensibles car avec elles, l'inoculum est abondant ainsi leur influence sur les paramètres de la maladie et la quantité de conidie est très faible. Les variétés BITA 3, FHIA 21 et Bana dishye sont celles qui ont produit moins de conidies et de petites tailles, donc moins d'inoculum. Cependant, les PJFA et PJFN ne sont pas élevées et cela suscite des interrogations surtout à cause de la PJFN. Car la PJFA faible pourrait s'expliquer par l'abondance d'inoculum dans l'essai, par contre la PJFN faible voudrait dire que la maladie s'est développée rapidement. La variété SH 3640 est celle qui à travers les paramètres de la maladie observés et les caractéristiques des conidies a montré une bonne cohérence. En effet, la PJFA et la PJFN pour cette variété étaient les plus élevées, les conidies étaient de grande taille, par contre le nombre moyen de conidies obtenu pour cette variété n'était élevé. Ainsi, il ressort que cette variété a beaucoup influencé les paramètres de la maladie et la quantité d'inoculum. Les travaux de Ndoutoume-Ndong (2007) chez l'hévéa, ont montré que la présence sur les mêmes parcelles de clones sensibles et moins sensibles dans des proportions à peu près équivalentes empêche la propagation de l'antracnose due à *Colletotrichum gloeosporioides*. Par contre, les travaux de Vallavieille-Pope *et al.*, (2004), ont montré qu'il existe deux possibilités pour cultiver plusieurs variétés ayant des gènes de résistance différents : soit sur des parcelles adjacentes en mosaïque, soit sur une même parcelle. Et que c'est l'association dans une même parcelle qui est la plus efficace pour freiner les épidémies. L'association variétale permet de créer une résistance collective en associant des résistances complémentaires.

En ce qui concerne la germination des conidies sur milieu sans fongicide, les taux sont très élevés. Cependant, les taux sont variables d'une variété de bananier à l'autre. Au niveau du taux de germination au méthyl-thiophanate par contre, il n'apparaît aucune différence significative entre les variétés. Il en est de même pour l'azoxystrobine ou il n'y avait pas de différence significative entre les variétés de bananiers.

Dans l'ensemble, tous les isolats de *M. fijiensis* ont été sensibles à toutes les familles de fongicides utilisées. Aussi, les conidies issues du bananier dessert ont eu la longueur moyenne la plus faible sur milieu sans fongicide et généralement des taux d'inhibitions de la croissance des conidies les plus bas. Par contre, c'est tout à fait le contraire pour la variété SH 3640.

En somme à travers ces résultats, il n'est pas possible de lier les différences de taux observées à la sensibilité des variétés de bananiers à la Maladie des Raies Noires.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE

Notre travail qui a consisté à étudier la sensibilité aux fongicides des isolats de *Mycosphaerella fijiensis* a été menée en trois phases. La première phase a concerné les plantations industrielles dans lesquelles les observations ont été faites, les données ont été recueillies et les échantillons ont été prélevés pour les tests de sensibilité aux fongicides. En plantations, il a été question d'évaluer les effets des facteurs environnementaux et du niveau d'entretien des bananeraies sur l'évolution de la maladie. Il ressort qu'il y a une maîtrise du contrôle de l'enherbement et le curage des drains. Par contre, au niveau de la suppression des parties nécrosées des feuilles, elle est suivie mais parfois mal exécutée dans la majorité des plantations. Tout ceci a permis de réduire la progression de la maladie dans les plantations. La pluviométrie, compte tenu des variations climatiques ces dernières années, a beaucoup varié. Ces variations pourraient être les causes des développements rapides des symptômes de la maladie qui ont été observés. Concernant le mode d'utilisation des fongicides, il a été observé une non maîtrise de la méthode d'alternance des fongicides. Les analyses *in-vitro* nous ont révélées des pertes d'efficacité de certains fongicides, principalement les triazoles dont la matière active tébuconazole aurait perdu son efficacité sur tous les isolats de *Mycosphaerella fijiensis* des plantations industrielles depuis 2016. Quant à l'époxiconazole et au difénoconazole, des pertes d'efficacité ont été constatées au cours des trois années, mais il y a eu par la suite des restaurations de la sensibilité à ces fongicides. Cela a été un peu rassurant car il ne sera pas question d'abandonner toutes les triazoles, mais d'avoir une gestion plus minutieuse par rapport à ces deux matières actives. Pour les strobilurines et les benzimidazoles il y a eu des rares pertes d'efficacité mais qui ont été rapidement restaurées l'année suivante. Dans la suite de cette partie de notre étude, la sensibilité des isolats sauvages (hors des plantations industrielles) de *Mycosphaerella fijiensis* a été également testée. Il a été constaté que les souches testées ont été toutes sensibles à toutes les familles de fongicides. Il faut donc retenir que la qualité des fongicides ne serait pas la cause des résistances observer. Ainsi, ces résistances aux fongicides pourraient être liées à la présence de souche résistantes qui auraient proliféré avec la mauvaise utilisation des fongicides par les équipes phytosanitaires. Enfin, la dernière phase a consisté à étudier l'influence de la variété du bananier sur le comportement de l'agent pathogène de la cercosporiose noire du bananier. Les résultats ont montré qu'une variété s'est distinguée des autres avec les PJFA et PJFN élevées, moins de conidies avec de grandes tailles sur les feuilles. Il s'agit de la variété SH 3640 en plus de cette variété, il y a eu les variétés FHIA 21, BITA 3 et Bana dishye qui se sont bien comportées avec une présence très réduite de conidies sur les feuilles. Cependant, il n'y a pas

eu de rapport évident entre les variétés de bananier et la sensibilité au fongicides des isolats de *M. fijiensis* qui les attaquent.

Récommandations

Au terme de cette étude, et sur la base des résultats les recommandation suivantes ont été formulées :

- ❖ A l'Etat il est demander de suspendre l'utilisation du tébuconazole pendant au moins une année ;
- ❖ D'introduire les bio-fongicides dans les programmes de lutte contre la cercosporiose dans les plantations industrielles ;
- ❖ Aux bayeurs il est demandé de reconduire le monitoring cercosporiose, dans l'ensemble des bananeraies industrielles du pays;
- ❖ Au CNRA il est demandé de poursuivre la formation des équipes phytosanitaires sur la bonne pratique de suppression des parties nécrosées des feuilles et surtout sur l'alternance des fongicides ;
- ❖ Et de sensibiliser les producteurs sur la réduction de l'utilisation des fongicides de contact surtout en période pluvieuse

PERSPECTIVES D'ETUDES

Au vu des résultats de cette étude, et sur la base des conclusions, beaucoup reste à faire.

Il va s'agir principalement de :

- Caractériser toutes les populations de *Mycosphaerella fijiensis* des bananeraies ivoiriennes et étudier leur pathogénocité ;
- Etudier la sensibilité *in-vitro* des nouvelles familles de fongicides utilisés dans la lutte contre la maladie des raies noires ;
- Etudier l'impact du climat sur l'épidémie de la cercosporiose noire du bananier et créer un model de prévision.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abadie C., Bakry F., Carlier J., Caruana M. L., Côte F. X., Ganry J. & Sarah J. L. (2003). Dossier du mois bananes for ever : la banane et le concept d'agriculture raisonnée. *Fruitrop* (Ed. Française) (99) : 3-4.
- Aby N., Kobenan K., Kéhé M., Gnonhouri P., Kone D. & Zouzou M. (2010). *Metarhizium anisopliae* : Parasite du charançon noir du bananier *Cosmopolites sordidus* dans les bananeraies Ivoiriennes. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 7 (1): 729-41.
- Adiko A. (1988). Plant-parasitic nematodes associated with plantain, *Musa paradisiaca* (AAB), in the Ivory Coast. *Revue de nématologie*, 11 (1): 109-113.
- Agrios. (2005). «Banana leaf spot or Sigatoka disease» In *Plant Pathology*, Elsevier, 5th Edition. Pp 459-460.
- Amari L. D. G. E, Kone D., Dick E., Traore S., Kobenan K & Anno A. P., (2008). Etude comparée de paramètres photosynthétiques chez différentes variétés de bananiers après infiltration de la juglone, un métabolite toxique de *Mycosphaerella fijiensis*, agent causal de la cercosporiose noire. *Journal of Applied Biosciences* 10 (2): 523-531.
- Amil A. F., Heaney S. P., Stanger C. & Shaw M. W. (2007). Dynamics of QoI sensitivity in *Mycosphaerella fijiensis* in Costa Rica during 2000 to 2003. *Phytopathology*, 97 (11) : 1451-1457.
- Amon D. E. A., Soro D. & Traoré D. (2015). Evaluation de l'infestation des lorenthaceae de la région du Sud-comoé (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (4): 1822-1834.
- Anno A. P. (1981). Etude des caractéristiques de croissance, en relation avec la floraison, de *Musa corniculata* L. Thèse de doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Université de Côte d'Ivoire, n°62, Abidjan, Côte d'Ivoire, 207 p.
- Anonyme (2021 a). Filière banane dessert : La Côte d'Ivoire entend consolider sa place de 1er producteur africain © Fraternité Matin 2021 – SNPECI. salifou.dabou@fratmat.info. <https://www.fratmat.info/article/82749/%C3%89conomie/filiere-banane-dessert-la-cote-divoire-entend-consolider-sa-place-de-1er-producteur-africain> consulté le 05/03/2021.
- Anonyme (2021 b). Liste des pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire au 31 Août 2021 Direction de la protection des végétaux, du contrôle et de la qualité Ministère De L'agriculture - République De Côte D'Ivoire, pp. 1-136.
- Araya M., De Waele D. & Vargas R. (2002). Occurrence and population densities of nematode parasites of banana (*Musa* AAA) roots in Costa Rica. *Nematropica*, 32 :21-33.

Références bibliographiques

- Arias P., Dankers C., Liu P. & Pilkauskas P. (2003). L'économie mondiale de la banane 1985-2002 Rome : FAO Press. 102 p.
- Bacon C. W. & Hinton D. M. (2002). Endophytic and biological control potential of *Bacillus mojavensis* and related species. *Biological control*, 23 : 274-284.
- Bakry D., Milhaud X. & Vandekerckhove P. (1997). Statistique de chaînes de Markov cachées à espace d'états fini. Le cas non stationnaire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series I-Mathematics*, 325 (2) : 203-206.
- Bartlett D. W., Clough J. M., Godwin J. R., Hall A. A., Hamer M. & Parr-obrzenski B. (2002). Review the strobilurin fungicides. *Pest management science* 58 : 649-662
- Beveraggi A. (1992). Etude des interactions hôte-parasite chez des bananiers sensibles et résistants inoculés par *Cercospora fijiensis* responsable de la maladie des raies noires. *Université de Montpellier, Montpellier, France*. 125 p.
- Brent K. J., Hollomon D. W. (1995) Résistance aux fongicides chez les agents pathogènes des cultures : comment la gérer. FRAC *Monograph* No. 1 (deuxième édition révisée). Comité d'action contre la résistance aux fongicides. Mongr. 1 GCPF, FRAC, Bruxelles, p 1-48
- Brent KJ, Hollomon DW (1998) Résistance aux fongicides : l'évaluation des risques. *Monographie* FRAC Nr. 2. GCPF, Bruxelles, p 1-28
- Brogliè K., Chet I., Holliday M., Cressman R., Biddle R., Knowlton S., Mauvais C. J. & Brogliè R. (1991). Transgenic plants with enhanced resistance to the fungal pathogen *Rhizoctonia solani*. *Science*, 254:1194-1197.
- Brun J. L. (1963). Cercosporiose du bananier in Guinée : étude de la phase Ascorporée du *Mycosphaerella musicola* Leach. 1963. 16 (Doctoral dissertation, Tese (Doctor em Science) -IFAC, Paris, (Série A. Orsay, 35). 196 p.
- Buyckx E. J. E. (1963). Précis de maladies et insectes nuisibles rencontrés sur les plantes cultivées au Congo, au Rwanda et au Burundi. I.N.E.A.C. Bruxelles. *Hors série*. 708p.
- CABI U. K. (2007). CPC-crop protection compendium. (Consulté le .13 mars 2018) bananiers plantain : critères et méthodes. *Guides techniques*, INIBAP, 77p.
- Camara B. (2011). Caractérisation des parasites fongiques foliaires et telluriques en Côte d'Ivoire chez les bananiers (*Musa* sp.) et recherche de méthodes de lutte. Thèse de Doctorat Unique. Laboratoire de Physiologie Végétale, UFR biosciences, Université de Cocody-Abidjan. 219p

Références bibliographiques

- Cañas-Gutiérrez G. P., Patiño L. F., Rodríguez–Arango E. & Arango R. (2006). Molecular characterization of benomyl-resistant isolates of *Mycosphaerella fijiensis*, collected in Colombia. *Journal of Phytopathology*, 154(7-8): 403-409.
- Carlier J., Zapater M-F., Lapeyre F., Jones D. R. & Mourichon X. (2000). Septoria leaf spot of banana: a newly discovered disease caused by *Mycosphaerella eumusae* (anamorph *Septoria eumusae*). *Phytopathology* 90 (7) : 884-890.
- Carlier, J., De Waele, D., & Escalant, J. V. (2003). Evaluation globale de la résistance des bananiers à la fusariose, aux maladies foliaires causées par les *Mycosphaerella* spp. et aux nématodes (Vol. 6). *Bioversity International. Guides techniques INIBAP 7*. Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain, Montpellier, France. 62p.
- Carlier J. (2004). Structure génétique de la population et dispersion de *Mycosphaerella fijiensis*. *La revue internationale sur la banane et le plantain*, 13 : 17-20.
- Chakrabarti A., Ganapathi T.R., Mukherjee P.K. & Bapat. V.A., (2003). Le MSI-99, un analogue de la magainine, confère une résistance accrue aux maladies dans le tabac transgénique et la banane. *Planta*, 216 (4) : 587-596.
- Champion J. (1963). Le bananier. *Editions G.P Maisonneuve et Larousse*. Paris. 262 p.
- Champion J. (1982). Plants de bananier [généralités]. Réf., Résumés (Fr, En). "*Médecine-et-Nutrition* (France). 18 (2) : 97-98.
- Churchill A. C. (2011). *Mycosphaerella fijiensis*, le pathogène des stries noires du bananier : progrès vers la compréhension de la biologie et de la détection des pathogènes, du développement de la maladie et des défis de la lutte. *Pathologie moléculaire des plantes*, 12 (4) : 307-328.
- CIES. (2017). Renforcement de l'alimentation en eau potable dans les centres urbains de Tiassalé (N'douci, N'zianouan et Sikensis). Rapport final, Creditida N0 5921-CI. 166p.
- CIRAD-GRET, (2002). Mémento d'agronomie, centre de coopération international en recherche et échange technologique (GRET), imprimé en France Jouve, 11Bd de Sébastopol, dépôt légal Décembre 2002, 191p
- CIRAD : Morales Romero, L., Rengifo, D., Pérez Vicente, L., Dávila Martínez, A., Espinosa, A., Folgueras Montiel, M. & Abadie C. (2016). Resistance performance of new bananas hybrids and impact of fertilization effect on Black leaf streak disease severity. *Ecological Modelling* 1 p.
- CIRAD: Teycheney P. Y., & Lescot T. (2006). Viral diseases of banana and plantain. 44 p.

- Corlett M. (1995). An annotated list of the published names in *Mycosphaerella* and *Spaerella*: corrections and additions. *Mycotaxon*, 53 : 37-56.
- Côte F. X., Domergue R., Monmarson S., Schwendiman J., Teisson C. & Escalant J. V. (1996). Suspensions de cellules embryogènes de la fleur mâle de Musa AAA cv. Grande naine. *Physiologia Plantarum*, 97 (2): 285-290.
- Cronshaw D. K. & Akers A., 1989. Mode of action of tridemorph and sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis*. In Fullerton; R.A. et Stover; R. H. Sigatoka leaf spot diseases of Bananas, proceedings of an international workshop, San José, Costa Rica, 28 Mars – 1 Avril 1989. Cost Rica. pp. 66-74.
- Crous P.W., Aptroot A., Kang J. C., Braun U. & Wingfield M. J. (2000). Le genre *Mycosphaerella* et ses anamorphes. *Études en mycologie*, 45 : 107-121.
- Crous P. W. & Mourichon X. (2002). *Mycosphaerella eumusae* et son anamorphe *Pseudocercospora eumusae* spp. Nov : agent causal de la maladie des taches foliaires eumusae du bananier. *SYDOWIA-HORN*, 54 (1): 23-34.
- Crous P. W., Groenewald J. Z., Aptroot A., Braun U., Mourichon X. & Carlier J. (2003). Integrating morphological and molecular data sets on *Mycosphaerella*, with specific reference to species occurring on *Musa*. In: *Mycosphaerella* Leaf Spot Diseases of Bananas: Present Status and Outlook. Proceedings of the Workshop on *Mycosphaerella* Leaf Spot Diseases, San José, Costa Rica, 20–23 May 2002, pp. 43–57.
- Crous P. W. (2009). Taxonomie et phylogénie du genre *Mycosphaerella* et ses anamorphes. *Plongeurs fongiques*, 38: 1 – 24.
- Crous P. W., Summerell B. A., Carnegie A. J., Wingfield M. J. & Groenewald J. Z. (2009). Nouvelles espèces de *Mycosphaerellaceae* et *Teratosphaeriaceae*. *Persoonia*, 23, 119.
- Crous, P. W., Schoch, C. L., Hyde, K. D., Wood, A. R., Gueidan, C., De Hoog, G. S., & Groenewald, J. Z. (2009). Phylogenetic lineages in the Capnodiales. *Studies in mycology*, 64 (1): 17-47.
- Dadzie B. K. & Orchard J. E. (1997). Evaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bananiers plantain : critères et méthodes. Guides techniques, INIBAP, 77p.
- Daniells J. W. (2009). Lutte contre le flétrissement du bananier - qu'offrent les cultivars résistants ? In V Symposium international sur la banane : ISHS-ProMusa Symposium on *Global Perspectives on Asian Challenges* 897. pp. 403-411.

- David J. C. (1988). CMI descriptions of pathogenic fungi and bacteria: *Cladosporium musae*. *Mycopathologia*, 103(2), 119-120.
- De Lapeyre de Bellaire, L. (1999). Bio-écologie de *Colletotrichum musae* (Berk. & Curt.) Arx, agent de l'antracnose des bananes, dans les conditions tropicales humides de la Guadeloupe. Thèse de Doctorat, Université de Paris XI, Orsay, France, 100 pp.
- De Lapeyre de Bellaire, L., Ngando, E.J., Abadie, C., Carlier, J., Lescot, T., Fouré, E., (2006). Management of black sigatoka in Cameroon. In: E. Soprano, F.A. Tcacenco, L.A. Lichtemberg and M.C. Silva, eds. *Banana: A sustainable business*. Proceeding of the XVII meeting of ACORBAT held at Joinville – Santa Catarina, Brasil, from 15 to 20 october 2006. 2 : 122-132.
- De Lapeyere De Bellaire L., Fouré E., Abadie C. & Carlier J. (2010). La maladie des raies noires est un défi pour l'industrie de la banane. *Fruits*, 65 (6), 327-342.
- De Langhe E. (1969). Bananes, *Musa* spp. Dans : FP Ferwerda & F. Wit (Eds). *Aperçus de la reproduction des cultures pérennes sous les tropiques*. Wageningen, Pays-Bas, Landbouwhoge school. pp. 53-78.
- Deighton, F. C. (1976). Studies on *Cercospora* and allied genera VI. *Pseudocercospora* Speg. *Pantospora* Cif. and *Cercoseptoria* Petr. *Mycological Papers. Pap. Commonw. Mycological. Institue.*, 140, 1-168.
- Deighton, F. C. 1979: Studies on *Cercospora* and allied genera. VII. New species and redispositions. *Mycological Papers* 144: 1–56.
- Delvaux B. (1995). Bananas and Plantains. Soils. In. S. Gowen, eds., *publ. Chapman and Hall*, London. pp. 230-257.
- Dhed'a D., Moango M. & Swennen R. (2011). La culture des bananiers et bananiers plantains en République Démocratique du Congo, Support didactique, Saint Paul, Kinshasa, 85p.
- D'hont A., Denoeud F., Aury J. M., Baurens F. C., Carreel F., Garsmeur O. & Wincker, P. (2012). Le génome du bananier (*Musa acuminata*) et l'évolution des plantes monocotylédones. *Nature*, 488 (7410): 213-217.
- Diekman M. & Putter C. A. J. (1996). FAO/IPGRI Technical Guidelines for the Safe Movement of Germplasm No: 16 Stone Fruits. Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Romel International Plant Genetic Resource*, Institue, pp 81-82.
- Dordas C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28 (1): 33-46.

- Eden-Green, S. J. (1994). Characteristics of *Pseudomonas solanacearum* and related bacteria from banana and plantain in South East Asia. *COLLOQUES-INRA*, pp 51-51.
- El Hadrami A. (2000). Caractérisation de la résistance partielle des bananiers à la maladie des raies noires et évaluation de la variabilité de l'agressivité de l'agent causal, *Mycosphaerella fijiensis* Doctoral dissertation, Thèse d'Université. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 153pp.
- Essis B., Kobenan K., Traoré S., Koné D. & Yatty J (2010). Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* to fungicides commonly used in the Ivorian banana. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 7 (2): 822-833.
- Essis, B., Kobenan, K., Traoré, S., Yatty, J., Koné, D., Aby, N., & 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*, (3) : 12.
- Essis B. S., Brice D. K. E., Siaka, T., Michel, K. A., Kouman, K., & Daouda, K. (2020). Etat Phytosanitaire Dans Les Plantations Industrielles De Bananiers Dans La Lutte Contre La Cercosporiose Noire En Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal* April 2020 edition Vol.16, No.12 : 1857-7881.
- Essoh N. J., De Lapeyre D. B. L. & Fouré E. (2006). La lutte chimique raisonnée contre la maladie des raies noires des bananiers au Cameroun : évolution de la résistance aux fongicides. In : Huitième Conférence internationale sur les maladies des plantes = Eighth International Conference on Plant Diseases. AFPP. Conférence internationale sur les maladies des plantes. 8, Tours, France, 5 Décembre 2006/6 Décembre 2006. . Paris : AFPP, pp 633-642
- Essoh N. O. J. (2014). Sélection et évolution de la résistance aux fongicides systémiques chez *Mycosphaerella fijiensis* agent causal de la maladie des raies noires des bananiers. Thèse de doctorat : Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydrosociences et environnement (SIBAGHE) : Montpellier SupAgro Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier : Montpellier *SupAgro*, 143 p
- Etebu E., Pasberg-Gauhl C., Gauhl F. & Daniel-Kalio L. A. (2005). *Mycosphaerella* culture Effet de la lumière et le modèle d'étanchéité sur la sporulation et la croissance de *Mycosphaerella fijiensis*. *InfoMusa*, p 24.

- Fahleson J., Nakyanzi M., Okori P., Seal S., Kenyon L. & Dixelius C. (2009). Analyse génétique de *Mycosphaerella fijiensis* dans la région ougandaise du lac Victoria. *Pathologie végétale*, 58 (5) : 888-897.
- FAO (2020). Bananes. Compendium statistique 2019. Rome, 26 p.
- FAOSTAT (2020). Base de données de production de bananes et de plantains de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentations et l'Agriculture 2019, [FAOSTAT](#) consulté le 04/03/2021.
- Feakin S. D. (1971). Lutte contre les ravageurs du bananier. Centre de recherche des ravageurs d'outre-mer. PANS Man. I (Rev. 1972). London: PANS, 128 p.
- Fouré E. & Manser P. D. (1982). Note sur l'apparition au Gabon d'une grave maladie virale des bananiers et plantains : le bunchy top. *Fruits*, 37 (6) : 409-414.
- Fouré E. (1982). Les Cercosporioses du bananier et leurs traitements comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et plantain a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Gabon. Fruits report of black Sigatoka disease form Trinidadl. *Fruits*, 40 (6): 393-399.
- Fouré E. (1983). Les Cercosporioses du bananier et leurs traitements. Sélection de molécules fongicides nouvelles. Activités comparées de différentes molécules fongicides sur *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agent de la "Maladie des raies noires" des bananiers et plantains au Gabon. *Fruits*, 38 (1) : 21-34.
- Fouré, E., Grisoni, M., & Zurfluh, R. (1984). Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet et de quelques caractéristiques biologiques de la maladie des raies noires au Gabon. *Fruits*, 39 (6) : 365-378.
- Fouré E. (1985). Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Gabon (maladies des raies noires). *Fruits*, 40 (6): 393-399.
- Fouré E. & Péfoura A. M. (1988). Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Efficacité comparée de différentes molécules fongicides sur *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agent de la maladie des raies noires des bananiers et plantains au Cameroun (II). *Fruits*, 43 (2) : 67-72.
- Fouré E. & Moreau A. (1992). Contribution à l'étude épidémiologique de la strie des feuilles noires dans la zone de culture de la banane moungo au Cameroun de 1987 à 1989. *Fruits (Paris)*, 47 (1): 3-16.

- Fouré, E. (1994). Leaf spot diseases of banana and plantain caused by *Mycosphaerella musicola* and *M. fijiensis*. The improvement and testing of Musa: a global partnership, 37p.
- Frison E & Sharrock S. L. (1998) L'importance économique, sociale et nutritionnelle de la banane dans le monde. Dans : Picq C, Foure E, Frison EA (eds) Bananes et sécurité alimentaire. Proc Intl Symp, Douala, Cameroun, 10-14 novembre 1998, INIBAP, Montpellier, France, pp 21-35
- Frison E. A. & Sharrock S. L. (1999). L'importance économique, nutritionnelle et sociale de la banane dans le monde. Dans Banane et sécurité alimentaire. Actes du Symposium international sur la banane et la sécurité alimentaire, Douala, Cameroun. pp. 221-35.
- Frossard P. (1963). Une cladosporiose du bananier en Côte d'Ivoire. *Fruits*, 18 (10): 443-453.
- Fullerton R. A. (1994). Sigatoka leaf diseases. In: *Compendium of Tropical Fruit Diseases*. Ploetz, R.C. et al. (Editors). The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, pp. 12-14.
- Fullerton R. A. & Olsen T. L. (1995). Pathogenic variability in *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, cause of black Sigatoka in banana and plantain. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 23 (1): 39-48.
- Ganry J. & Laville E. (1983). Cercospora diseases of banana and their treatments. Evolution of methods of treatment. 1. Fungicide treatments. 2. Forecasting. *Fruits*, 38 (1): 3-20.
- Ganry J. (2010). Black leaf streak disease in Martinique. *Fruits*, 65 (6): 325-325.
- Ganry J., Fouré E., De Iapeyre de Bellaire L. & Lescot T. (2012). An integrated approach to control the black leaf streak disease (BLSD) of bananas, while reducing fungicide use and environmental impact. In, D Dhanasekaran, N Thajuddin, a Panneer selvam *Fungicides for Piani and Animal Diseases*, pp 193-226.
- Gasparotto, L., Pereira, JCR, Urben, AF, Hanada, RE & Pereira, MC (2005). Heliconia psittacorum : hospedeira de *Mycosphaerella fijiensis*, agent causal de Sigatoka-negra de bananeira. *Fitopatologia Brasileira*, 30 : 423-425.
- Gauhl F. (1994). Épidémiologie et écologie de la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) sur plantain et bananier (*Musa* spp.) au Costa Rica, Amérique centrale, Göttingen Univ., PhD thesis, Göttingen, 120 p.
- Gisi U., Chin K. M., Knapova G., Färber R. K., Mohr U., Parisi S. & Steinfeld U. (2000). Développements récents dans l'élucidation des modes de résistance aux fongicides phénylamide, DMI et strobilurine. *Protection des cultures*, 19 (8-10) : 863-872.

- Gold C. S. & Messiaen S. (2000). Le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*. Parasites et ravageurs de *Musa*. *Infomusa*, 6 (2) : 19-21.
- Gowen S. & Quénehervé P. (1990). Nematode parasites of bananas, plantains and abaca. Plant parasitic nematodes *in subtropical and tropical agriculture*, pp 431-460.
- Halkett F., Coste D., Rivas Platero G. G., Zapater M. F., Abadie C. & Carlier J. (2010). Discontinuités et déséquilibres génétiques dans les populations récemment établies du champignon phytopathogène *Mycosphaerella fijiensis*. *Écologie moléculaire*, 19 (18): 3909-3923.
- Hayward A. C. (1983). *Pseudomonas solanacearum*: bacterial wilt and moko disease. In: Plant bacterial diseases (Ed. by Fahy, P.C.; Persley, G.J.), *Academic Press, Sydney, Australie*. pp. 129-135.
- Henderson J., Pattermore J. A., Porchun S. C., Hayden H. L., Van Brunschot S., Grice K. R. E, ... & Aitken E. A. B. (2006). Maladie de la cercosporiose : de nouvelles technologies pour renforcer les stratégies d'éradication en Australie. *Pathologie végétale australasienne*, 35 (2) : 181-193.
- <https://www.bayer-agri.fr/produits/fongicides/> consulté le 11/09/2021.
- Jacome L. H., Schuh W. & Stevenson R. E. (1991). Effect of temperature and relative humidity on germination and germ tube development of *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. *Phytopathology* 81 (12):1480-1485.
- Jones D. R. (1994). International *Musa* Testing Program Phase I. *in*: The improvement and testing of *Musa*: A global partnership. Proc. Global Conf. Int. *Musa* Testing Prog., 1st, FHIA, Honduras. D. R. Jones, ed. *INIBAP*, France, pp 12-20
- Jones D. R. & Stover R. H. (2000). Preharvest Diseases. In D.R. Jones, ed. *Diseases of Banana, Abacá and Enset*. *CABI Publishing*. Pp 173-190
- Jones D. R. (2000). Maladies du bananier, de l'abaca et de l'ensète (No. 634.7729 J7101d Ej. 1 012888). *Éditions CABI*. Royaume-Uni, 544 p.
- Jones D. R. (2000a). Diseases of Banana, Abacat and Enset, Londres, *CABI Publishing* : p 4-11, (37-39) : 173-190.
- Jones D. R. (2000b) Sigatoka leaf spot diseases. In: Jones DR (ed) *Diseases of banana, abaca' and enset*. *CABI Publishing*, Wallingford, UK, pp 79-92.
- Jules W. & Jean P. G. (2009). Etude de l'incidence de la maladie des raies noires sur la culture du bananier durant la saison pluvieuse (avril-octobre) dans la plaine de l'Arcahaie. Université Quisqueya (Uniq), Faculté des sciences l'agriculture et de l'environnement (FSAE). 53 p.

- Kablan L., Lagauche A., Delvaux B. & Legrve A. (2012). Silicon reduces black sigatoka development in banana. *Plant Disease*, 96 (2): 273-278.
- Kagy V. (1999). Importance alimentaire, socio-économique et culturelle de la banana dans la société Kanak de Nouvelle-Calédonie. In C. Picq, E. Fouré et E.A. Frison, eds. Bananas and food security/Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire. Proceedings of an International Symposium held in Douala, Cameroon. *INIBAP*, Montpellier. pp 437-443.
- Kagy V., Mille C. & Mademba-Sy F. (1999). Le bunchy top du bananier : Maladie virale. Insecte vecteur : *Pentalonia nigronervosa* Coq. 2 p.
- Karamura E. B. & Karamura D. A. (1995). Morphologie de la banane - partie II : la pousse aérienne. Dans *Bananas and plantains* Springer, Dordrecht, pp. 190-205.
- Kassi F. M., Badou O. J., Tonzibo Z. F., Salah Z., Amari L. N. D. G. E. & Kone D. (2014). Action du fongicide naturel NECO contre la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) chez le bananier plantain (AAB) en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 75 : 6192-6201.
- Kassi, J.-M. F. K., N'Guessan H. P, Tuo S., Camara B., & Koné D. (2021). Potentialités fongitoxiques de NECO 50 EC dans une stratégie de gestion intégrée de la cercosporiose noire dans une plantation industrielle de bananes dessert. *Journal européen de biologie et de biotechnologie*, 2 (4) : 47-54. <https://doi.org/10.24018/ejbio.2021.2.4.232>.
- Kermarrec D. (1990). L'avertissement Cercosporiose. Manuel du planteur, Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes (IRFA), 81 pp.
- Kernot I. R. (1998). Kit d'information sur les bananes tropicales, série Agrilink ; votre guide croissant pour une meilleure agriculture. Queensland Horticulture Institute, Département des industries primaires, Queensland.
- Knight S., Wirz M., Amil A., Hall A. P., Lepoivre D., Marin R., Ortiz R., Romero J. V. & Shaw M. (2002). The role of managing resistance to fungicides in maintaining strategies to control black leaf streak disease. In L. Jacome, *Escalent editors*, *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. Proceedings of the 2nd International workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases held in San José Costa Rica, 20-23 May 2002. pp 303-307
- Kobenan K. (1990). Etude de la mycoflore racinaire des bananiers et plantain en Côte d'Ivoire (IRFA). Mise en évidence du pouvoir pathogène des genres *cylindrocladium* et *zythia*. *Doc. Interne IRFA*.

- Kobenan K. (1991). Parasites du système racinaire des bananiers en Côte d'Ivoire. *Fruits* 46 (6) : 633 – 641.
- Kobenan K., Ake S. & Kone D. (1997). Etude des réactions de la racine de bananier *Musa*, (AAA) Cv'Grande Naine' à des lésions artificielles. *INFOMUSA* 6 (1) : 21-23.
- Kobenan K., Traoré S., Gnonhourig P. & Yao N. T. (2006). Lutte intégrée contre la maladie des raies noires (MRN) des bananiers plantain (*Musa*, AAB, cv Orishele) sous différentes densités de plantation. *Agronomie africaine*, 18 (2) :157-163.
- Kobenan K., Traore S. & Kendia T. A. (2009). Evaluation of performance and resistance of banana and plantain hybrids to black leaf streak disease under organic fertilization in southern Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 3 (1) : 174-181.
- Kobenan K., Traoré S. & Essis B. (2010). Niveaux de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire aux fongicides systémiques utilisés dans les plantations industrielles de bananiers en Côte d'Ivoire. Monitoring cercosporiose 2009. Deuxième rapport d'étape Convention FIRCA/CNRA. Pp 16.
- Kobenan K., Traoré S. & Essis B. (2012). Niveaux de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire aux fongicides systémiques utilisés dans les plantations industrielles de bananiers en Côte d'Ivoire. Monitoring cercosporiose 2011. Huitième rapport d'étape Convention FIRCA/CNRA. Pp 27.
- Kobenan K., Traoré S. & Essis B. (2013). Niveaux de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire aux fongicides systémiques utilisés dans les plantations industrielles de bananiers en Côte d'Ivoire. Monitoring cercosporiose : Décembre 2012 – Janvier 2013. Dixième rapport d'étape Convention FIRCA/CNRA. Pp 34.
- Kobenan K., Traoré S. & Essis B. (2016). Niveaux de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire aux fongicides systémiques utilisés dans les plantations industrielles de bananiers en Côte d'Ivoire. Monitoring cercosporiose 2009. Deuxième rapport d'étape Convention FIRCA/CNRA. Pp 16.
- Koné D. (1998). Contribution à l'étude des cercosporioses et de la cladosporiose des bananiers en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Laboratoire de Physiologie Végétale, UFR Biosciences, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 219 p.
- Koné D., Kobenan K., Traoré S., Aké S., Fouré E. & Nicot P. (2004). La cladosporiose des bananiers. Fiche technique N 1 ; 5 p.
- Koné D., Badou O. J., Bomisso E. L., Camara B. & Ake S. (2008). Activité in vitro de différents fongicides sur la croissance chez *Mycosphaerella fijiensis* var. difformis Staver et Dickson, *Cladosporium musae* Morelet et Deightonielle torulosa (Syd.)

- Ellis, parasites isolés de la phyllosphère des bananiers en Côte d'Ivoire. *Compte Rendu. Biologies* 332 : 448-455.
- Koné D., Badou O. J., Bomisso E. L., Camara B. & Ake S. (2009). Activités in vitro de différents fongicides sur la croissance chez *mycosphaerella fijiensis* var. difformis stover et dickson, cladosporium musae morelet et deightoniella torulosa (Syd.) ellis, parasites isolés de la phyllosphère des bananiers en Côte-d'Ivoire. *Comptes Rendus Biologies*, 332 (5): 448-455.
- Kovács G., Sági L., Jacon G., Arinaitwe G., Thiry E., Strosse H., Swennen R. & Remy S. (2013). Expression of a rice chitinase gene in transgenic banana ('Gros Michel', AAA genome group) confers resistance to black leaf streak disease. *Transgenic Res.*, 22 (1) : 117–130.
- Krishnamoorthy V. (2002). Amélioration du bananier (*Musa* spp.) pour la résistance à la maladie de Sigatoka et aux Nématodes, Thèse inedite, Departement of Fruit Crops Horticultural College and Research Institute, Tamil Nadu Agriculture University, Inde, 156 p.
- Kumar P. L., Beed F. D., Veaux H. & van Asten P. J. (2009). Deux maladies virales du bananier la mosaïque en tirets et la mosaïque en plages. *Fiche technique IITA*. <https://hdl.handle.net/10568/90246>. 1p.
- Kung'u J. N., Seif A. A. & Waller J. M. (1992). Black leaf streak and other foliage diseases of bananas in Kenya. *International Journal of Pest Management*, 38 (4) : 359-361.
- Kwa M. & Temple L. (2019). Le bananier plantain : Enjeux socio-économiques et techniques, expériences en Afrique intertropicale. Quæ CTA Presses agronomiques de Gembloux. 199 p.
- Laprade C. S. & R. Ruiz B. (1999). Productive behaviour of FHIA-01 (AAAB) and FHIA-02 (AAAB), under inorganic and organic fertilization programs. *In Organic/environmentally friendly banana production. Proceedings of a workshop held at EARTH, Guácimo, Costa Rica, and 27-29 July 1998* (F.E. Rosales, S.C. Tripon & J. Cerna, Editions). INIBAP, Montpellier, France. pp. 171-176.
- Lassois L., Busogoro J. P. & Jijakji H. (2009). La banane : de son origine à sa commercialisation. *Biotechnologie Agrosociologie Environnemental*, pp 575-586
- Lassoudière A. (1987). Enquête diagnostic banane. Préfecture de Kibungo, mission préparatoire. *ISAR/IRFA-CIRAD* 19 p.
- Lassoudière A. (2007). Le bananier et sa culture *Editions Quae*. France. p. 383.
- Lassoudière A. (2010). L'histoire du bananier, Versailles, Éditions Quae, pp 248-249.

- Lassoudière A. (2012). Le bananier. Un siècle d'innovations techniques. *Editions Quae*, France. 352 p.
- Leach R. (1964). Une nouvelle forme de tache du bananier aux Fidji. Strie de feuille noire. *Cultures mondiales*, 16 (4), 60-64.
- Lepoivre P., (2003). Champignons phytopathogènes, In phytopathologie. Debeek, Bruxelles, Belgium, pp 130-131.
- Leroux P. & Gardan L. (2003). La lutte chimique en phytopathologie, In phytopathologie, Lepoivre P., Debeek et Larcier, Bruxelles, pp 319-320.
- Leroux P. (2003). Mode of action of agrochemicals towards plant pathogens. *Comptes Rendus de Biologies* 326 : 9-21.
- Leroux P. & Walker A. S. (2010). Les fongicides affectant les processus respiratoires. Episode 2-Modes d'action et phénomènes de résistance chez les fongicides unisites inhibiteurs du complexe III (Qol et Qil), et phénomènes de type MDR (multidrug resistance). *Phytoma la Défense des Végétaux*, 632 : 48-53.
- Loridat P. (1989). Etude de la microflore fongique et des nématodes associés aux nécroses de l'appareil souterrain du bananier en Martinique. Mise en évidence du pouvoir pathogène du genre *Cylindrocladium*. *Fruits*, 44 (11) : 587-598.
- Loridat P. H. & Ganry J. (1989). [Evidence of nematode-fungus interaction (*Radopholus cylindrocladium*) as component of soil pathogen complex in banana plantations of the Antilles.] [English] ; Es (Spanish]. In 9. *Reunion de la Asociacion para la Cooperacion en Investigaciones Bananeras en el Caribe y America Tropical (ACORBAT 89)*. Merida (Venezuela). Pp 25-30.
- Ma Z. & Michailides T. J. (2005). Progrès dans la compréhension des mécanismes moléculaires de la résistance aux fongicides et de la détection moléculaire des génotypes résistants chez les champignons phytopathogènes. *Protection des cultures*, 24 (10) : 853-863.
- Magnaye L. V. & Espino R. R. C. (1990). Remarque : la mosaïque des bractées du bananier, une nouvelle maladie du bananier, I. Symptomatologie. *Agriculteur philippin*, 73 (1): 55-59.
- Marin H. D., Romero A. R., Guzmán M. & Sutton B. T. (2003). Black Sigatoka: An Increasing Threat to Bananan Cultivation. *Plant Diseases*. 87 : 208-222
- Martinez G. (1997). La situation actuelle de la cercosporiose noire au Venezuela. *Infomusa*, vol.6 (1): 16-17.

- Martinez G., Hernández J., Tremont O., Pargas R. & Manzanilla E. (2002). The spread of black Sigatoka throughout Venezuela, 1997-2000. *Infomusa* 11 (1): 6-9.
- Mateille T. (1992). Comparative development of three banana-parasitic nematodes on *Musa acuminata* (AAA group) cvs Poyo and Gros Michel vitro-plants. *Nematologica*, 38 (1-4) : 203-214.
- Mateille T., Adjovi T. & Hugon R. (1992). Techniques culturales pour la lutte contre les nématodes du bananier e122 n Côte d'Ivoire : Assainissement des sols et utilisation de matériel sain. *Fruits*. 47 (2) : 281-290.
- Meredith D. S. (1960). Études sur gloeosporium musarum cke. Et massee causant la pourriture de stockage des bananes de la jamaque : i. L'anthraxose et son contrle chimique. *Annals of Applied Biology*, 48 (2), 279-290.
- Meredith D. S. & Lawrence J. S. (1969). Black leaf streak disease of banana (*Mycosphaerella fijiensis*). Symptoms of the disease in Hawaii and notes on the conidial state of the causal fungus. *Transactions of British Mycological Society*, 52 (3): 459-476.
- Meredith D. S. (1970). Major banana diseases: past and present status. *Review of Plant Protection Research*, 49 (11): 539-554.
- Mobambo K. N. P. (2002). Estrategias para el manejo integrado de la producción platanera y control de la Sigatoka negra en la República Democrática de Congo. *Infomusa France*, 3 (6) : 11.
- Montiel J. L., Cornille F., Roques B. P. & Noble F. (1997). Métabolisme de la nociceptine / orphanine FQ : rôle de l'aminopeptidase et de l'endopeptidase 24.15. *Journal de neurochimie*, 68 (1) : 354-361.
- Morelet M. (1969). Micromycetes du Var et d'ailleurs (2me Note). *Annales de la Societe des Sciences Naturelles et d'Archèologie de Toulon et du Var*, 21 : 104-106.
- Mouliom P. A. & Mourichon X. (1990). Développement de *Mycosphaerella musicola* (cercosporiose jaune) et *M. fijiensis* (cercosporiose noire) sur bananier et plantain. Etude du cas particulier de la production montagnarde. *Fruits (Paris)*, 45 (1) : 17-24.
- Mouliom Péfoura A., Abadie-Fournier C. & Kwa M. (2019). Lutte contre les maladies des feuilles et des fruits. Agriculture Tropicale en poche. Le bananier plantain, Enjeux socio-économiques et techniques. Quæ CTA, Presses agronomiques de Gembloux. 12 p.
- Mourichon, X., Perrier, X., Thibaud, B. (1987). Les taches noires (fruitlet core not) et leatherypocket de l'ananas en Côte d'Ivoire. Recherche des principaux facteurs

- explicatifs = Pourriture du noyau du fruit et poche coriace de l'ananas en Côte d'Ivoire. Recherche des principaux facteurs explicatifs. *Fruits* 42 (6) : 343–352.
- Mourichon X. & Fullerton R. A. (1990). Répartition géographique des deux espèces *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) et *M. fijiensis* Morelet (*C. fijiensis*), respectivement agents de la maladie de Sigatoka et de la Maladie des Raies Noires des bananiers et plantains. *Fruits*, 45 (3) : 213-218.
- Mourichon X. & Zapater M. F. (1990). Obtention in vitro du stade *Mycosphaerella fijiensis*, forme parfaite de *Cercospora fijiensis*. *Fruits*, 45 (6) : 553-557.
- Mourichon X. (2003). Analyse du Risque Phytosanitaire. *Cirad Référence* : BAN – C4 : 26
- Mourichon X., Carlier J. & Fouré E. (1997). Maladies des *Musa* : fiche technique n. 8 : les cercosporioses. Maladie des raies noires (Cercosporiose noire). Maladie de Sigatoka (Cercosporiose jaune). 4 p.
- Dibi N. H., Kouassi K., Tra Bi F., Konan K. & Bohoussou N. (2019). Apport de l'imagerie satellitaire SPOT dans la gestion durable des écosystèmes de mangroves de Toukouzou-Hozalem, départements de Grang-Lahou et Jacquerville, Sud de la Côte d'Ivoire. In conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. ([hal-02189383](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189383)).
- N'Guessan P. H., Kassi K. F. J. M., Camara B., Kobenan K. & Kone D. (2016). Variabilité de la sensibilité in vitro de souches de *Mycosphaerella fijiensis* (Morelet) isolées des bananeraies industrielles de la Côte d'Ivoire à différents fongicides de la famille des triazoles. *Agronomie Africaine*, 28 (1) : 47-59.
- N'guessan P. H. (2017). Optimisation de la production du bananier (*Musa AAA*) par la gestion efficace de la maladie des raies noires et recherche de combinaisons cultivar/densité de plantation en Côte d'Ivoire. Thèse Unique de Doctorat. Laboratoire de Physiologie Végétale, UFR biosciences, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire. 145 p.
- Ndoutoume-Ndong A. (2007). Importance de l'association de clones d'hévéas dans l'amélioration de la production du caoutchouc en plantations industrielles au Gabon. *Tropicultura*, 25 (2): 66-69.
- Ndungo V., Eden-Green S., Blomme G., Crozier J. & Smith J. J. (2006). Présence de *Xanthomonas* wilt du bananier (*Xanthomonas campestris* pv. *Musacearum*) en République Démocratique du Congo (RDC). *Pathologie végétale*, 55 (2): 294-294.
- Noupadja P., Tomekpe K. & Youmbi E. (2007). Evaluation of plantain tetraploid hybrids (*Musa* spp.) resistant to Black Sigatoka disease in Cameroon. *Fruits*, 62 (2) : 77.

- Nyabyenda P. (2006). Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitudes d'Afrique : Cultures industrielles et d'exportations, cultures fruitières, cultures maraichères, *Presses Agronomiques de Gembloux* (Vol. 2), Collection CTA, Belgique, 2005, 238pp.
- Onautshu O. D. (2013). Caractérisation des populations de *Mycosphaerella fijiensis* et épidémiologie de la cercosporiose noire du bananier (*Musa* spp.) dans la région de Kisangani (RDC). Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain, 320 p.
- Orellana P. P., Bermudez C. I., Garcia R. L. & Veiti N. (2002). Evaluation des caractéristiques agronomiques d'hybrides de bananiersplantain (*Musa* spp.). *Info Musa*, 11 (1) : 34 - 35.
- Ortiz R. & Vuylsteke D. (1994). Héritage de la résistance à la maladie de la sigatoka noire chez les hybrides plantain-bananier (*Musa* spp.). *Génétique théorique et appliquée*, 89 (2) : 146-152.
- Parisi L, Guillaumès J, Wuster G. (1991). Résistance de *Venturia inaequalis* aux fongicides inhibiteurs de la biosynthèse des stérols : détection et caractérisation des souches en 1989 et 1990. In 3. *Conférence internationale sur les maladies des plantes (p. np)*. *ANPP-Association Nationale pour la Protection des Plantes ANPP 2* : 853-862
- Pennisi E. (2010). Armed and dangerous, *Science*, 327 pp. 804-805.
- Perea I., Arango E. R., Marquez E. & Arango R. (2005). La diversité génétique des isolats colombiens de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet analysée des microsatellites. *Infomusa* 14 (2) : 18-21.
- Pérez Hernández J. B., Remy S., Swennen R. & Sági L. (2006) Banana (*Musa* sp.). In: Wang K (ed) *Agrobacterium protocols*, vol 2 (methods in molecular biology, vol 344). Humana Press Inc., pp 167–175
- Pérez R. (1997). Feeding pigs in the tropics, *FAO Animal Production and Health Paper Food and Agriculture Organization Rome, Italy* 132 p.
- Perrier X., De Langhe E., Donohue M., Lentfer C., Vrydaghs L., Bakry F., Carreel F., Hippolyte I., Horry J. P., Jenny C., Lebot V., Risterucci A. M., Tomekpé K., Doutrelepont H., Ball T., Manwaring J., De Maret P. & Denham T. (2011). Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (28): 11311-11318, (<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1102001108>).

- Phelps R. H. (1987). The status of Moko disease in the Caribbean. *In: Seminar proceedings, improving citrus and banana production in the Caribbean through phytosanitation*, St. Lucia, W.I., 2-5 september, 1986, Wageningen: CTA & CARDI. Pp 100-107.
- Pons N (1990). Taxonomy of *Cercospora* and related genera. In: Fullerton RA, Stover RH (eds) *Sigatoka Leaf Spot Diseases of Banana, INIBAP*: Montpellier, pp. 360-70.
- Ploetz R. C., Channer A. G., Chizala C. T., Banda D. L. N., Makina D. W. & Braunworth Jr W. S. (1992). Une évaluation actuelle des maladies de la banane et du plantain au Malawi. *International Journal of Pest Management*, 38(1), 36-42.
- Ploetz R. C. (1994). Panama disease: return of the first banana menace. *International journal of pest management*, 40(4), 326-336.
- Ploetz R. C., Zentmyer G. A., Nishijima W. T., Rohrbach K. G. & Ohr B. D. (1994). Compendium of tropical fruit diseases. *APS Press*, USA. 88 pp.
- Ploetz R. C., Jones D. R., Sebasigari K. & Tushemereirwe W. (1995). Fusarium wilt (Panama disease) on East African highland cultivars of banana. *Fruits* 49: 239 – 249.
- Ploetz R. C. & Pegg K. G. (2000). Fungal diseases of root, corm and pseudostem. *In: D.R. Jones, Editor, Diseases of Banana, Abacá and Enset, CAB International*, Wallingford, UK, pp. 143–172.
- Ploetz, R.C. 2004. Les maladies et les ravageurs : leur importance et leur gestion [Diseases and pests : A review of their importance and management]. *Infomusa* 13 (2):11-16.
- Pons, N. (1987). Notes on *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. *Transactions of the British Mycological Society*, 89 (1): 120-124.
- Pons, N. (1990). Taxonomy of *Cercospora* and related genera. In *Sigatoka Leaf Spots Diseases of Bananas: Proceedings of an International Workshop held at San José, Costa Rica. March*. pp. 360-370.
- Price N. S. (1995). The origin and development of banana and plantain cultivation. *In: Gowen S (ed) Bananas and Plantains, Ch 1, Chapman and Hall*: London, pp. 1-12.
- Remy, S., Buyens, A., Cammue, B. P. A., Swennen, R., & SÃ¡ gi, L. (1997, November). Production of transgenic banana plants expressing antifungal proteins. In *II International Symposium on Banana: I International Symposium on Banana in the Subtropics* 490: 433-436.
- Reuveni M. & Sheglov D (2002). Effects of azoxystrobin, difenoconazole, polyoxin B (polar) and trifloxystrobin on germination and growth of *Alternaria alternata* and decay in red delicious apple fruit. *Crop Protection*, 21: 951–955.

- Rhodes P. (1964). A new banana disease in Fiji. *Commonwealth phytopathological News*, 10 : 38-41.
- Rieux A., Halkett F., De Lapeyre de Bellaire L., Zapater M. F., Rousset F., Ravigné V. & Carlier J. (2011). Inférences sur les structures pathogènes de la population de champignons à partir de données microsatellite : nouvelles idées provenant des approches génétiques spatiales. *Écologie moléculaire*, 20 (8) : 1661-1674.
- Rieux, A., De Lapeyre de Bellaire, L., Zapater, M. F., Ravigné, V., & Carlier, J. (2012). Recent range expansion and agricultural landscape heterogeneity have only minimal effect on the spatial genetic structure of the plant pathogenic fungus *Mycosphaerella fijiensis*. *Heredity*, 110 (1) : 29-38.
- Rieux A., Lenormand T., Carlier J., De Lapeyre de Bellaire L., & Ravigné, V. (2013). Utilisation de la désintégration du cline neutre pour estimer la dispersion contemporaine : un outil générique et son application à un agent pathogène majeur des cultures. *Lettres d'écologie*, 16 (6) : 721-730.
- Rieux A., Soubeyrand S., Bonnot F., Klein E., Ngando J. E., Mehl A., Ravigne V., Carlier J. & De Lapeyre De Bellaire L. (2014). Long-distance wind-dispersal of spores in *Mycosphaerella fijiensis*: Estimation of anisotropic dispersal kernels from an extensive field experiment. *PLoS ONE*, 9 : e103225.
- Risède J. M. & Simoneau P. (2004). Diversité pathogène et génétique des isolats de *Cylindrocladium* provenant des systèmes de culture de bananes. *European Journal of Plant Pathology*, 110 (2) : 139-154.
- Rivas G. G., Zapater M. F., Abadie C. & Carlier J. (2004). Effets fondateurs et dispersion stochastique à l'échelle continentale de l'agent pathogène fongique des bananes *Mycosphaerella fijiensis*. *Écologie moléculaire*, 13 (2) : 471-482.
- Riveros A. S, Giraldo C. I. & Gamboa A. (2003). Contrôle microbiologique de la maladie des raies noires. Chez *Mycosphaerella*, maladies des taches foliaires du bananier : état des lieux et perspectives. Réseau international pour l'amélioration de la banane et du plantain (INIBAP). Actes du 2e atelier international sur les maladies des taches foliaires à *Mycosphaerella* tenu à San Jose, Costa Rica du 20 au 23 mai 2002 pp. 287-296.
- Robert S. (2012) Emergence mondiale de la maladie des raies noires du bananier : histoire de l'invasion et stratégie de vie du champignon phytopathogène *Mycosphaerella fijiensis*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2 : Evolution, Ecologie, Ressources génétiques, Paléontologie. UM2, 240 p.

- Robert S., Ravigné V., Zapater M. F., Abadie C. & Carlier J. (2012). Scénarios d'introduction contrastés entre les continents dans l'invasion mondiale de l'agent pathogène fongique de la banane *Mycosphaerella fijiensis*. *Écologie moléculaire*, 21 (5) : 1098-1114.
- Romero R. A. (2000). Control. In : D.R. Jones, ed. Diseases of Banana, Abacá and Enset. Wallingford, UK: CABI Publishing. Pp 72-79.
- Sarah J. L. (1989). Nematological review: banana nematodes and their control. In: *Africa. Nematropica*, 199-216.
- Sasser J. N. & Freckman D. W. (1987). A world perspective on Nematology: the role of resistance of banana cultivars to the nematodes *Radopholus similis* (Cobb) Thorne and *Meloidogyne incognita* Chitwood. *Phil Agriculturist*, 68 : 335-349.
- Schoofs H. (1997). Origine des cellules embryogènes chez *Musa*. Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, 223 pp
- Sebasigari, K. et Stover, RH (1988) Banana Diseases and Pests in East Africa: Report of a Survey in November 1987. Montpellier, France : INIBAP. 15 p.
- Sebasigari K. (1990). Effet de la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) sur bananiers et plantains dans la plaine de l'Imbo au Rwanda et au Burundi. Dans les maladies des taches foliaires Sigatoka des bananes : Actes d'un atelier international ». Editions R. A. Fullerton, R. H. Stover. INIBAP. Costa Rica. 18 p.
- Sharrock S. (1996). Uses of *Musa*. *Focus Paper 3*, INIBAP Annual Report. International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier. (1) : 6-9.
- Sharrock S. & Lustry C. (2000). Valeur nutritive de la banane. Rapport annuel. Montpellier, France. *INIBAP* pp. 28–31.
- Sierotzki H., Parisi S., Steinfeld U., Tenzer I., Poirey S. & Gisi U. (2000). Mode de résistance aux inhibiteurs de la respiration au complexe enzymatique cytochrome bc1 des isolats champ *mycosphaerella fijiensis*. *Pest Management Science : anciennement Pesticide Science*, 56(10), 833-841.
- Simmonds N. W. & Shepherd K. (1955). La taxonomie et les origines des bananes cultivées. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 55 (359) : 302-312.
- Skiredj, A., Walali, D.M. and Hassan, E.T. (2005) La culture sous serre au Maroc. SPORE. CTA. 12 p.
- Smith I. M., Mc Namara D. G, Scott P.R & Holderness M. (1997). *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida* Fiches techniques sur les organismes de quarantaine. Organisme de quarantaine pour l'Europe, pp : 601-606.

- Soguilon C. E, Magnaye L. V & Natural M. P. (1995). Maladie de Bugtok du bananier. *Inibap* 33: 4.
- Speijer P. R., Budenberg W. J. & Sikora, R. A. (1993). Relations entre nématodes, charançons, cultivars de bananes et de plantains et dommages. *Annales de biologie appliquée*, 123 (3) : 517-525.
- Stewart E. L, Liu Z., Crous P. W. & Szabo L. J. (1999). Relations phylogénétiques entre certains anamorphes cercosporoïdes de *Mycosphaerella* basées sur l'analyse de la séquence d'ADNr. *Mycological Research*, 103 (11): 1491-1499.
- Stover R. H. & Dickson J. D. (1970). Leaf spot of bananas caused by *Mycosphaerella musicola*: methods of measuring spotting prevalence and severity. *Tropical Agriculture*, 47: 289-302.
- Stover, R.H. (1972). Banana, plantain, and abaca diseases. *Commonwealth Mycological Institute*, Kew, UK. 316 p.
- Stover R. H. (1980). Sigatoka leaf spot of bananas and plantains. *Plant disease*, 64 (8), 750-756.
- Stover R. H., Sebasigari K. & Jones (2002). The spread of black Sigatoka throughout America. (INIBAP). 128 p.
- SurrIDGE A. K. J., Viljoen A., Crous R. W. & Wehner F. C. (2003). Identification de l'agent pathogène associé à la maladie de Sigatoka de la banane en Afrique du Sud. *Pathologie végétale australasienne*, 32 (1) : 27-31.
- Swennen R. & Vuylsteke D. (1993). Élevage de plantains résistants au sigatoka noir avec une banane sauvage. *Agriculture tropicale*, 70 (1) : 74-77.
- Swennen R. & Vuylsteke D. (2001). Bananier. In *Raekemaekers R.H., eds. Agriculture en Afrique tropicale*, Bruxelles, Belgique. p.611-637
- Tchango Tchango J. & Ngalani J. A. (1999). Transformations et utilisations de la banane plantain en Afrique Centrale et Occidentale. In : C. Picq, E. Fouré et E.A. Frison, eds. Bananas and food security/Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire. Proceedings of an International Symposium held in Douala, Cameroon. *INIBAP*, Montpellier. pp 361-373.
- Tenkouano A., Crouch J. H, Crouch H. K, Vuylsteke D. & Ortiz R. (1999). Comparaison des marqueurs ADN et des méthodes basées sur le pedigree d'analyse génétique des clones de plantain et de bananier (*Musa* spp.). I. Estimation des relations génétiques. *Génétique théorique et appliquée*, 98 (1) : 62-68.

- Tezenas du Montcel H. (1985). Le bananier plantain. Le technicien d'agriculture tropical. *Maisonneuve et Larose*. 143p.
- Thomas J. E., Caruana I. & Jones D. R. (1994). Maladies de *Musa* : Le Bunchy top du bananier, *Fiche technique* N° 4 : 2.
- Thomas J. E., Caruana M. L. I., (2000). Maladies causées par des virus : Bunky top. Dans : DR Jones, éd. Maladies du Bananier, de l'Abaca et de l'Enset. Wallingford, Royaume-Uni : CABI, 241 – 53.
- Traoré S. (2008). Contribution à l'étude de comportement d'hybrides de bananiers et de bananiers plantain (*Musa* sp.) vis-à-vis des parasites foliaires (*Mycosphaerella* sp., *Cladosporium musae*) et racinaires (*Zythia* sp., *Radopholus similis*, *Pratylenus coffeae*) en Côte d'Ivoire. Thèse Unique de Doctorat. Laboratoire de Physiologie Végétale, UFR biosciences, université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire. 181 p.
- Tuo S. Amari L. D. G. E., Camara B., Kassi F. M., Ouédraogo S. L., Traoré S., Lorn J-P. & Kouakou A. E. (2015). Effet de l'association de différents Cultivars de bananiers (*Musa* spp.) Tolérants sur l'incidence de la Cercosporiose noire chez le cultivar Sensible "orishelle" en côte d'ivoire. *European Scientific Journal* August 2015 edition vol.11, (No.24): 70-94.
- Tushemereirwe W. K. & Waller J. M. (1993). Black leaf streak (*Mycosphaerella fijiensis*) in Uganda. *Plant pathology*, 42 (3) : 471-472.
- Tushemereirwe W. (1996). Facteurs influençant l'expression des maladies des taches foliaires des bananiers d'altitude en Ouganda. Thèse de Doctorat, Université de Reading. Angleterre. 213 p.
- Tushemereirwe W., Karamura E. B. & Karyeija R. (1996). Virus de la strie de banane (BSV) et un complexe de maladies filamenteuses associées (non identifiées) des bananes des Hautes Terres en Ouganda. *Infomusa* 5 : 9–12.
- Ude G., Pillay M., Nwakanma D. & Tenkouano A. (2002a). Analyse de la diversité génétique et des relations sectionnelles chez *Musa* à l'aide de marqueurs AFLP. *Génétique théorique et appliquée*, 104 (8) : 1239-1245.
- Ude G., Pillay M., Nwakanma D. & Tenkouano A. (2002). Diversité génétique chez *Musa acuminata* Colla et *Musa balbisiana* Colla et certains de leurs hybrides naturels à l'aide de marqueurs AFLP. *Génétique théorique et appliquée*, 104 (8) : 1246-1252.
- Vallavieille-Pope de C., Mille B., Belhaj Fraj M. & Meynard J.-M. (2004). Intérêt des associations de variétés de blé pour diminuer les fongicides ; conséquences sur la filière. *Le Sélectionneur Français*, (54): 45-56.

- Van Den Berg Loridat J. (1989). Method for monitoring populations of *Mycosphaerella musicola*, which are becoming more or less resistant to the fungicides used on bananas in Martinique. *Fruits* (France).
- Vandeput R. (1981). Les principales cultures de l'Afrique Centrale. P. 1185.
- Vassiliou V. A. & Papadoulis G. (2009). Premier signalement de l'acarier rouge des agrumes *Panonychus citri* à Chypre. *Phytoparasitica*, 37 (1) : 99-100.
- Vermeire M. L., Kablan L., Dorel M., Delvaux B., Risède J. M. & Legrève A. (2011). Rôle protecteur du silicium dans le pathosystem banane-*Cylindrocladium spathiphylli*. *European Journal of Plant Pathology*, p. 131 (4): 621-630.
- Vishnevetsky J., White T. L., Palmateer A. J., Flaishman M., Cohen Y., Elad Y. & Perl A. (2011). Amélioration de la tolérance aux maladies fongiques dans la banane Cavendish transgénique (groupe *Musa* spp. AAA) cv. Grand Nain. *Recherche transgénique*, 20 (1) : 61-72.
- Vuylsteke D., Ortiz R. & Swennen R. (1993). Amélioration génétique des plantains et des bananes à l'IITA. *Info Musa*, 2 (1): 10-12.
- Wardlaw, C. W. 1961. *Banana Diseases, Including Plantains and Abaca*. London: Longmans. 648 p.
- Wolfe M. S. (1982). Dynamics of the pathogen population caused by resistance to fungicides. In: *Fungicide Resistance in Crop protection* (Dekker J., Georgopoulos SG, eds), *Pudoc*, Wageningen, Pays Bas, pp 139-148.
- Yirgou D. & Bradbury J. F. (1968). Bacterial wilt of enset (*Ensete ventricosum*) incited by *Xanthomonas musacearum* sp. n. *Phytopathology*, 58: 111-112.

ANNEXES

Annexe 2 : Fongicides homologués pour lutter contre les cercosporioses en Côte d'Ivoire

Nom Commercial	Substance Active et Teneur	N° Homologation	Distributeur Agrée
BALEAR 720 SC	Chlorothalonil : 720 G/L	08 0797 Fo	Alm-Afrique De L'ouest
BANGUARD 42 SC	Thirame : 42 %	13 1391 Fo	Alm Ao
BANICUR 220 SL	Thiabendazole : 220 G/L	13 1394 Fo	Gat Rima
BANKIT 25 SC	Azoxystrobine : 250 G/L	99 0457 Fo	Callivoire
BANKO 720 SC	Chlorothalonil : 720 G/L	08 0821 Fo	Callivoire
BAOBAB 600 OD	Mancozèbe : 600 G/L	13 1393 Fo	Alm Ao
BAYCOR 500 SC	Bitertanol : 500 G/L	06 0713 Fo	Bayer Côte D'ivoire
BAYLETON 250 EC	Triadimefon: 250 G/L	93 0242 Fo	Rmg Ci
CALIXIN 75 EC	Tridémorphe: 750 G/L	92 0227 Fo	Tech Agro International
CALLIS 400 OL	Méthyl-Thiophanate : 400 G/L	97 0381 Fo	Callivoire
CARAMBA 200 EC	Metconazole : 200 G/L	98 0425 Fo	Alm-Afrique De L'ouest
CHLOROPLANT 720 SC	Chlorothalonil : 720 G/L	11 1076 Fo	Iasco International
COMET PLUS 475 EC	Fenpropimorphe:375 G/L+Pyraclostrobine:100 G/L	08 0800 Fo	Internationaltech Agro
COMPEER 600 SC	Pyriméthanyl : 600 G/L	14 1462 Fo	Adama West Africa-Côte D'ivoire
COTZEB 600 OS	Mancozèbe : 600 G/L	13 1390 Fo	Afcottci S.A.R.L
CUMORA 50 SC	Boscalid : 500 G/L	10 0920 Fo	Tech Agro International
DITHANE 60 OS	Mancozèbe: 604 G/L	10 0977 Fo	Af-Chem Sofaco
ECRAN 250 EC	Propiconazole : 250 G/L	07 0772 Fo	Alm-Afrique De L'ouest
FLASH OD	Benomyl : 500 G/Kg	96 0346 Fo	Ldc Cote D'ivoire
FOLICUR 250 EW	Tebuconazole : 250 G/L	95 0328 Fo	Rmg Ci
FONGIMAZ 40 SL	Imazalil: 40 G/L	98 0422 Fo	Ldc Cote D'ivoire
FUMIVAP-B	Bromuconazole : 20%	98 0405 Fo	Ldc Cote D'ivoire
FUNGIS 400 SC	Thiophanate-Methyl : 400 G/L	95 0308 Fo	Ldc Cote D'ivoire
IVORY 500 OL	Mancozèbe: 500 G/L	01 0565 Fo	Callivoire
IVORY 75 WG	Mancozèbe 75 %	09 0867 Fo	Callivoire
JUNIOR 250 EW	Tebuconazole : 250 G/L	04 0633 Fo	Alm-Afrique De L'ouest
MORFUS 720 SC	Chlorotalonil : 720 G/L	10 0946 Fo	Ldc Cote D'ivoire
ODEON 825 WG	Chlorothalonil : 825 G/Kg	07 0773 Fo	Adama West Africa-Cote D'ivoire
OPAL 7,5 EC	Epoxiconazole : 75 G/L	08 0792 Fo	Tech Agro International
ORAZ 450 EC	Prochloraze : 450 G/L	10 0972 Fo	Af-Chem Sofaco
ORPHEE PLUS OL	Triadiméfon : 100 G/L+Tridémorphe : 450 G/L	95 0324 Fo	Callivoire
PELTIS 40 OL	Methyl Thiophanate : 400 G/L	97 0390 Fo	Challenges Sarl
PERFECT 250 EC	Propiconazole : 250 G/L	07 0751 Fo	Rmg Cote D'ivoire
PLANTIZEB 600 SC	Mancozèbe: 600 G/L	11 1077 Fo	Iasco Internationa
POLYRAM 70 WG	Metiram : 700 G/Kg	14 1545 Fo	Tech Agro International
PRESERVE PRO 25 SL	Acide Ascorbique: 25 G/Kg	07 0784 Fo	Callivoire
PSYCHO 250 EC	Difénoconazole : 250 G/L	11 1037 Fo	Callivoire
PYRUS 400 SC	Pyrimethanil : 400 G/L	09 0896 Fo	Alm-Afrique De L'oues
REFERENCE 250 EC	Propiconazole : 250 G/L	97 0375 Fo	Ldc Cote D'ivoire
SAVER 250 EC	Propiconazole 25g/L	94 0289 Fo	Af-Chem Sofaco
SICO 250 EC	Difenoconazole : 250 G/L	97 0353 Fo	Callivoire
SIGANEX 60 SC	Pyriméthanyl : 600 G/L	01 0566 Fo	Rmg Ci
SYLLIT 400 SC	Dodine : 400 G/L	13 1392 Fo	Alm Ao
TBZ 220 SL	Thiabendazole : 220 G/L	95 0309 Fo	Callivoire
TEGA 075 EC	Trifloxystrobine : 75g/L	00 0491 Fo	Rmg Ci
TILT 250 EC	Propiconazole : 250 G/L	90 0151 Fo	Callivoire
TOPAZE 850 WG	Thiophanate Methyl : 850 G/L	10 0974 Fo	Af-Chem Sofaco
TRICAL 250 EC	Triadiméfon : 250 G/L	95 0325 Fo	Callivoire
TROPIK 720 SC	Chlorothalonil : 720 G/L	10 0962 Fo	Alm-Afrique De L'ouest
VECTRA BN	Bromuconazole : 200 G/L	94 0270 Fo	Ldc Coted'ivoire
VOLLEY 88 OL	Fenpropimorphe : 880 G/L	07 0752 Fo	Tech Agro International
VONDOZEB 33 OF	Mancozèbe: 330 G/L	95 0323 Fo	Ldc Cote D'ivoire

Annexe 3 : Echantillons de feuille de bananier prélevés selon la surface des plantations en 2016

Zone	Plantations	Parcelles de référence (poste d'observation)	Nombre d'échantillons
ABOISSO (1300ha)	AKRESSI	KJ1 Secteur 5 carré E5 et 5D2, KJ2 Secteur A carré AH2 et E7, KGB Secteur B carré BB26 et A5, SBAK Secteur 6 carré A3	7
	DICONNE	Secteur 3 carré A3 et 3A6, Secteur 2 carré C10 et Secteur 1 carré 1D1	3
	DIBY	Secteur 4 carré 4D5 et 4B6, Secteur 6 carré 6B7 et 6D3	4
	ELIMA	Secteur A carré AF1, Secteur B carré BA3 et BD3	3
	SBMK	Carré FV1 et carré CF1	2
BASSAM (222 ha)	Eglin-Motobe	Secteur B1 carré barrière, Secteur B3 carré 19B, Secteur AB1 carré 1B, Secteur B2 carré 6A	4
AZAGUIE- AGBOVILLE (344 ha)	Eglin-Azaguie	Secteur Vidal carré V2, Secteur T carré 14 et T11, Secteur Perez carré P40 et P10	5
	Eglin-Agboville	Bloc 4 carré CF1, Bloc 3 carré D4, Bloc 2 carré A3, Secteur 1 carré C1	4
DABOU- ATTINGUIE	SPDCIE (250ha)	Secteur Lumen carré 11 et 4, Secteur 98B carré C1 A4, Km 30, Secteur AD Carré DA9	6
	ROUCHARD (Nieky et Attingué)	Secteur T1 carré C7 et C8, Secteur T2 carré C4 et C7	3
TIASSALE	BATIA (350 ha)	Batia 2 carré N5 et I2, Batia1 carré B3, Secteur 4 carré F11 et H4, Secteur 6 carré I5, Secteur 8 carré N4, Secteur 9 carré 14, N12 et carré S1	10
	SIAPA (500 ha)	Carré A et F1	2
Total	12		53

Annexe 4 : Echantillons de feuille de bananier prélevés selon la surface des plantations en 2017

Zones	Plantations	Parcelles de référence (poste d'observations)	Nombre d'échantillons
ABOISSO (1300ha)	AKRESSI	KJ1 Secteur 5 carré 5E5 et D2, SBAK Secteur C carré C18, CB17 et A3, KJ2 Secteur A carré AH2, Secteur B carré BA5	7
	DICONNE	Secteur 3 carré 3A6, Secteur 2 carré 2C10 et Secteur 1 carré 1C1	3
	DIBY	Secteur 4 carré 4D5 et 4B6, Secteur 5 carré 5E5, Secteur 6 carré 6D3	4
	ELIMA	Secteur A carré AD1, Secteur B carré BA3 et BD3	3
	SBMK	Carré FV2, et carré CF2	2
BASSAM (222 ha)	Eglin-Motobe	Secteur B1 carré barrière, secteur B2 carré 6A, secteur B3 carré 19B secteur B4 carré 1B	4
AZAGUIE-AGBOVILLE (344 ha)	Eglin-Azaguie	Azaguié2 carré T48, Secteur Perez carré P10, Secteur Vidal carré V2	3
	Eglin-Agboville	Bloc5 carré F4, Bloc1 carré A3, Bloc	5
DABOU-ATTINGUIE	WANITA (250ha)	Secteur 98 B1 carré C2 et A3, Secteur 98B carré A4, Lumen carré C11 et C1, Lumen secteur B1 carré M2 et H2, Km 30, secteur 2 carré 4	9
	ROUCHARD (Nieky et Attingué)	Secteur T1 carré C1, C2 et C10, Secteur T2 carré C6	3
TIASSALE	BATIA (350 ha)	Secteur 2 carré B3, secteur 3 carré C3, secteur 4 carré H4, secteur 6 carré T2, secteur 8 carré N5, secteur 9 carré N12 et carré S1	7
	SIAPA (500 ha)	Carré K et J	1
Total			51

Annexe 5 : Photos d'illustration du niveau d'entretien des bananeraies industrielles visitées



a) : Drain bien curé



b) : Drain enherbé



c) : Drain contenant de l'eau en stagnation



d) : Plantation enherbée



e) : Plantation non enherbée



f) : Plantation non enherbée



g) : Plantation desherbée



Niveau de
coupe
conseillé



Niveau de
coupe dé-
conseillé

h) : Bananiers ayant subi la suppression des feuilles nécrosées



i) : Bananier portant des fruits dont toutes les feuilles ont été sectionnées



j) : Bananier avec les feuilles engorgées

Résumé

Le système de production intensif de banane d'exportation est confronté depuis des décennies aux dégâts causés par *Mycosphaerella fijiensis*, car basé sur le groupe variétal Cavendish qui en est très sensible. Le seul moyen de lutte efficace actuelle demeure la lutte chimique. Cependant cette lutte est très coûteuse, et peut provoquer des résistances des souches du champignon aux fongicides. Cette étude vise à apporter de nouvelles informations susceptibles de rendre la lutte contre la Maladie des Raies Noires plus efficace en Côte d'Ivoire. Les travaux ont été menés à la fois en conditions naturelles d'infestation et au laboratoire. Ainsi, des observations de l'état sanitaire des plantations et une enquête sur les programmes d'application des fongicides ont été réalisées pour vérifier la compatibilité de la gestion de la maladie avec une mise en œuvre réussie de la lutte chimique par alternance des familles de matières actives. Puis au laboratoire, la sensibilité des isolats du champignon aux différentes familles de matières actives a été périodiquement mesurée pour chaque plantation. En complément, la maladie et la sensibilité du champignon à l'état sauvage aux fongicides ont été caractérisées sur des hybrides et des variétés de type plantain. Les résultats ont montré d'une part, qu'au champ il y a une amélioration de la gestion des plantations par les équipes phytosanitaires depuis l'instauration du monitoring. Par contre au laboratoire des résistances du champignon aux triazoles particulièrement au tebuconazole ont été observées durant les 3 années ; avec des taux d'inhibitions inférieurs à 65 % sur les échantillons des plantations industrielles. D'autre part, une bonne efficacité de l'ensemble des fongicides sur les souches sauvages du champignon a été mise en évidence. Les taux d'inhibitions des triazoles ont été supérieurs au seuil de 65 %, tandis que les taux de germination ont été inférieurs à 20 % pour le benzimidazole et inférieurs à 25 % pour les strobilurines. La dernière phase a mis en évidence différentes formes d'interactions hôte-pathogène, mais la variété SH 3640 a montré des qualités très intéressantes, la PJFA la plus élevée 3,51, la PJFN la plus élevée 7,02, les conidies les plus grandes et le nombre de conidies faible. Les conidies de cette variété ont eu les longueurs de croissance des tubes germinatifs les plus élevées mais les taux d'inhibitions des fongicides sur la croissance de ces tubes germinatifs ont été les plus élevés. On retient donc que la qualité des fongicides n'est pas la cause des résistances des conidies. Aussi la variété SH 3640 avec ses qualités pourrait être utilisée comme barrière de protection dans les plantations où les variétés sont sensibles à la MRN.

Mots clés : Fongicides, lutte raisonnée, *Mycosphaerella fijiensis*, bananeraies ivoiriennes cercosporiose noire.

Abstract

The intensive export banana production system has been confronted for decades with damage caused by *Mycosphaerella fijiensis*, as it is based on the Cavendish varietal group, which is very susceptible to it. The only effective means of control today is chemical control. Yet this control is very costly, and can lead to fungicide resistance of the fungus strains. The aim of this study is to provide new information that could make the control of Banana Black Streak Disease more effective in Côte d'Ivoire. The studies were carried out both under natural infestation conditions and in the laboratory. Therefore, observations of the sanitary state of the plantations and a survey of the fungicide application programs were carried out to verify the compatibility of the management of the disease with a successful implementation of chemical control by alternating families of active ingredients. Then, in the laboratory, the sensitivity of the fungal strains to the different families of active ingredients was periodically monitored for each plantation. In addition, the disease and the susceptibility of the fungus in the wild to fungicides were characterized in hybrids and plantain varieties. The results revealed, on the one hand, that in the field there has been an improvement in the management of plantations by the phytosanitary teams since the introduction of monitoring. On the contrary, in the laboratory, resistance of the fungus to triazoles, particularly tebuconazole, was observed during the three years, with inhibition rates of less than 65% on samples from industrial plantations. On the other hand, good performance of all the fungicides on wild strains of the fungus was demonstrated. Inhibition rates of the triazoles were above the 65% threshold, while germination rates were less than 20% for benzimidazole and less than 25% for the strobilurins. The last phase revealed different forms of host-pathogen interactions, but the variety SH 3640 showed very interesting quality, highest PJFA 3.51, highest PJFN 7.02, largest conidia and low conidial count. The conidia of this variety had the highest germ tube growth lengths but the inhibition rates of fungicides on germ tube growth were the highest. It is therefore concluded that the quality of the fungicides is not the cause of conidial resistance. Also the variety SH 3640 with its qualities could be used as a protective barrier in plantations where the varieties are susceptible to Banana Black Streak Disease.

Key words: Fungicides, reasoned control, *Mycosphaerella fijiensis*, Ivorian banana plantations, Black Sigatoka.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES
ISSUES DE LA THESE

PUBLICATION 1

Kouamé Kouassi James Joseph, Karidia Traore, Charlotte Tonessia, Siaka Traore, N'goran Aby, Olivier Atsin, Adélaïde N'guetta, and Kouman Kobenan (2020).

SENSIBILITÉ DE *MYCOSPHAERELLA FIJENSIS* AUX DIFFÉRENTES MATIÈRES ACTIVES FONGICIDES UTILISÉES EN BANANERAIES CONTRE LA MALADIE DES RAIES NOIRES EN CÔTE D'IVOIRE DE 2016 À 2017. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCE RESEARCH (IJAR)*. ISSN: 2320-5407 *Int. J. Adv. Res.* 8(06), 692-704



Journal Homepage: - www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/11148

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/11148>



RESEARCH ARTICLE

SENSIBILITÉ DE MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS AUX DIFFÉRENTES MATIÈRES ACTIVES FONGICIDES UTILISÉES EN BANANERAIES CONTRE LA MALADIE DES RAIES NOIRES EN CÔTE D'IVOIRE DE 2016 À 2017

Kouamé Kouassi James Joseph¹, Karidia Traore¹, Tonessia Charlotte¹, Siaka Traore², N'goran Aby², Olivier Atsin², Adélaïde N'guetta², and Kobenan Kouman²

1. Laboratoire D'amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), BP 150 Daloa.
2. Laboratoire de Défense de Culture du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) Station Bimbresso, 01 BP 1538 Abidjan 02 Côte D'Ivoire.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 10 April 2020

Final Accepted: 12 May 2020

Published: June 2020

Key words:-

Sensitivity, Mycosphaerella Fijiensis,
Fungicides, Sigatoka, Banana

Abstract

Mycosphaerella fijiensis sensitivity was evaluated with samples of banana leaves Grand Nain with conidia and collected in twelve industrial plantations covering 3059 ha. In the laboratory observations on sampled conidia were made 48 hours after their incubation on agar amended fungicides (methyl thiophanate 5 ppm, tebuconazole, difenoconazole and epoxiconazole at 0.003; 0.01; 0.1 and 1 ppm and azoxystrobin 1 and 10 ppm and trifloxystrobin 0.1 and 3 ppm). The observations were made under a microscope and consisted in determining the normal germinating conidia rate (benzimidazoles) and the growth inhibition rates of the germ tube of conidia (triazoles and strobilurins). From these observations the existence of resistance to triazoles used in most plantations except Rouchard (31%), ELIMA (28%), EGLIN Agboville (34%), SPDCie (33%), Batia (34%) and Siapa (34%) of tébuconazole, and Rouchard (29%) for époxiconazole. For strobilurins only mushroom DICONNE (81%) and AKRESSI (78%) were resistant to Trifloxystrobin then DICONNE (83%) for azoxystrobin. But for the benzimidazoles resistant strains of fungus was observed in all sampled plantations.

Copy Right, IJAR, 2020.. All rights reserved.

Introduction:-

La cercosporiose noire (Maladie des Raies Noires, MRN), causée par le champignon Ascomycète Mycosphaerella fijiensis MORELET (Stover, 1980 [1]) et la cercosporiose jaune (Maladie de Sigatoka, MS), causée par Mycosphaerella musicola constituent deux contraintes majeures pour la production de bananes dessert destinées à l'exportation. Ces maladies foliaires menacent tous les pays producteurs de bananes dans le monde puisque la production de bananes destinées à l'exportation repose sur l'utilisation de cultivars (Cavendish) qui en sont très sensibles. La maladie des raies noire du bananier, est la maladie foliaire la plus préjudiciable à la production de bananes à travers le monde (Pasberg-Gaulh et al., 2000 [2]). Elle a connu une expansion rapide dans les différents pays producteurs de bananes où elle a progressivement remplacé la Maladie de Sigatoka. Aujourd'hui, quasiment tous les pays producteurs de bananes sont touchés par la cercosporiose noire, à l'exception de quelques îles dans les Caraïbes où M. fijiensis n'est pas encore présent, et des îles Canaries, où la pluviométrie très faible empêche le

Corresponding Author: -Kouamé. Kouassi. James. JOSEPH

Address:- Laboratoire D'amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), BP 150 Daloa.

développement de ces champignons pathogènes. En Côte d'Ivoire, cette maladie détectée en 1985 dans la région d'Aboisso (**Mourichon&Fullerton, 1990 [3]**), est aujourd'hui présente dans toutes les zones de culture du bananier notamment dans la région des 18 montagnes où elle cohabite avec la cercosporiose jaune (**Camara, 2011 [4]**). Cette maladie provoque la maturité précoce des bananes (**Ramsey et al 1990 [5]** ; **Chillet et al 2009 [6]**), entraînant des pertes de rendement pouvant atteindre les 100%.

Afin de lutter efficacement contre le parasite, les fongicides de synthèse de la famille des benzimidazoles, des triazoles et des strobilurines sont essentiellement utilisés. L'utilisation massive de ces fongicides dans les plantations industrielles de banane a entraîné l'émergence et le développement rapide de souches résistantes qui est devenu un problème majeur (**Brent, 1995 [7]**). La résistance aux fongicides est un ajustement stable et héritable, aboutissant à la réduction de la sensibilité à ces fongicides dans les populations pathogènes (**Scheinflug, 1987 [8]**; **Ma et Michailides, 2005 [9]**). Au Cameroun, l'utilisation intensive de certains fongicides a entraîné l'émergence rapide et la généralisation de la résistance chez les populations de *M. fijiensis* et une perte de contrôle de la maladie (**Essoh, 2006 [10]**). Au champ, ce phénomène se définit comme la persistance de la maladie, malgré l'application correcte de fongicides (**Ganry et Laville, 1983 [11]**). Les fongicides systémiques notamment les benzimidazoles (**anti-mitotiques**) ont été introduits dans les bananeraies ivoiriennes depuis les années 1970, suivis des triazoles (**IBS** : inhibiteurs de la biosynthèse des stérols) au milieu des années 1980 (**Ganry et Laville, 1983 [11]**). D'aussi longues périodes d'utilisation, souvent sans respect des principes d'alternance entre familles de fongicides à résistance croisée négative peuvent engendrer des conséquences désastreuses sur l'environnement, la santé humaine et animale si les conditions de formulation, de transport, de stockage et d'utilisation ne sont pas respectées. Face à toutes ces difficultés, de nombreuses actions sont menées en vue de réduire l'action des fongicides sur l'homme et l'environnement mais surtout éviter les résistances au champ. Dans cette optique, la surveillance des bananeraies afin de détecter et suivre l'évolution des souches résistantes aux différentes familles de matières actives s'est avérée indispensable. Cette étude a donc été menée afin de mettre en évidence l'impact du mauvais usage des fongicides sur la sensibilité des champignons afin de proposer des alternatives pour réduire ces effets néfastes.

Materiel Et Methode :-

Zone d'étude

L'échantillonnage a été fait dans 12 plantations réparties en 4 zones de productions couvrant une superficie de 3059 ha. Elles sont situées, d'une part, entre les 5^{ème} et 6^{ème} degré de latitude Nord, et d'autre part, entre les 3^{ème} et 5^{ème} degré de longitude Ouest.

Matériel végétal

L'étude a été menée sur les feuilles de bananier, *Musa sp.*, du cultivar "Grande naine" AAA (banane de dessert ; qui représente environ 80 % des clones en exploitation dans les bananeraies ivoiriennes (**Gnonhour et al., 2009 [12]**) présentant les symptômes typiques de stades 2 à 4 (**Fouré, 1984 [13]**) de cercosporioses.

Matériel fongique

Le matériel fongique est constitué de conidies de *Mycosphaerella fijiensis* issues des feuilles de bananiers portant les symptômes de la cercosporiose provenant des localités d'Aboisso, de Bassam, d'Agboville, d'Azaguié, de Dabou et de Tiassalé.

Fongicides utilisés

Ce sont des fongicides unisites (**systémiques**) appartenant à trois familles utilisées dans les bananeraies Ivoiriennes.

Tableau I:- Différents fongicides utilisés.

Famille	Nom commerciale	Matière active	Formulation	Dose	Mode d'emploi
Triazoles	Inhibiteur de Biosynthèse des Stérols, DMI				
	Folicur 250 EW/Junior	Tébuconazole	250 g/l	0,4 l/ha	
	Opus 075 EC	Epoxiconazole	75 g/l	1 l/ha	
	Sico 250 EC	Difenoconazole	250 g/l	0,3-0,4 l/ha	
Benzimidazoles	Antimitotique, MBC Peltis/Calis	Méthyl-thiophanate	400 g/l	320 g/ha	
Strobilurines	Inhibiteur de la respiration, QoI Bankit	Azoxystrobine	400 g/l	0,4 l/ha	
	Téga 075 EC	Trifloxystrobine	75 g/l	75g/ha	

Méthodes:-**Échantillonnage:**

Une enquête portant sur la succession des fongicides utilisés dans les plantations de 2016 à février 2017 a été menée. Les prélèvements de feuilles ont été faits dans les plantations (selon la méthode décrite par **Kobenanet al, 2009 [14]**) à des postes d'observations sur 25 à 30 bananiers aux feuilles portant les stades 3 et 4 de la maladie. Le nombre d'échantillons varie avec la surface des plantations à raison d'un échantillon pour 50 ha. Des échantillons témoins ont été aussi prélevés dans les plantations villageoises, à une distance d'environ 10 Km des plantations industrielles.

Les échantillons de feuilles sont conditionnés dans des emballages plastiques et transportés au laboratoire pour les analyses. Le prélèvement est effectué au moins 2 à 3 semaines après le dernier traitement au fongicide. Pendant l'échantillonnage, des observations sont faites sur l'état sanitaire des plantations. Le niveau d'entretien de la plantation a également fait l'objet d'observation.

Méthode d'analyse au laboratoire

La méthode d'analyse utilisée pour tester la sensibilité de *Mycosphaerella fijiensis* à ces trois familles de fongicides est une modification de celle décrite par **Van Den Berg Loridat en 1989 [15]** (**Essis et al., 2010 [16]**). Elle comporte les étapes suivantes :

Préparation des solutions mère

Les solutions mère sont obtenues en dissolvant les fongicides à l'état brut dans l'eau distillée stérile. On dissout 0,1 ml de méthyl thiophanate (benzimidazoles), 0,16 ml de propiconazole (triazoles) et d'azoxystrobine (strobilurines) dans 40 ml d'eau distillée stérile pour obtenir une concentration de 1000 ppm pour chaque fongicide. Les autres (100, 10, 5 ppm...etc.) sont obtenues par dilutions successives. Toutes ces solutions sont conservées au réfrigérateur à 4° C.

Préparation du milieu de culture

Les milieux gélosés à 2 % d'agar (soit 20 g d'agar pour 1 litre d'eau distillée) sont préparés dans des Erlenmeyers et sont mis à l'autoclave à 121°C pendant 20 minutes sous une pression de 1 bar. Après l'autoclavage, en fonction de la concentration voulue, les dilutions sont effectuées. Le mélange est ensuite bien homogénéisé à l'aide d'un agitateur et coulé dans des boîtes de Pétri à raison de 10 à 15 ml par boîte. Les doses étudiées sont de 5 ppm de Méthyl-thiophanate (Benzimidazoles) et de 0,003, 0,01, 0,1, 1 ppm de difénoconazole, époxiconazole et tébuconazole (Triazoles) puis 1 et 10 ppm d'azoxystrobine et 0,1 puis 3 de trifloxystrobine (Strobilurines). Le témoin est constitué de milieu gélosé à 2 % sans fongicide (0 ppm).

Production de conidies

Par échantillon, des fragments de feuilles malades sont prélevés et placés dans des boîtes de Pétri, face inférieure vers le haut (vers le couvercle). Les boîtes de pétri sont munies de papier filtre humidifié, afin qu'un filet d'eau recouvre en surface les fragments. Les boîtes de pétri sont ensuite mises en incubation pendant 48 heures à

température ambiante. Au terme des 48 heures, les fragments sont observés au microscope photonique afin de s'assurer de la production effective de conidies.

Ensemencement des conidies et incubation

Les fragments de feuilles malades ayant produit beaucoup de conidies sont découpés en fragments de 1 à 2 cm² à l'aide d'une paire de ciseaux. La face inférieure des fragments est appliquée sur la surface du milieu gélosée (16 fragments de feuilles en moyenne par boîte de Pétri) fraîchement préparé et amendé de fongicide.

L'incubation est faite dans des boîtes de Pétris durant 48 heures à température ambiante pour permettre au champignon de pousser.

Lecture au microscope

La lecture est faite au microscope optique (LeitzLaborlux k) 48 heures après la mise en contact des conidies avec le milieu contenant ou non le fongicide. Elle consiste :

Pour les benzimidazoles, à observer la germination normale des conidies (sans aucune déformation) ou anormale (avec déformation des tubes germinatifs) et à considérer aussi les conidies non germées. Le comptage est fait à l'aide d'un compteur mécanique (ferrari-statitest, typ : 8 nr. 84110281) et d'un microscope optique au grossissement $g \times 10$. Au total, 50 conidies sont observées pour chaque concentration (5 ppm). Après le comptage des différentes conidies, le taux de germination normale est déterminé en divisant le nombre de conidies germées par le nombre total de conidies observées. Le seuil de laboratoire pour déclarer la résistance est fixé à 20 % de germination normale à la concentration de 5 ppm.

$$T_{GN} = \frac{N_{GN}}{N_{TO}} \times 100; T_D = \frac{N_D}{N_{TO}} \times 100, \text{ et } T_{NG} = \frac{N_{NG}}{N_{TO}} \times 100$$

T_{GN} = Taux de germination normale ; T_D = Taux de conidies déformées ; T_{NG} = Taux de conidies non germées ; N_{TO} = nombre total de conidies observées ; N_{GN} = nombre de conidies à germination normale ; N_{NG} = nombre de conidies non germées et N_D = nombre de conidies déformées

Pour les triazoles et les strobilurines, il s'agissait de mesurer la longueur des tubes germinatifs réduits et normaux (sans fongicide) des conidies à l'aide d'un microscope optique au grossissement $g \times 40$ muni d'un micromètre-objet gradué de 0,01 mm en 0,01 mm que l'on place sur la platine de l'appareil. Pour chaque concentration, une longueur moyenne des tubes germinatifs de 50 conidies est déterminée. Les taux de réduction de la croissance par rapport au témoin sur un milieu sans fongicide sont ainsi déterminés. Les taux de croissance ont été calculés selon la formule suivante :

$$TI = \frac{LM_0 - LM_T}{LM_0} \times 100 \quad \text{et} \quad TC = 100 - TI, \quad TC = \frac{LM_T}{LM_0} \times 100$$

TI = taux d'inhibition ; LM_0 = longueur moyenne des tubes germinatifs (témoins) ; LM_T = longueur moyenne des tubes germinatifs des différents traitements, TC = taux de croissance.

Le seuil de laboratoire pour déclarer la résistance est fixé, en ce qui concerne les Triazoles à 35% de taux de croissance à 0,1 ppm et à 75 % du témoin, pour les Strobilurines selon les recommandations du FRAC (Knight et al., 2002 [17]).

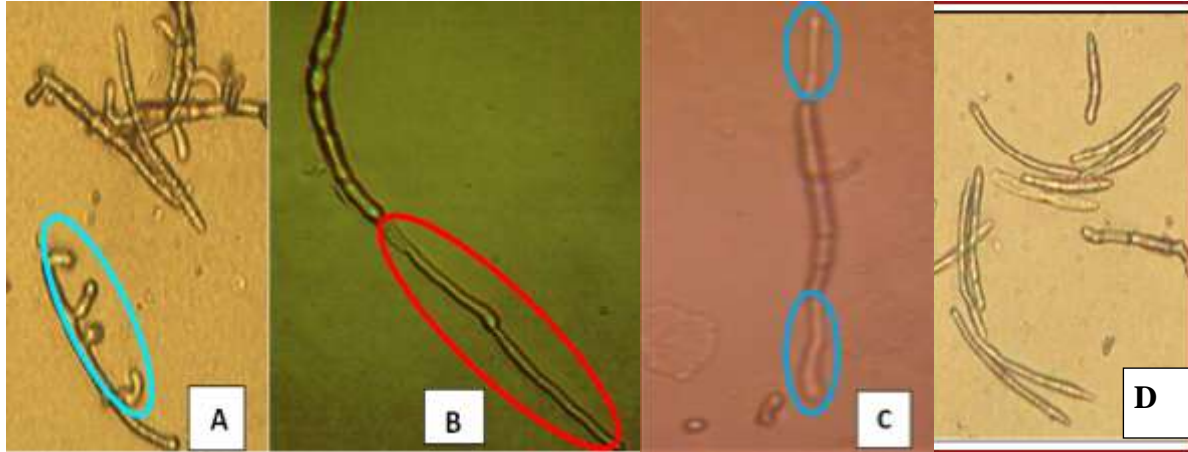


Figure 1:- Exemples de conidies à tubes germinatifs déformés(A), germés normale (B), réduits (C) et des conidies non germées (D).

Resultats :-

Etat sanitaire des plantations

Toutes les plantations visitées sont suivies par des équipes phytosanitaires. En général dans la plupart des plantations, le désherbage et le drainage sont mieux contrôlés. De même, l'état nutritionnel des plantations à vue d'œil semble très satisfaisant et les parties nécrosées des feuilles sont régulièrement supprimées. Le suivi de l'état sanitaire des plantations lui aussi est régulier grâce aux équipes phytosanitaires qui sont chargées de suivre l'état d'évolution de la maladie dans les plantations de façon stricte avec des données numérisées.

Fongicides utilisés dans les différentes zones de production

La succession mensuelle des applications de fongicides en bananeraies montre que différentes matières actives sont utilisées soit simultanément soit les uns après les autres (**Tableau II**) de septembre 2016 à février 2017. Dans les plantations SAKJ (Aboisso), le fongicide Thirame (Banguard) est utilisé chaque mois en alternance avec deux autres fongicides (Chlorothalonil (Balear) et difénoconazole (Difecor) en septembre, Dodine (Sillit) et Chlorothalonil en octobre puis fenpropimorphe (Volley) et difénoconazole dans le mois de novembre).

Dans la plantation ROUCHARD DABOU, mancozeb (Dithane) et Thirame sont utilisés chaque mois. Cependant, en septembre, mancozeb a été utilisé 2 fois en alternance avec Thirame tandis que ce dernier a été utilisé 2 fois en novembre. A BATIA et MOTOBE BASSAM, Chlorothalonil a été utilisé 2 fois respectivement en septembre et février 2017.

Tableau II :- différents fongicides utilisés dans les plantations de septembre 2016 à février 2017.

Plantations		Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Jan-2017	Févr-2017
Aboisso SAK AJ	ELIMA, DICONNE, DIBY, SBMK	Chlorothalonil Thirame Difénoconazole	Dodine, Chlorothalonil, Thirame	Thirame, Fenpropimorphe, Difénoconazole			
ROUCHARD ATINGUE		Mancozeb, Thirame Mancozeb	Epoxiconazole + Fenpropimorphe, Mancozeb Thirame	Mancozeb, Thirame (2) Dodine	Mancozeb, fenpropimorphe + Difénoconazole Thirame		
EGLIN	AGBOVILLE	Difénoconazole Spiroxamine	Epoxiconazole	Fenpropimorphe + pyraclostrobine			

	AZAGUIE	Cumora Impulse	Epoxiconazole				
BATIA		Fenpropimorph + pyraclostrobine, Fenpropimorph Chlorotalonil (2) Pyriméthanil	Pyriméthanil				
SPDCie DABOU						Difénoconazole	Spiroxamine
MOTOBÉ BASSAM					Difénoconazole Spiroxamine	Mancozeb Thirame	Chlorothalonil (2)

Comet plus : m. a.= fenpropimorphe+ pyraclostrobine, Folicur : m. a.= triadimefon, Opal : m. a = époxiconazole, Volley : m. a. = fenpropimorphe, Impulse : m. a.= spiroxamine, Dithane : m. a = mancozeb (multi sites), Balear : m. a.= Chlorothalonil (multi sites), Difecor : m. a.= difénoconazole, Ecran : m. a.= propiconazole, Pyrus : m. a. = Pyriméthanil, Cumora : m. a. = boscalid, Syllit : m. a. = Dodine, Psycho : m. a. = difénoconazole, Banguard : m. a. = Thirame (2) : fongicideutilisé deux fois dans le mêmemois.

m. a. : matière active, **EC** : Concentré Emulsionnable ; **EW** : Emulsion Aqueuse ; **OL** : Liquide miscible à l'huile ; **SC** : Suspension Concentrée ; **OD** : Poudre à dispersion dans l'huile ; **WG** Granulé Auto-dispersible.

Croissance moyennes des tubes germinatifs des conidies de *M. fijiensis* des plantations visitées:

Les mensurations au microscope montrent que leslongueurs moyennes des tubes germinatifs des conidies sans fongicide varient d'une plantation à une autre. Elles sont comprises entre 63 µm et 103 µm. Les longueurs des tubes les plus élevées proviennent de ROUCHARD (Dabou) et les plus faibles de DICONNE (Aboisso) (**Figure 2**).

A l'analyse des longueurs moyennes des tubes germinatifs, il se dégage cinq 5 groupes homogènes statistiquement différents.

1. Le groupe 1 avec ROUCHARD (103 µm) et EGLIN AGBOVILLE (101 µm),
2. Le groupe 2 avec BATIA (88 µm), SPDCie (87 µm), et ELIMA (81 µm),
3. Le groupe 3 composé d'ELIMA (81 µm), SIAPA (74 µm), EGLIN AZAGUIE (73 µm), AKRESSI (72 µm), DIBY (72 µm), SBMK (72 µm) et EGLIN MOTOBÉ (70 µm)
4. Le groupe 4 est constitué de SIAPA, EGLIN AZAGUIE, AKRESSI, DIBY, SBMK, EGLIN MOTOBÉ et du SAUVAGE (70 µm),
5. Et le groupe 5 comprend EGLIN AZAGUIE, AKRESSI, DIBY, SBMK, EGLIN MOTOBÉ SAUVAGE et DICONNE (63 µm).

Au niveau des plantations telles qu'Elima (81 µm) qui est intermédiaire entre b et c, il n'y a aucune différence significative entre les groupes b et c, il en est de même pour SIAPA (74 µm) qui est intermédiaire entre c et d où aucune différence significative n'est notable entre c et d. Le même cas se présente pour le groupe de plantation EGLIN AZAGUIE, AKRESSI, DIBY, SBMK et EGLIN MOTOBÉ qui sont toutes intermédiaire entre c, d et e ainsi il n'y a aucune différence significative entre c, d et e (**Figure 2**).

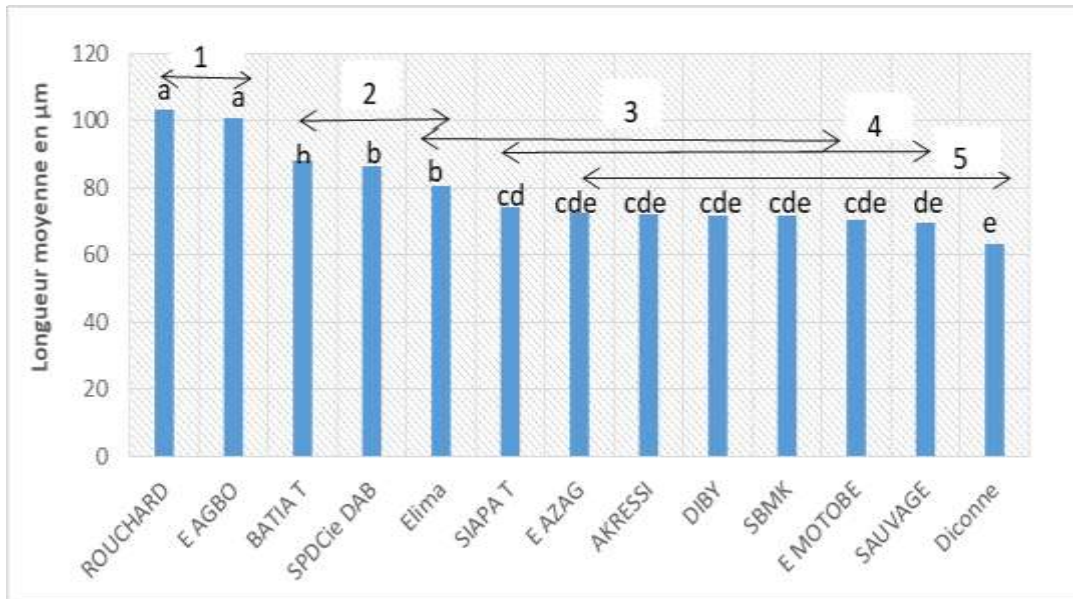


Figure 2:- Longueur moyenne de croissance des tubes germinatifs des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* des différentes plantations sur milieu gélosée sans fongicides (témoins).

Effets des fongicides sur la germination des conidies:

Effets des Triazoles:

L'action des Triazoles sur la croissance des tubes germinatifs des conidies est moyenne dans l'ensemble des plantations.

Sensibilité des conidies aux triazoles:

Sensibilité au difénoconazole : les taux de croissance des tubes germinatifs des conidies des plantations Elima (28%),ROUCHARD (31%) et SPDCie à DABOU (33%), EGLIN AGBOVILLE (34%), BATIA et SIAPA (34%) sont en dessous du seuil de résistance (35%) alors que ceux des autres plantations lui sont supérieurs. Bien qu'étant en dessous du seuil de résistance, les taux de croissance de ces conidies lui sont très proches. L'échantillonnage (49 %) serait aussi résistant (Figure 3).

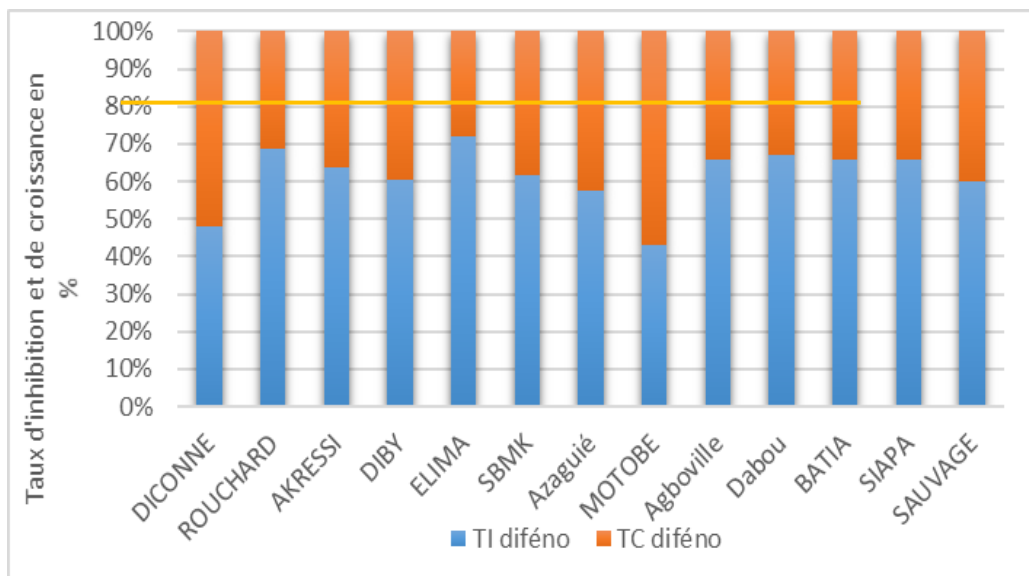


Figure3 :Taux d'inhibition et de croissance des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sur milieu gélosés amendés de difénoconazole à 0,1 ppm

Sensibilité au tébuconazole : pour cette triazole, les taux de croissance de tous les échantillons sont supérieurs au seuil de résistance (**Figure 4**). Donc toutes les conidies sont résistantes au Difénoconazole.

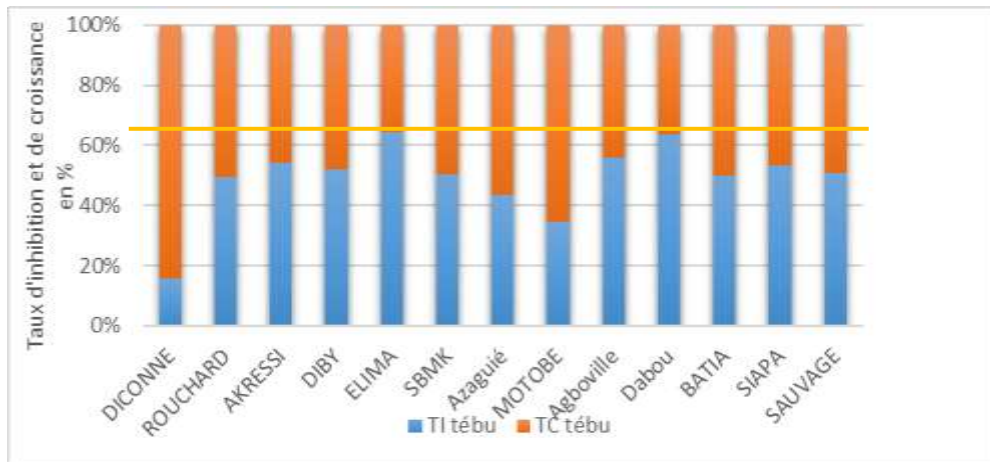


Figure 4- Taux d'inhibition et de croissance des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sur milieu gélosés amendés de tébuconazole à 0,1 ppm.

Sensibilité à l'époxyconazole : hormis les plantations ROUCHARD (29%) et BATIA (35%), toutes les conidies, même les sauvages (37 %) ont un niveau de croissance supérieur au seuil de résistance. Il faut noter que les conidies de ROUCHARD ont un taux d'inhibition certes en dessous du seuil mais pas trop éloigné du seuil par contre celui de BATIA lui est égal

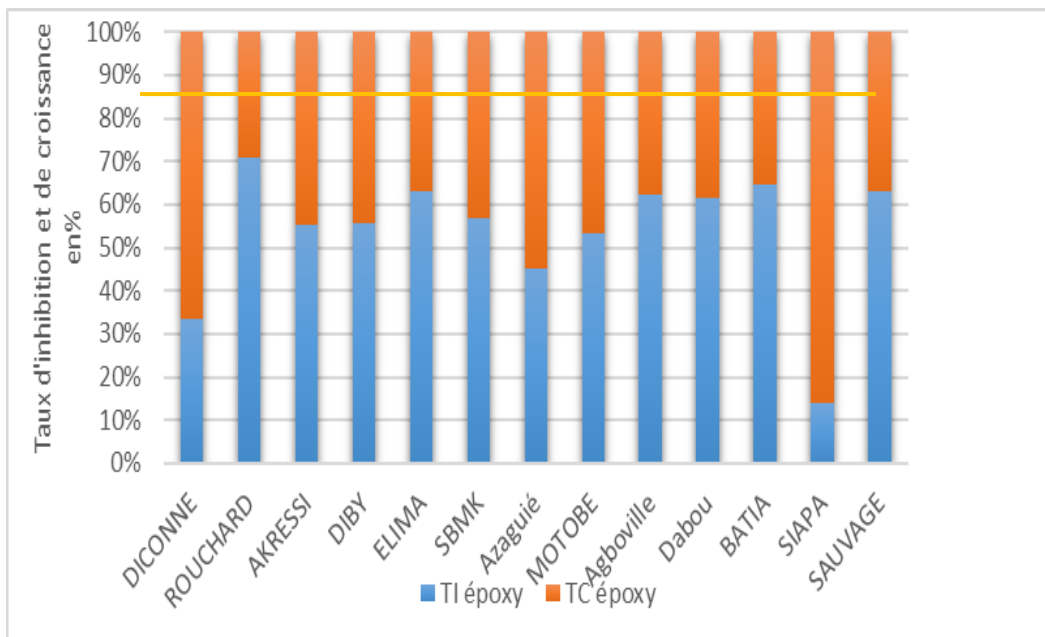


Figure 5- Taux d'inhibition et de croissance des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sur milieu gélosés amendés d'époxyconazole à 0,1 ppm.

Sensibilité des conidies aux Strobilurines

Pour le Trifloxystrobine, seules les plantations DICONNE (81%) et AKRESSI (78%) ont des conidies ayant des taux de croissance de leurs tubes germinatifs supérieurs au seuil qui est de 75% (**Figure 6**).

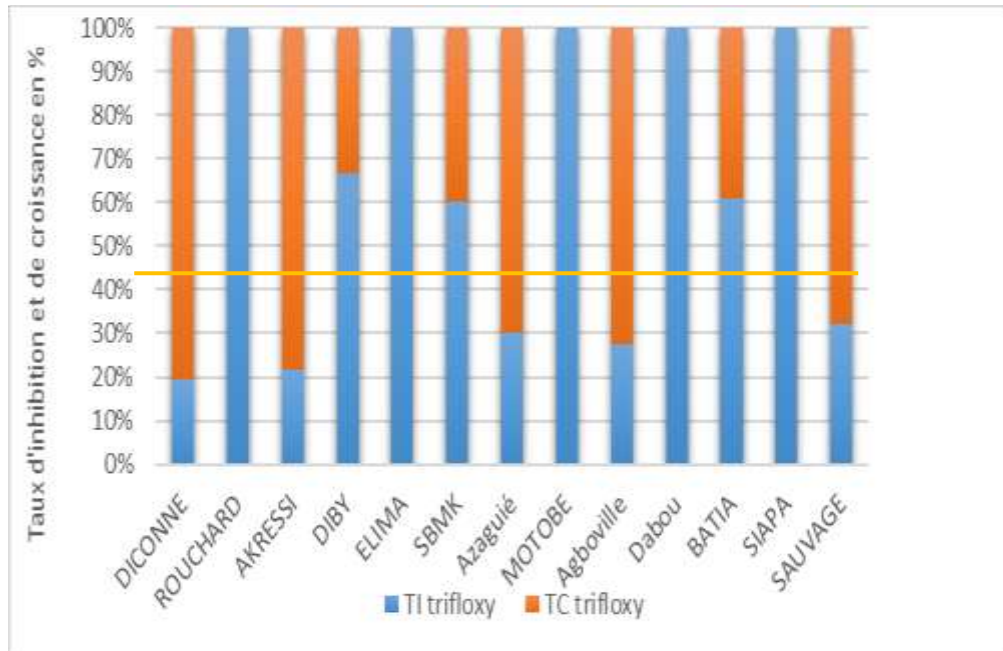


Figure 6:- Taux d’inhibition et de croissance des conidies de Mycosphaerella fijiensis sur milieux gélosés amendés de Trifloxystrobine à 0,1 ppm.

Concernant l’Azoxystrobine, c’est uniquement les conidies de la plantation DICONNE (83%) qui possède un taux de croissance de tubes germinatifs plus élevé que le seuil de résistance (**Figure 7**).

Les échantillons de DICONNE et AKRESSI résistent à la trifloxystrobine et seul l’échantillon de DICONNE a montré une résistance à l’azoxystrobine.

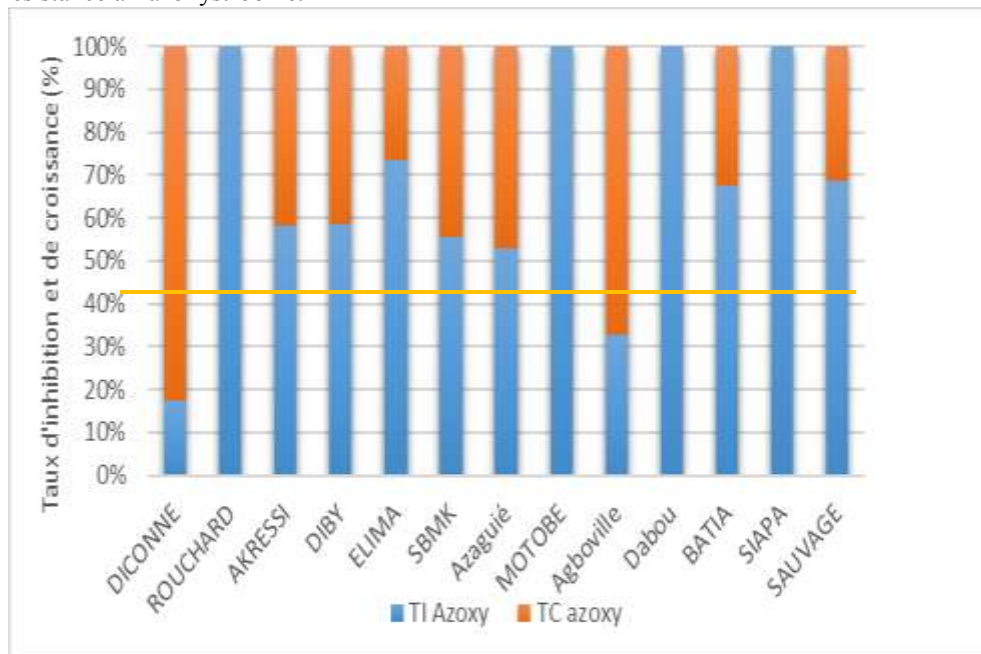


Figure 7:- Taux d’inhibition et de croissance des conidies de Mycosphaerella fijiensis sur milieux gélosés amendés d’Azoxystrobine à 1s ppm.

Sensibilité des conidies aux Benzimidazoles:

Pour la majorité des plantations, le taux de germination normale est nul à l'exception de MOTOBE où il est de 14% et de BATIA avec 1% et dans l'ensemble aucune plantation n'a atteint le seuil de résistance qui est de 20% même si MOTOBE y est proche (**Figure 8**).

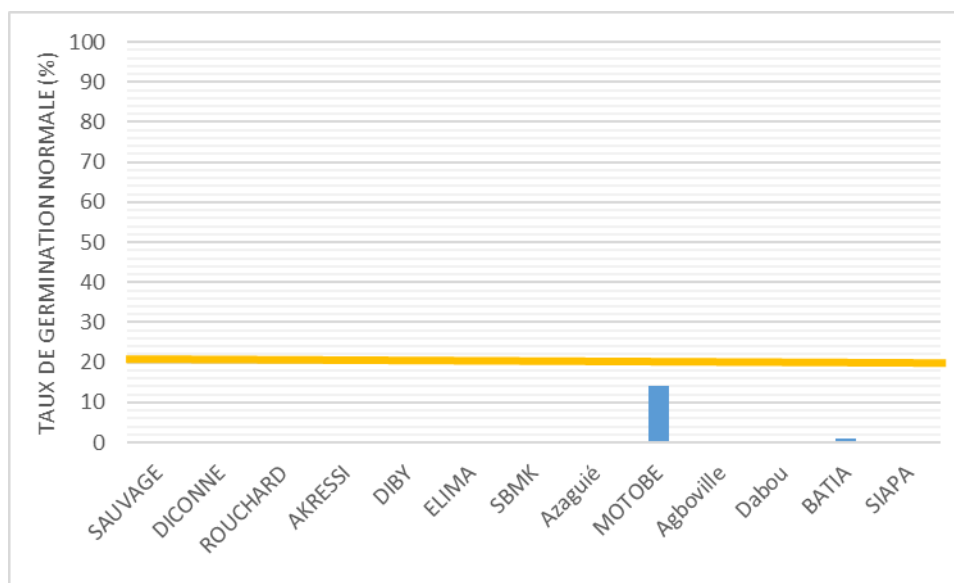


Figure 8 :- Taux de germination normale des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* sur milieux gélosés amendés de Benzimidazoles à 5 ppm.

Discussion:-

Dans l'ensemble pour toutes les plantations, il y a une bonne maîtrise des observations de la maladie sur le terrain conformément aux recommandations sur le respect de la technique de la lutte par avertissement selon **Kermarrec (1990 [18])**. Notamment la suppression des parties nécrosées des feuilles atteintes de la cercosporiose et le suivi de l'état d'évolution de la maladie etc... L'état sanitaire des plantations est bon dans l'ensemble. Les bordures des plantations sont dégagées. L'enherbement est moyennement contrôlé. Les drains sont curés dans l'ensemble des plantations, seule la succession des fongicides reste à revoir car il existe des plantations dans lesquelles les mêmes fongicides sont utilisés de façon récurrente (Thirame dans les plantations SAKJ et Thirame et Mancozeb dans la plantation ROUCHARD) et dans le cas des fongicides de contact, il n'existe pas de risque de résistance mais plutôt de toxicité. Tous ces acquis sont le fruit de campagnes successives de Monitoring cercosporiose qui ont permis un suivi strict des plantations depuis son institution. L'observation au champ s'est aussi intéressée à l'examen et la détection régulière des foyers d'infection qui permettent un meilleur contrôle de la maladie sur le terrain, par l'élaboration de courbes d'état d'évolution, du choix de la famille de fongicides et de la mise en œuvre des applications des fongicides. Les éléments observables tels que les microclimats variant d'une zone à l'autre, les cours d'eau, les retenues d'eau pour l'irrigation, et les canaux de drainage pourraient expliquer la variation de l'état d'évolution de la cercosporiose. Mais avec la présence d'équipes phytosanitaires et d'équipements appropriés il peut y avoir une meilleure gestion de la maladie.

L'utilisation de plusieurs fongicides au cours d'une même application dans certaines plantations (Fempropimorphe + Difénoconazole en décembre puis l'époxiconazole + Fempropimorphe en Octobre à ROUCHARD DABOU) constitue un danger pour l'ensemble des plantations locales car cela peut entraîner l'émergence de souches résistantes difficiles à gérer. En effet les deux fongicides associés dans chaque cas sont des inhibiteurs de la biosynthèse des stérols donc pas de raison valable pour faire cette combinaison. Nos résultats sont conformes avec ceux d'**Essoh (2014 [19])** qui montre qu'au Cameroun l'utilisation intensive de certains fongicides a entraîné l'émergence rapide et la généralisation de la résistance chez les populations de *M. fijiensis* et une perte de contrôle de la maladie. La résistance peut également être le résultat d'utilisation répétée d'un même fongicide ou d'une utilisation systémique (Thirame dans les plantations SAKJ ABOISSO et Thirame et Mancozeb à ROUCHARD DABOU). Au Cameroun, la généralisation de la résistance aux fongicides a entraîné l'abandon de la stratégie de lutte avec les fongicides systémiques au profit d'une méthode de lutte systématique basée sur des fongicides de

contact (**De Lapeyere De Bellaire et al., 2005 [20]**). On pourrait donc affirmer que la résistance au champ est due à la mauvaise utilisation des fongicides et/ou à l'existence préalable de souches mutées dans les populations présentes de champignons qui avec la diminution des autres souches sensibles aux fongicides ont proliférés.

En somme, les observations au champ ne peuvent permettre d'affirmer la présence de souches résistantes, mais plutôt de la gravité de la maladie. C'est pour cela qu'une analyse au laboratoire est nécessaire.

Ainsi des analyses au laboratoire, il ressort que :

La vitesse de croissance des tubes germinatifs des conidies sans fongicide est variable d'une plantation à l'autre. Il existerait donc une variabilité certaine au sein des populations locales du champignon. Quatre groupes ont été mis en évidence en fonction de la vitesse de croissance des tubes germinatifs des conidies.

Tubes germinatifs à croissance rapides (ROUCHARD avec 103 μm en 48 heures et EGLIN Agboville 101 μm),

Tubes germinatifs à croissance moyenne (Compris entre 88 μm pour BATIA et 81 μm pour Elima),

1. Tubes germinatifs à croissance intermédiaire (compris entre 74 μm pour SIAPA et 70 μm pour le Témoin),
2. Tubes germinatifs à croissance lente (DICONNE 63 μm).
3. Les conidies provenant des plantations de la zone d'Aboisso ont des longueurs des tubes germinatifs très proches (ces plantations appartiennent à une même société de production et donc ont le même programme de traitement)
4. Par contre les tubes germinatifs des conidies des deux plantations de la zone de Tiassalé n'ont pas les mêmes vitesses de croissance (elles appartiennent à deux sociétés de production différentes avec différents programmes de traitements)

Les zones à forte humidité et à luminosité faible sont favorables à une croissance rapide des conidies (**Etebuet al., 2005 [21]**), c'est le cas de ROUCHARD à Atingué.

Le taux de germination normale des conidies des *Mycosphaerella fijiensis*, à la concentration de 5 ppm de méthyl-thiophanate est nul dans presque toutes les plantations à l'exception de MOTOBE (14%) où il n'est pas très éloigné du seuil de résistance et à BATIA (1 %) où il est très faible. Il est aussi nul pour l'échantillon sauvage. Ces résultats sont conformes à ceux de la dixième campagne Monitoring selon lesquels les Benzimidazoles ont eu un bon niveau d'efficacité sur les conidies exceptées celles d'EGLIN MOTOBE (27,4 %) (**Kobenanetal., 2013 [22]**). Ainsi les fongicides de la famille des Benzimidazoles utilisés ont une efficacité *in vitro* très remarquable sur la germination des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* quelle que soit la zone de prélèvement. La sensibilité de ce champignon à ce fongicide (méthyl-thiophanate) serait due au fait que cette famille (Benzimidazoles) serait rarement utilisée dans la majorité des plantations étudiées. Par contre sur la plantation de MOTOBE, cette famille de fongicides doit être utilisée avec beaucoup de précautions pour éviter une résistance éventuelle. Ainsi, pour toutes les plantations, il est important de continuer à surveiller l'efficacité des Benzimidazoles au champ à cause de leur action unisite (**Cronshaw et Akers, 1989 [23]**). Ce fait peut induire à tout moment des souches pathogènes résistantes, si cette famille de fongicide est utilisée de façon abusive comme en Amérique Centrale deux ans seulement après son introduction (**Mourichon, 1995 [24]**).

Les Triazoles à la concentration de 0,1 ppm qui est la référence au champ, l'efficacité varie d'une plantation à une autre et selon le fongicide utilisé

Pour le difénoconazole, à la concentration de 0,1 ppm, seules les plantations ROUCHARD (31%), ELIMA (28%), EGLIN Agboville (34%), SPDCie (33%), BATIA (34%) et SIAPA (34%) ont un taux de croissance des tubes germinatifs des conidies en dessous du seuil de résistance (35%). Donc les conidies venant des autres plantations (DICONNE, AKRESSI, DIBY, SBMK, EGLIN AZAGUIE, et MOTOBE) ainsi que l'échantillon sauvage ayant un taux de croissance supérieur à 35% sont résistantes au difénoconazole.

Pour le tébuconazole, à la concentration de 0,1 ppm les taux d'inhibitions de toutes les conidies sont en dessous du seuil de résistance (65%). Donc les conidies issues de toutes les plantations sont résistantes au tébuconazole.

Pour l'époxyconazole, la plupart des conidies ont des taux de croissance plus élevés que le seuil de résistance (35%) à l'exception de ROUCHARD (29%) et de BATIA (35%). Au vu de ces résultats, nous pouvons dire que toutes les souches testées à l'époxyconazole sont résistantes à l'exception de celles de ROUCHARD.

En général, l'on remarque que les conidies qui ont une vitesse de croissance rapide sur milieu sans fongicide sont plus sensibles aux Triazoles. Cela sous-entend qu'il pourrait exister un lien entre la vitesse de croissance, des tubes germinatifs, les modes de traitements et la sensibilité des conidies.

Au vu des résultats de la dixième campagne du Monitoring (**Kobenanet al., 2013 [22]**), selon lesquels CDBCI Tiassalé (actuelle BATIA) a été la seule plantation, qui a eu un taux d'inhibition (64,4 %) en deçà du seuil de résistance (65 %), nos résultats devraient interpeller les producteurs quant à l'usage des triazoles. En effet, notre étude a révélé une perte d'efficacité de cette famille de fongicide au laboratoire. Cette perte d'efficacité pourrait être due à une utilisation répétée des Triazoles. Il serait donc souhaitable de suspendre leur utilisation.

Concernant les Strobilurines, pour le trifloxystrobine, les conidies des plantations DICONNE (81%) et AKRESSI (78%) ont des taux de croissance de tube germinatif supérieurs au seuil de résistance (75%). Les conidies de ces plantations sont donc résistantes à cette matière active. L'azoxystrobine s'est révélée inefficace seulement à DICONNE avec un taux de croissance de 83% supérieur au seuil qui est 75%. Seules les conidies de DICONNE sont résistantes à l'azoxystrobine. Cela signifie que les Strobilurines ont une bonne efficacité sur la germination des tubes germinatifs des conidies dans l'ensemble et cela est conforme aux résultats de la dixième campagne Monitoring (**Kobenanetal., 2013 [22]**) qui ont révélé que les Strobilurines inhibent considérablement la germination des conidies (0 % et 69,86 %).

Conclusion:-

Notre étude a été menée en deux phases, celle de l'observation au champ et l'autre de l'analyse au laboratoire. La première qui consistait à faire des observations au champ nous a permis de constater un bon état sanitaire de l'ensemble des plantations et un suivi régulier des plantations, mais une mauvaise utilisation des fongicides dans certaines plantations malgré les nombreux avertissements. L'analyse au laboratoire a contribué à la mise en évidence d'une perte d'efficacité des Triazoles dans la majorité des plantations. Et un bon niveau de sensibilité des conidies de *Mycosphaerella fijiensis* aux Strobilurines et aux Benzimidazoles sur l'ensemble des plantations, les Benzimidazoles ont surtout été efficaces sur toutes les souches. Toutes fois, il convient de suivre les Strobilurines de très près car elles montrent des niveaux de résistances préoccupants des souches d'AKRESSI avec 78% de taux de résistance au trifloxystrobine, mais surtout celles de DICONNE qui ont des taux de résistances de 81% au trifloxystrobine et 83% à l'azoxystrobine.

Remerciements:-

Nos remerciements vont à l'endroit des planteurs pour leur coopération et du FIRCA (Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricole) pour son aide financière.

Références:-

1. Stover R. H., 1980. - Sigatoka leaf spot of bananas and plantains. *PlantDisease* 64: 750-755.
2. Pasberg-gauhl C, and Gauhl F, 2000. - Response to east African Highland Bananas to black leaf streak sigatoka and *Cladosporium* leaf speckle under tropical humid forest and conditions in West Africa. In: *Banana and Plantain for Africa*. K. Craenen et al (Eds). Proc. I. Int. Symp Acta Hort. 540 p.
3. Mourichon X., and Fullerton R, 1990. - Geographical distribution of two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercosporomusae*) and *M. fijiensis* morelet (*Cercospora fijiensis*), respectively agents of Sigatoka and Black leaf streak diseases in bananas and plantains. *Fruits* 45: 213-218
4. Camara B.-2011.- Caractérisation des parasites fongiques foliaires et telluriques en Côte d'Ivoire chez les bananiers (*Musa* sp.) et recherche de méthodes de lutte. Thèse de Doctorat Unique. Laboratoire de Physiologie Végétale, UFR biosciences, Université de Cocody-Abidjan. 219 p
5. Ramsey MD, Daniells JW, Anderson VJ, 1990.- Effects of sigatoka leaf spot (*Mycosphaerellamusicola* Leach) on fruit yield, field ripening and greenlife of bananas in North Queensland. *Scientia Horticulturae* 41: 305-313
6. Chillet M, Abadie C, Hubert O, Chilin-Charles Y, de Lapeyre de Bellaire L, 2009.-Sigatoka disease reduces the green life of bananas. *Crop Protection*, 28 (1): 41-45
7. Brent K. J., 1995. - Fungicide Resistance in Crop Pathogens, How Can it be Managed. *Global Crop Protection Federation, FRAC Monograph No. 1* (second, revised edition) Brussels, Belgium p 60.
8. Scheinplug H., 1987. - Fungal resistance to sterol biosynthesis inhibitors: a new challenge. *Plant Disease*, 71, 1066-1074.

9. Ma Z., Michailides T. J., 2005.-Advances in understanding molecular mechanisms of fungicide resistance and molecular detection of resistant genotypes in phytopathogenic fungi. *Crop Protection*,24, 853-863.
10. Essoh N. J., De Lapeyre De Bellaire L. et Foure E., 2006. - La lutte chimique raisonnée contre la maladie des raies noires des bananiers au Cameroun : évolution de la résistance des fongicides. In : 8^{ème} Conférence Internationale sur les maladies des plantes. 8, 2006-12-05/2006-12-06, Tours, France.
11. Ganry J. et Laville E., 1983.- Les cercosporioses des bananiers et leurs traitements. Evolution des méthodes de traitements : 1) - Généralités, 2) - traitements fongicides, 3) - avertissement. *Fruits*, 38 (1) : 3 - 20 et 38 (2) : 75 - 82.
12. Gnonhour G. P., Adiko A., Kobenan K. et Ake S., 2009.- Longévité des bananeraies industrielles en relation avec le parasitisme des nématodes *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 19 : 1100 – 1111 ISSN 1997–5902
13. Fouré E., 1984.- Etude de la sensibilité variétale des bananiers et des plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet et de quelques caractéristiques biologiques de la maladie au Gabon. *Fruits* 39, 365-378.
14. Kobenan K., Traoré S. et Essis B., 2009.- Niveaux de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire aux fongicides systémiques dans les plantations industrielles de bananiers en Côte d'Ivoire en 2008. Premier rapport d'étape Convention FIRCA/CNRA. Abidjan (Côte d'Ivoire) 22p.
15. Van Den B (Joanna)1989.- Méthode de surveillance des populations de *Mycosphaerella musicola*, devenant plus ou moins résistantes aux fongicides utilisés dans les bananeraies martiniquaises. *Fruits*,44 (11) 599-602.
16. Essis B, Kobenan K, Traoré S, Koné D et Yatty J., 2010.- Sensibilité au laboratoire de *Mycosphaerella fijiensis* responsable de la cercosporiose noire des bananiers vis-à-vis des fongicides couramment utilisés dans les bananerais ivoiriennes. *JAPS* 7 : 822-833.
17. Knight S., Wirz M., Amil A., Hall A. et Shaw M. 2002. - The role of managing resistance to fungicides in maintaining strategies to control black leaf streak diseases. In: L. Jacome, P. Lepoivre, D. Marin, R. Ortiz, R. Romero and J. V. Escalant editors, Pp303 – 307 *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. Proceeding of the 2nd International workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases held in San José Costa Rica, 20 – 23 May 2002
18. Kermarrec D., 1990.- L'avertissement cercosporiose. Lutte contre la cercosporiose jaune du bananier sur avertissement biologique. Manuel du planteur. Abidjan (Côte d'Ivoire): CIRAD-IRFA, 81 p
19. Essoh N. J., 2014.- Sélection et évolution de la résistance aux fongicides systémiques chez *Mycosphaerella fijiensis* agent causal de la maladie des raies noires des bananiers. Thèse de Doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, Montpellier (France), 144p.
20. De Lapeyre de Bellaire L., Ngando E. J. et Fouré E., 2005.- Evolution de la résistance aux fongicides utilisés pour lutter contre la maladie des raies noires dans les plantations Agro-industrielles des bananes au Cameroun. 1^{er} symposium international sur la protection intégrée des cultures dans la zone CMAC, systématique et diagnostic des maladies, 6-9 décembre 2005. Dschang, Cameroun, 30 p.
21. Etebu E., Pasberg-Gauhl C., Gauhl F. et Daniel-Kalio L., 2005.- Effet de la lumière et de la circulation de l'air dans la sporulation et la croissance de *Mycosphaerella fijiensis*. *Info musa*, 171p.
22. Kobenan K., Traoré S. et Essis B., 2013.- Niveaux de sensibilité du champignon responsable de la cercosporiose noire aux fongicides systémiques appliqués sur les bananiers en plantations industrielles en Côte d'Ivoire en Mars 2013. Dixième rapport d'étape Convention FIRCA/CNRA MONITORING CERCOSPORIOSE DU BANANIER. Abidjan (Côte d'Ivoire), 34p
23. Cronshaw D. K. et Akers A., 1989. - Mode of action of tridemorph and sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis*. In: Fullerton; R.A. et Stover; R. H. Sigatoka leaf spot diseases of Bananas, proceedings of an international workshop, San José, Costa Rica, 28 Mars – 1 Avril 1989.
24. Mourichon X., 1995. - Les cercosporioses des bananiers et plantains : éléments sur la biologie des interactions et les stratégies de lutte. In : Savary Serge (ed.). Modélisation en protection des cultures. Paris : ORSTOM, 1995, (Colloques et Séminaires). Modélisation en Protection des Cultures : Séminaire International, Montpellier (France), p. 83-91.

PUBLICATION 2

Kouamé Kouassi James Joseph, Traore Siaka, Traore Karidia, N’Goran Aby, and Kobenan Kouman. (2021).

REACTIONS OF WILD POPULATIONS OF *MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS* TO THREE FAMILIES OF FUNGICIDES. *International Journal of Innovation and Scientific Research* ISSN 2351-8014 Vol. 53 No. 2 Mar. 2021, pp. 149-162

REACTIONS OF WILD POPULATIONS OF *MYCOSPHAERELLA FIJIIENSIS* TO THREE FAMILIES OF FUNGICIDES

Joseph Kouamé Kouassi James¹, Traore Siaka², Traore Karidia¹, N'Goran Aby², and Kobenan Kouman²

¹Laboratory for the improvement of agricultural production, UFR Agroforesterie, University Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Culture Defense Laboratory, National Agronomic Research Center (CNRA), Bimbresso Station, 01 BP 1536 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In order to know the origin of the resistance in order to develop a control strategy that respects the environment and human health, this study was initiated. More specifically, it should make it possible to determine the reaction of wild strains of *Mycosphaerella fijiensis* to systemic synthetic fungicides in areas of intensive cultivation of dessert bananas for export in Côte d'Ivoire. Samples of leaves from dessert and plantain banana trees affected by Black Leaf Streak Disease at stages 3 and 4 were taken at a distance of at least 10 km from the industrial plantations and then transported to the laboratory for fungicide sensitivity tests on agar medium according to the method proposed by **Van Den Berg Loridat in 1989** and modified by **Kobenan and al in 2008**. These tests revealed remarkable efficacy of all fungicides on all wild conidia of *Mycosphaerella fijiensis* regardless of their origin. For the triazoles the inhibition rates ranged from 67.45% to 75% for tebuconazole, 67.34% to 79.41% for epoxyconazole, and 70% to 80.14% for tebuconazole. As for methyl thiophanate, germination rates were between 0 and 11%. For azoxystrobin, germination rates were between 0 and 20 %. However, the same tests carried out in industrial plantations revealed losses in the effectiveness of certain fungicides of the triazole family in certain areas. This loss of efficacy observed in plantations regularly treated with fungicides is due to the repeated use of these fungicides without any real alternation (of the different families of active ingredients), which would have eliminated strains sensitive to these active ingredients and facilitated the proliferation of non-sensitive strains.

KEYWORDS: Reactions, Wild Populations, *Mycosphaerella Fijiensis*, Fungicides.

1 INTRODUCTION

Banana Black Leaf spot (Black Sigatoka) caused by *Mycosphaerella fijiensis* is ubiquitous in the banana plantations in Côte d'Ivoire [1] (**Koné and al., 2009**). It attacks the leaves, causes their deterioration and thus reduces their photosynthetic capacity, which reduces the number of functional leaves, resulting in a loss of yield that can be total [2], [3] (**Carlier and al., 2000; Ganry, 2010**). In the absence of resistant varieties, intensive cultivation of dessert bananas for export is only possible through strict chemical control. The introduction of synthetic systemic chemical fungicides of the benzimidazole family (antimitotics) in banana plantations dates back to the 1970s, following the oil boom, which led to an increase in weekly applications of contact chemical fungicides. Thus, treatments that had previously been curative became both preventive and curative, as the fungicide was able to protect the newly released leaves. With a reduction in the rate of applications, and thus a reduction in the budget for controlling this disease, the banana industry was able to maintain a relative competitiveness. Soon, repeated applications of this family of fungicides in banana plantations became less and less effective, due to the emergence of strains of the fungus resistant to this range of products. In the early 1980s, a new generation of fungicides (sterol biosynthesis inhibitors) was tested in plantations. The most well-known of these, propiconazole, proved more effective than antimitotics such as methyl thiophanate [4], [5] (**Fouré, 1983; Fouré, 1984a**). Like the antimitotics, triazoles were quick to generate races of the fungus resistant to this range of fungicides. Indeed, the appearance of resistance zones has been observed in banana

plantations in south-eastern Côte d'Ivoire for more than a decade. The reduction of susceptibility to propiconazole has been reported by some authors [6] (De Lapeyre de Bellaire L., 1990). Losses of propiconazole sensitivity in Banacomoé had already been reported in 2005 [7] (N'guessan, 2008), with inhibition rates of 46% at 0.1 µL/L and a CI 50 of 0.107 µL/L [8]. (Essis and al (2010) revealed cases of resistance in *Mycosphaerella fijiensis* populations in the Aboisso production area. The percentage of inhibition was 43%. As a result, new molecules belonging to the Strobilurins and Spiroketalamines have been approved for use alone or in alternation with existing molecules [1] (Koné and al., 2009).

The main reason for resistance results from poor implementation of recommendations for the use of synthetic chemical fungicides [8] (Essis, 2010). The use of synthetic fungicides also leads to higher production costs and contamination of bananas and the environment [9], [10], [11] (Rodríguez & Jiménez 1985, Fullerton & Olsen, 1991; Mouliom, 1999). In fact, we are witnessing an increase in the number of weekly fungicide treatments (40 to 50 treatments per year) and this accentuates the contamination of bananas and the environment. Banana Black Leaf Streak Disease monitoring analysis has enabled us to confirm that there is a loss of efficacy, especially with triazoles in Ivorian banana plantations [12] (Kobenan and al., 2016). This loss of fungicide efficacy can be attributed to several factors, including under-dosing of the fungicide itself, misuse by the phytosanitary teams on the plantations, the existence of resistant strains that have proliferated, or a combination of two or more of these factors.

Several decades after the introduction of benzimidazoles, followed years later by the introduction of triazoles, what about the "wild populations" of the fungus in areas producing bananas for export? The answer to this concern would arise from a series of studies in which this paper is part, which aims to investigate the sensitivity to systemic fungicides of the fungus *Mycosphaerella fijiensis* in its wild state (never treated with fungicides) in areas producing dessert bananas for export, in order to develop a control strategy that is respectful of the environment and human health.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The sampling zone extends, on the one hand, between the 5th and 6th degrees of North latitude and, on the other hand, between the 3rd and 5th degrees of West longitude [13] (Lassoudière, 1978). This zone groups together the main industrial plantations of dessert banana trees (Figure 1). It is subdivided into administrative regions whose climatic characteristics are defined as follows; according to the site https://planificateur.a-contresens.net/afrique/cote_d_ivoire/:

- The South-Comoé region (Aboisso, Bassam and Bonoua) has forest vegetation, a savannah climate with a long dry season accompanied by hot, dry winds, an average temperature of 26.5°C and an average annual rainfall of 1266 mm;
- The Lagoon region (Anguédou) has a savannah climate with a long period of Harmattan. Over the year, the average temperature is 26.7°C and the average rainfall is 1466.4 mm;
- The region of Agneby-Tiassa situated at the savannah-forest border (Tiassalé, N'douci, Agboville and Azaguié) also has a savannah climate with a long dry season accompanied by hot, dry winds. Over the year, the average temperature is 26.7°C and rainfall averages 1466.4 mm.

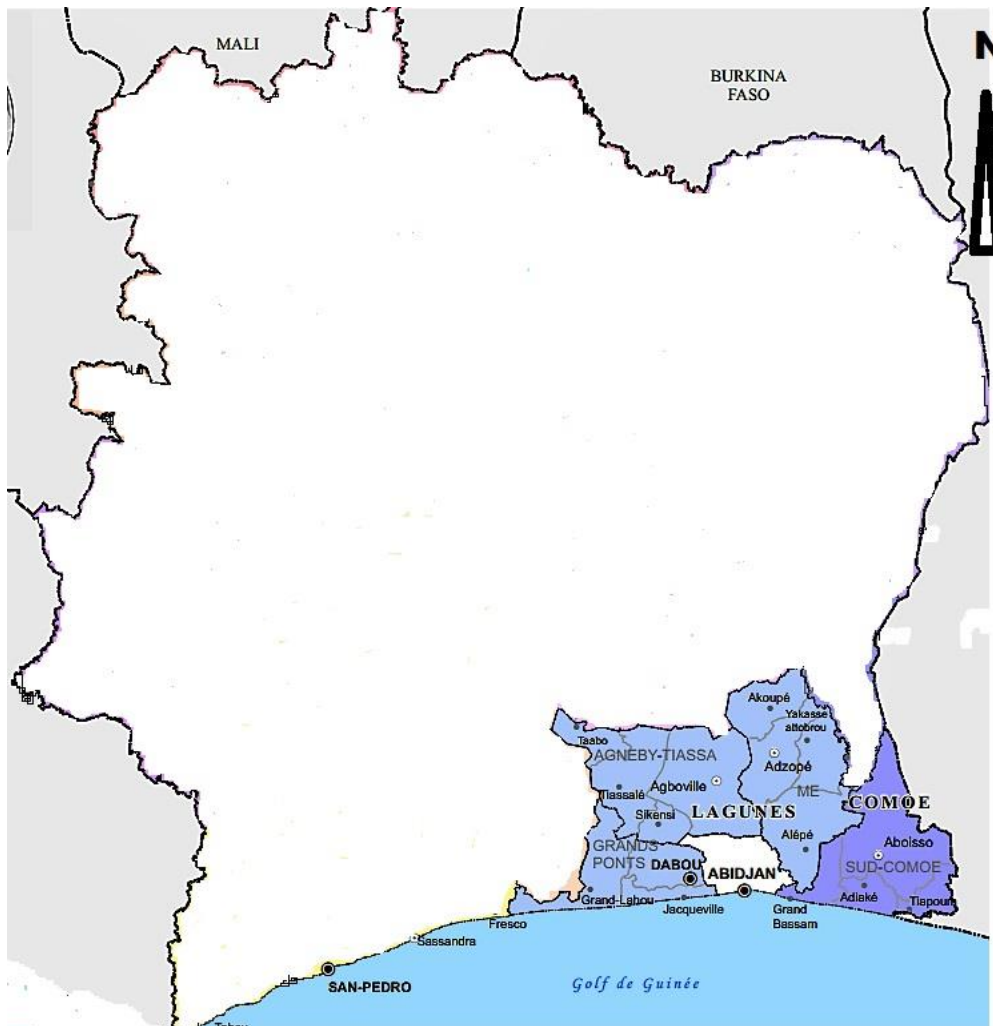


Fig. 1. Map showing the study area

2.2 PLANT MATERIAL

The plant material used for this study consisted of banana leaves and plantain from village plantations in export banana production areas and trials established in Anguédou, showing symptoms of Black Leaf Streak disease at stages 2 to 4 [14] (Fouré, 1984 b).

2.3 FUNGAL MATERIAL

The fungal material consists of conidia of *Mycosphaerella fijiensis* from the leaves of banana and plantain trees bearing the symptoms of Black Leaf Streak disease from the localities of Aboisso, Bonoua, Agboville, Azaguié, Tiassalé, N'douci and Anguédou.

2.4 FUNGICIDES USED

The fungicides used for conidial susceptibility testing are unisite (systemic) and belong to three families of fungicides used in the banana plantations of Côte d'Ivoire (Table 1). These fungicides were supplied by the phytosanitary teams of the plantations.

Table 1. Different fungicides used

Family	Trade name	Active ingredient	Formulation	Dose
Triazoles		Sterol Biosynthesis Inhibitor, DM		
	Folicur 250 EW/Junior	Tebuconazole	250 g/l	0,4 l/ha
	Opus 075 EC	Epoxiconazole	75 g/l	1 l/ha
	Sico 250 EC	Difenoconazole	250 g/l	0,3-0,4 l/ha
Benzimidazoles	Peltis/Calis	Antimitotic, MBC Methyl-thiophanate	400 g/l	320 g/ha
Strobilurins	Bankit	Breathing inhibitor, IQ Azoxystrobin	400 g/l	0,4 l/ha
	Téga 075 EC	Trifloxystrobin	75 g/l	75g/ha

2.5 METHODS

LEAF REMOVAL

The essential material for our study is conidia of the fungus *Mycosphaerella fijiensis*. To obtain it, samples of bananas leaves (Banana and plantains) are taken from village plantations or in trials. These leaves must show symptoms of stages 3 or 4 of Black Leaf Streak disease. They are taken at a distance of at least 10 km from the industrial plantations and then packed in plastic packaging with labels, which constitutes a sample. The samples obtained are transported to the laboratory for analysis.

2.6 METHOD OF ANALYSIS IN THE LABORATORY

The analytical method used to test the sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* to these three families of fungicides is a modification of the one described by [15] Van Den Berg (1989) and modified by [16] Kobenan *and al* (2008). It involves the following steps:

2.6.1 PREPARATION OF STOCK SOLUTIONS

Stock solutions are obtained by dissolving raw fungicides in sterile distilled water. Dissolve 0.1 ml methyl thiophanate (benzimidazoles), 0.16 ml difenoconazole, epoxiconazole, and tebuconazole (triazoles) and azoxystrobin (strobilurins) in 40 ml sterile distilled water to give a concentration of 1000 µL/L for each fungicide. The others (100, 10, 5 µL/L....etc.) are obtained by successive dilutions. All these solutions are kept in the refrigerator at 4° C.

2.6.2 PREPARATION OF THE CULTURE MEDIUM

The agar media with 2% agar (i.e. 20 g of agar for 1 L of distilled water) are prepared in Erlenmeyers and are autoclaved at 121°C for 20 minutes at a pressure of 1 bar. After autoclaving, depending on the desired concentration, dilutions are made. The mixture is then well homogenised with the help of a stirrer and poured into Petri dishes at a rate of 10 to 15 ml per dish. The doses studied are 5 µL/L of methyl thiophanate (Benzimidazoles) and 0.1 µL/L of difenoconazole, epoxyconazole and tebuconazole (Triazoles) followed by 1 µL/L of azoxystrobin and 0.1 µL/L of trifloxystrobin (Strobilurins). The control is a 2% fungicide-free agar medium (0 µL/L).

2.6.3 CONIDIAL INOCULATION AND INCUBATION

Fragments of diseased leaves that have produced many conidia are cut into fragments of 1 to 2 cm² using a pair of scissors. The underside of the fragments is applied to the surface of the freshly prepared agar medium (16 leaf fragments on average per Petri dish) and amended with fungicide.

Incubation is done in Petri dishes for 48 hours at room temperature to allow the fungus to grow.

2.6.4 MICROSCOPIC READING

The reading is made with an optical microscope (Leitz Laborlux k) 48 hours after the conidia have been in contact with the medium containing or not containing the fungicide. It consists of:

- For benzimidazoles, to observe the normal germination of the conidia (without any deformation) or abnormal (with deformation of the germ tubes) and to consider also the non-germinated conidia. The counting is done with the help of a mechanical counter (ferrari-statitest, typ: 8 nr. 84110281) and an optical microscope with magnification $g \times 10$. A total of 50 conidia are observed for each concentration (5 $\mu\text{L/L}$). After counting the individual conidia, the normal germination rate is determined by dividing the number of germinated conidia by the total number of observed conidia. The laboratory threshold for reporting resistance is 20% normal germination at the 5 $\mu\text{L/L}$ concentration.

$$\text{TGN} = \frac{N_{\text{GN}}}{N_{\text{TO}}} \times 100; \quad \text{TD} = \frac{N_{\text{D}}}{N_{\text{TO}}} \times 100; \quad \text{TNG} = \frac{N_{\text{NG}}}{N_{\text{TO}}} \times 100$$

TGN= Normal germination rate; TD= Rate of deformed conidia; TNG = Rate of ungerminated conidia; NTO = total number of conidia observed; NGN = number of conidia with normal germination; NNG = number of ungerminated conidia and ND = number of deformed conidia.

- For triazoles and strobilurins, the length of the reduced and normal (fungicide-free) germ tubes of the conidia was measured using an optical microscope at $g \times 40$ magnification with a micrometer-object graduated in 0.01 mm increments, which was placed on the stage of the device. For each concentration, an average germ tube length of 50 conidia is determined. The rates of growth reduction compared to the control on a fungicide-free medium are thus determined. The growth rates were calculated according to the following formula:

$$\text{TI} = \frac{\text{LMO} - \text{LMT}}{\text{LMO}} \times 100, \quad \text{et TC} = 100 - \text{TI} = \frac{\text{LMT}}{\text{LMO}} \times 100$$

TI=inhibition rate; LMO= average germ tube length (controls); LMT= average germ tube length of the different treatments, TC= growth rate.

The laboratory threshold for reporting resistance is set, for Triazoles at 35% growth rate at 0.1 ppm and for Strobilurins at 75% of the control, according to the FRAC recommendations [17] (Knight and al., 2002).

2.7 METHODS OF STATISTICAL ANALYSIS

Conidial germ tube lengths (without fungicide), inhibition rates at 0.1 ppm triazoles and germination rates with benzimidazoles and strobilurins were treated by analysis of variance (ANOVA) at 5% significance using the statistical software STATISTICA 7.0. The NEWMAN KEULS test was used to separate the means. EXCEL software was used to plot the graphs.

3 RESULTS

3.1 GROWTH OF CONIDIAL GERM TUBES ON FUNGICIDE-FREE AGAR MEDIUM

The growth of conidial germ tubes from plantations never treated with fungicides is not uniform (Figure 2). Some plantations show similarities. The length of conidial germ tubes varies from 81 μm to 102 μm depending on the locality. Thus, three groups of germ tube lengths were statistically distinguished.

The germ tubes of conidia taken from the leaves of dessert banana trees belonged to all three groups, but conidia taken from the leaves of plantain trees had germ tubes of average size intermediate between slow and fast growing tubes.

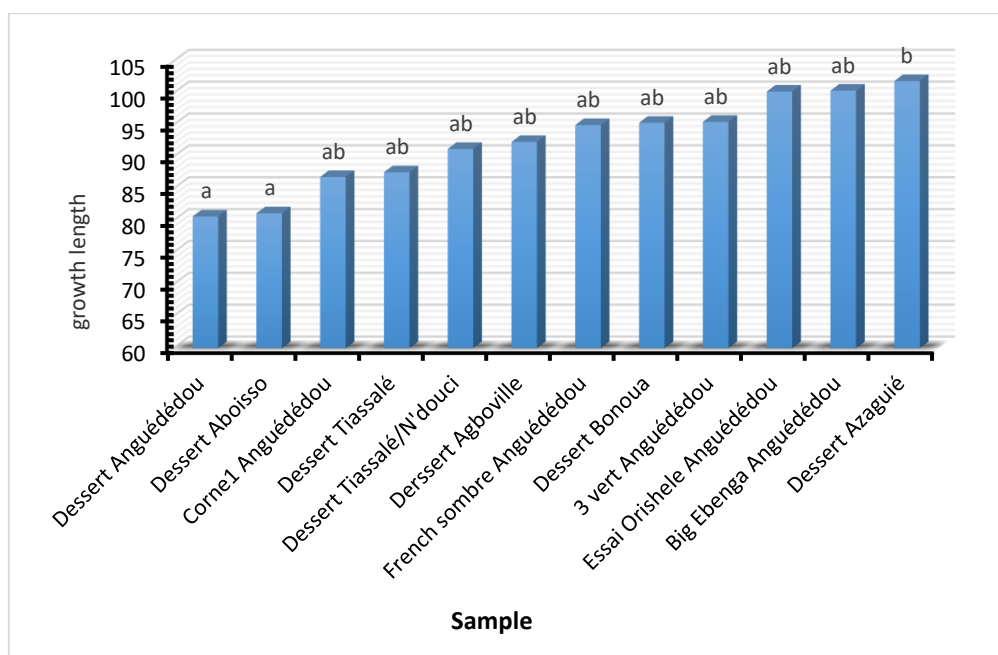


Fig. 2. Average growth of conidial germ tubes of wild populations of *Mycosphaerella fijiensis* on agar medium without fungicide from export banana production areas in Côte d'Ivoire

3.2 SENSITIVITY OF *MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS* CONIDIA TO FUNGICIDES

3.2.1 SENSITIVITY TO TRIAZOLES

In triazoles, there was no significant variation in the rates of conidial germ tube growth inhibition between the different active ingredients.

- Sensitivity of conidia of *Mycosphaerella fijiensis* to difenoconazole

Germination inhibition rates of *Mycosphaerella fijiensis* conidia treated with the active ingredient Difenoconazole (Figure 3) vary from 70% to 80%.

However, three groups were statistically distinguished:

- The group with inhibition rates close to the resistance threshold comprising the samples of the Anguédou dessert (70%), 3 green Anguédou (72%), Azaguié dessert (73%) and that of the Tiassalé/N'douci axis (73%).
- The group of intermediate inhibition rates between groups "a" and "b" includes the samples of Anguédou horn (74%), Agboville dessert, French Sombre and Orishele Anguededou (75%) then those of Big Egenga Anguédou (75%), Aboisso and Bonoua dessert (76%). In this group we have inhibition rates far from the resistance threshold.
- And the group of high inhibition rates with the sample of Tiassalé dessert (80%) with the highest inhibition.

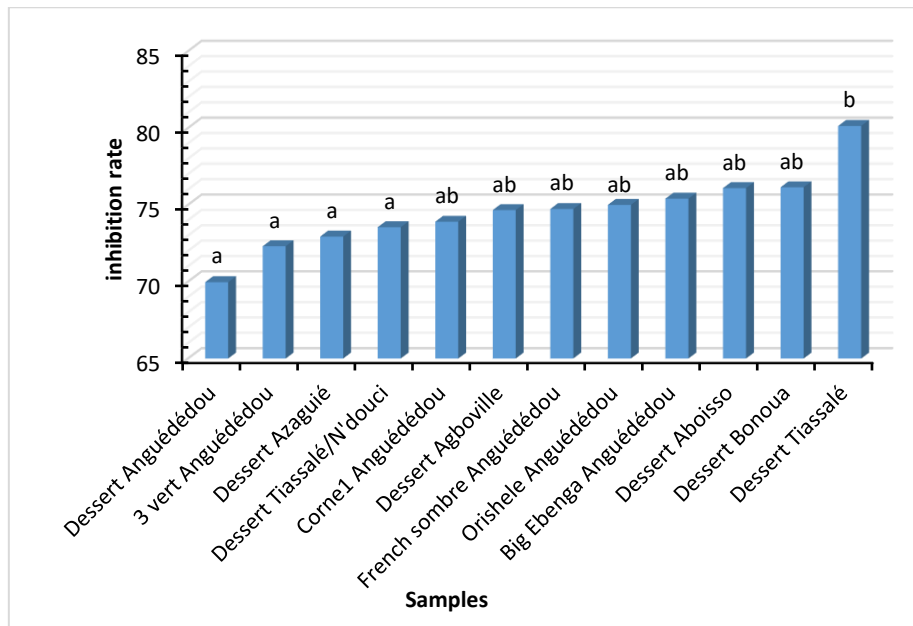


Fig. 3. Figure 3: Germination inhibition rate of wild conidia of *Mycosphaerella fijiensis* on agar medium amended with Difenoconazole in export banana production zones in Côte d'Ivoire

- Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* conidia to epoxiconazole

For this epoxiconazole active ingredient (Figure 4) the range of values is approximately the same as for Difenoconazole, they are all above 65% and vary from 67% to 79% depending on the samples. On the other hand, at the statistical level, five groups can be distinguished:

- The "a" group composed of conidia from the Anguédou dessert (67 %) and "ab" group composed of conidia from the Tiassalé dessert (68 %) and Azaguié (70 %) with inhibition rates slightly higher than the resistance threshold (65 %) with average inhibition.
- The "abc" group intermediate between average inhibition and strong inhibition comprising the samples French Sombre, Corne and Orishele (72 %), 3 vert and Aboisso (73 %),
- Finally, the group of strong inhibitions which includes the Big Ebenda sample from Anguédou (76%) and Agboville (79%) with the highest inhibition rate for this active ingredient.

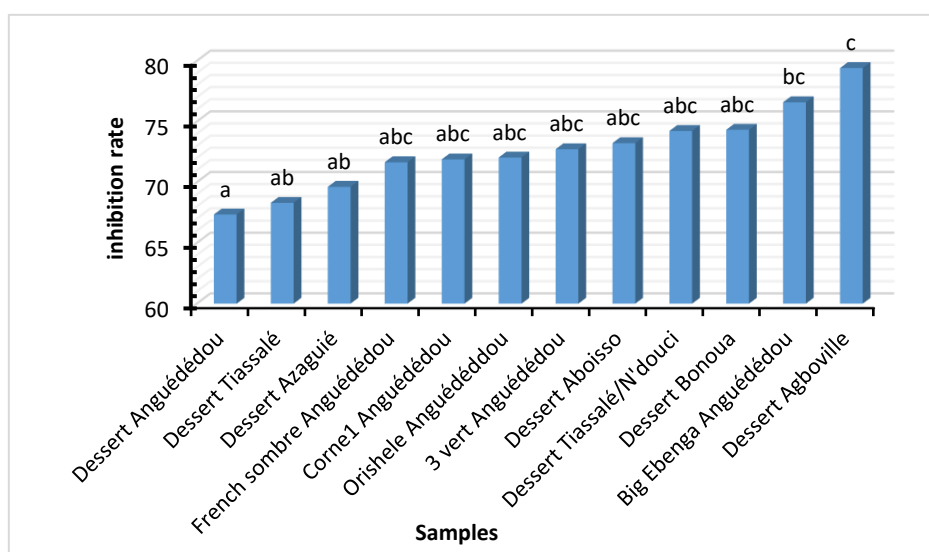


Fig. 4. Germination inhibition rate of wild *Mycosphaerella fijiensis* conidia on epoxiconazole-amended agar medium from export banana production areas in Côte d'Ivoire

• **Tebuconazole sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* conidia to tebuconazole**

For the active ingredient tebuconazole (Figure 5) the germ tube growth inhibition rates are slightly below those of the other active ingredients of the same family. However, they remain above the resistance threshold (65%). These rates range from 67% in the Anguédou horn test to 75% in the Big Ebenga test. For this fungicide the inhibition rates represent a homogeneous group within which there is no significant difference.

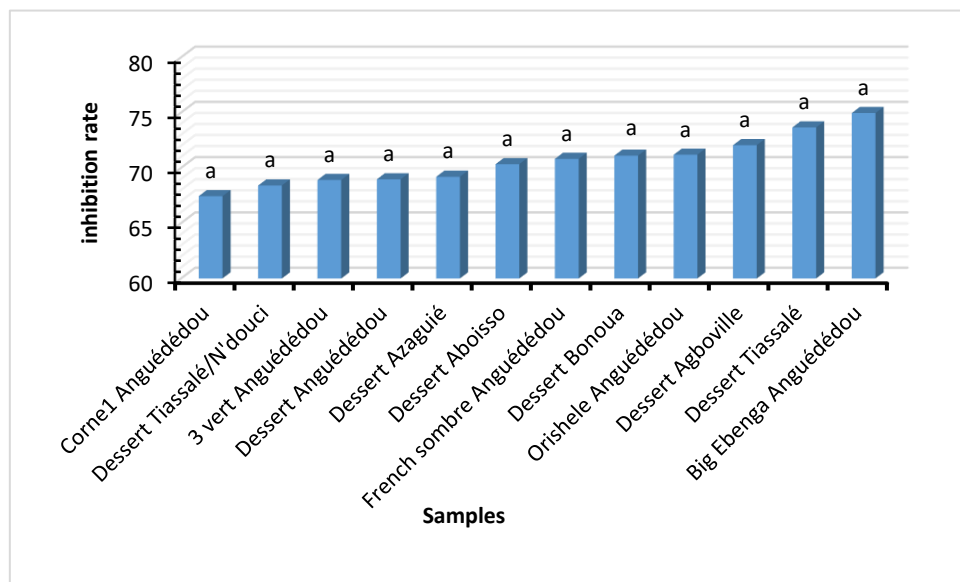


Fig. 5. Germination inhibition rate of wild *Mycosphaerella fijiensis* conidia on agar amended with tebuconazole in export banana production areas in Côte d'Ivoire

3.2.2 PARTIAL CONCLUSION

The growth inhibition rates of the germ tubes varied according to the active ingredients and the production areas. All conidia, regardless of their origin, were sensitive to triazoles, but to different degrees. Conidial germ tube growth inhibition rates were higher for difenoconazole and epoxiconazole than for tebuconazole. Also the conidia from the leaves of Anguédou dessert banana trees behaved in a special way; in addition to having the lowest germ tube growth rate on agar medium without fungicide, they had the lowest inhibition rates for difenoconazole and epoxiconazole and even for tebuconazole the inhibition rate was among the lowest even if statistically no difference appeared between these rates.

3.2.3 SENSITIVITY OF MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS CONIDIA TO BENZIMIDAZOLES

Treatment of conidia with methyl thiophanate at 5 µL/L gave the following results (Figure 6):

- Germination rates are generally nil except for Big Ebenga d'Anguédou 1%, Orishele 2% and French Sombre d'Anguédou 4%, followed by the Tiassalé zone with 11%.
- Non-germination rates vary considerably; from 2% for the Anguédou dessert to 93% for the Bonoua sample.
- Deformation rates range from 7% for the Bonoua area to 97% for the Anguédou dessert test.

Normal germination rates are below the threshold (20%) of resistance in all zones.

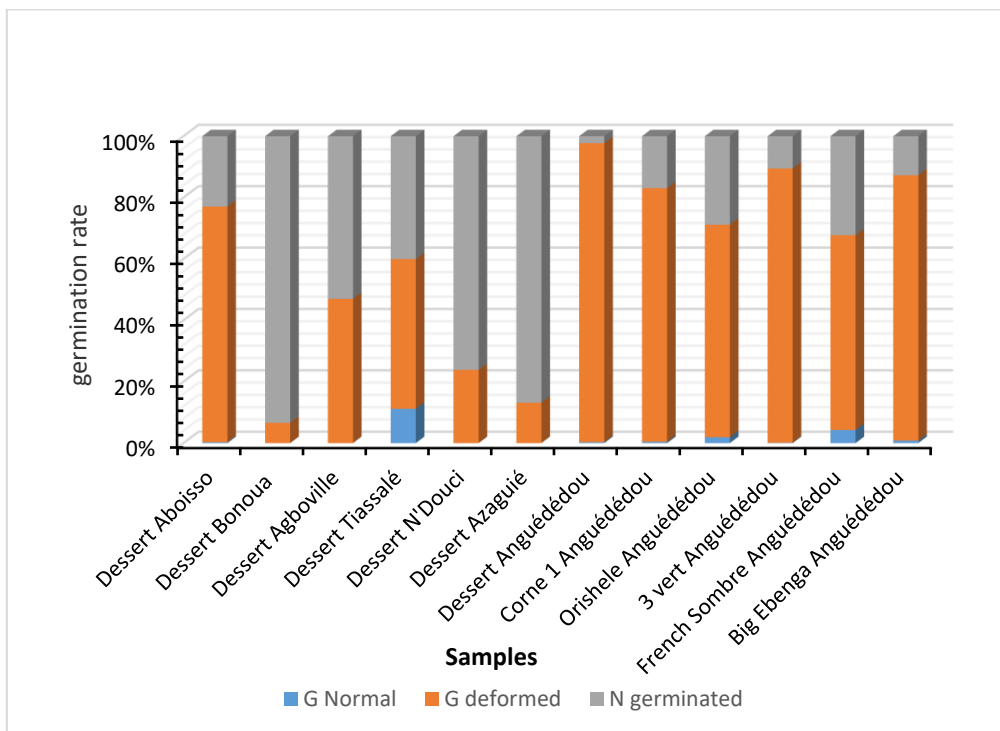


Fig. 6. Germination rate of wild conidia of *Mycosphaerella fijiensis* on agar amended with methyl thiophanate from export banana production areas in Côte d'Ivoire

3.2.4 SENSITIVITY OF MYCOSPHAERELLA FIJIIENSIS CONIDIA TO STROBILURINS

Conidia treated with 1 $\mu\text{L/L}$ of Azoxystrobin gave the following results (Figure 7):

- Normal germination rates were zero for conidia from the Agboville, N'douci, Azaguié and Anguédou dessert trials, whereas they were 2% for conidia from Bonoua, 5 % for Big Ebenga, 6 % for Orishele and the Aboisso sample, 7 % for the Tiassalé sample, 13 % for horn and 20 % for conidia taken from the French Sombre d'Anguédou test.
- Conidial deformation rates are nil for 7 samples (Agboville, N'douci and the dessert, horn, Orishele, 3 green and French Sombre d'Anguédou tests), for the rest we have 2% for Tiassalé, 4% for Aboisso, 5% for Bonoua, 7% for Azaguié and 43% for the Big Ebenga d'Anguédou test.
- Concerning the non-germination rates, they are the highest and range from 50 % for the Big Ebenga test to 100 % for the Agboville, N'douci and Anguédou dessert samples.

However, normal germination rates are below the threshold of strobilurin resistance.

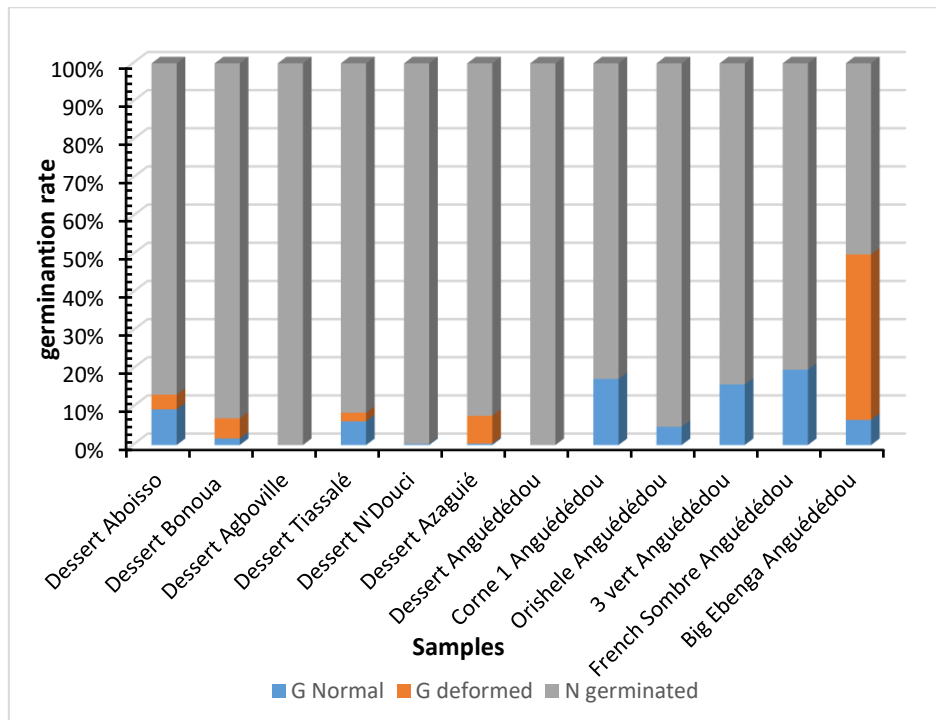


Fig. 7. Germination rate of wild conidia of *Mycosphaerella fijiensis* on agar amended with Azoxystrobin from export banana production areas in Côte d'Ivoire

3.3 COMPARISON OF SENSITIVITIES OF WILD (UNTREATED) AND NON-WILD CONIDIA IN REGULARLY TREATED PLANTATIONS

3.3.1 AVERAGE COMPARATIVE GERM TUBE GROWTH OF WILD CONIDIA AND REGULARLY TREATED PLANTATIONS

The average growth of conidial germ tubes is the same in treated and untreated village plantations in zones such as Aboisso and Tiassalé, (Aboisso zone 81 μ m and Tiassalé-N'douci zone 87 μ m for the TIABAM sector and 91 μ m for the SIAPA sector). But for the other zones that host EGLIN plantations, such as Bassam (treated 88 μ m and untreated 95 μ m), Agboville (treated 81 μ m and untreated 92 μ m) and Azaguié (treated 75 μ m and untreated 102 μ m), the conidia of treated plantations have a slower average growth of germ tubes than those of untreated village plantations (Figure 8).

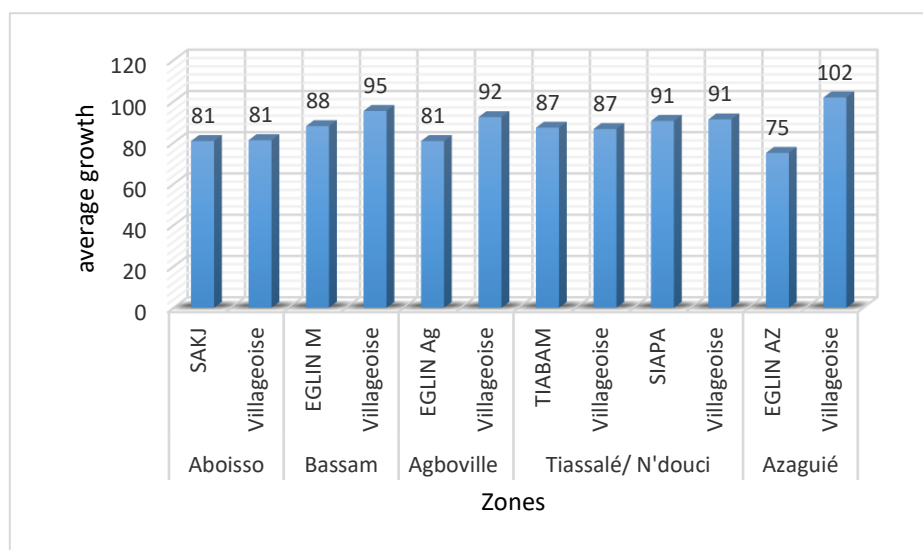


Fig. 8. Average germ tube growth of wild populations of *Mycosphaerella fijiensis* conidia and non-wild populations of *Mycosphaerella fijiensis* conidia in export banana production areas in Côte d'Ivoire

3.3.2 REACTION TO TRIAZOLES OF CONIDIA COLLECTED FROM VILLAGE PLANTATIONS WITHOUT FUNGICIDE APPLICATIONS AND FROM INDUSTRIAL PLANTATIONS REGULARLY TREATED WITH FUNGICIDES.

The comparison of reactions at the level of triazoles shows that:

- For difenoconazole, (Table. 3) the growth inhibition rates of the germ tubes of wild conidia are well above the resistance threshold (from village or untreated plantations), whereas treated conidia (from industrial or treated plantations) are very close to or equal to the threshold, except for those from EGLIN Azaguié (74%) and Motobé (70%), which are higher. As for the sample of EGLIN Agboville it has an inhibition rate (60%) lower than the threshold which is 65%. The biggest differences were observed in the zones of Aboisso (11 %), Agboville (15 %) and Tiassalé (12 % and 9 %).
- For epoxiconazole the germ tube inhibition rates of wild conidia are well above the resistance threshold (Table. 2). However, for treated plantations such as EGLIN Motobé and SIAPA, they are equal to it, while other treated plantations have slightly higher rates, none of which are below the threshold. The differences are significant for Bassam (10%), Agboville (14%) and Tiassalé SIAPA (10%).
- For tebuconazole (Table 2), the germ tube inhibition rates of wild conidia are above the resistance threshold, whereas those of conidia in industrial plantations are all below the threshold. For this active ingredient, the differences were very significant in Aboisso (17%), Bassam (21%), Agboville (15%) and Tiassalé TIABAM (12%).

Table 2. Comparison of germination inhibition rates of conidia taken from village plantations without fungicide applications and industrial plantations regularly treated with fungicides

Areas	Plantations	Difénoconazole	gap	Époxiconazole	gap	Tébuconazole	gap
Aboisso	SAKJ	65	11	68	6	54	17
	Wild	76		74		71	
Bassam	EGLIN M	70	7	65	10	51	21
	Wild	77		75		72	
Agboville	EGLIN Ag	60	15	66	14	58	15
	Wild	75		80		73	
Tiassalé/ N'douci	TIABAM	68	12	69	2	63	12
	Wild	80		71		75	
	SIAPA	65	9	65	10	63	6
	Wild	74		75		69	
Azaguié	EGLIN AZ	74	1	68	2	62	7
	Wild	73		70		69	

3.3.3 REACTION TO STROBILURINS AND BENZIMIDAZOLES IN CONIDIA COLLECTED FROM VILLAGE PLANTATIONS WITHOUT FUNGICIDE APPLICATIONS AND INDUSTRIAL PLANTATIONS REGULARLY TREATED WITH FUNGICIDES

In all areas the normal germination rates of wild conidia at 1 µL/L of Azoxystrobin are very low (they do not exceed 10%). As for non-wild conidia, in the plantations of ELIN Azaguié (6%), SIAPA (5%) and THIABAM (4%), normal germination rates are also very low, but they are higher in the plantations of SAKJ (12%), EGLIN Agboville (17%) and EGLIN Motobé (38%). However, all normal germination rates are below the threshold of strobilurin resistance (Table 3).

Table 3. Comparison of azoxystrobin germination rates of conidia collected from village plantations without fungicide application and from industrial plantations regularly treated with fungicide

Areas	Plantations	Azoxystrobin 1 µL/L		
		G Normal (%)	G Deformed (%)	N Sprouted (%)
Aboisso	SAKJ	12	13	75
	Wild	9	4	87
Bassam	EGLIN M	38	14	47
	Wild	2	5	93
Agboville	EGLIN Ag	17	2	82
	Wild	0	0	100
Tiassalé/ N'douci	TIABAM	4	6	90
	Wild	6	2	92
	SIAPA	5	9	85
	Wild	0	0	100
Azaguié	EGLIN AZ	6	12	82
	Wild	0	7	92

For 5 µL/L of methyl thiophanate, the normal germination rates of wild conidia are zero, except for the Tiassalé area in the THIABAM sector, which is 11 %. For conidia from treated plantations these rates are low and are between 0% and 25% for the sample from the EGLIN Motobé plantation, which is higher than the resistance threshold (20%) (Table 4).

Table 4. Comparison of methyl thiophanate germination rates of conidia collected from village plantations without fungicide application and industrial plantations regularly treated with fungicides

Zone	Plantations	5 PPM		
		G Normal (%)	G deformed (%)	N germinated (%)
Aboisso	SAKJ	1	43	57
	Wild	0	77	23
Bassam	EGLIN M	25	39	36
	Wild	0	7	93
Agboville	EGLIN Ag	5	75	20
	Wild	0	47	53
Tiassalé/ N'douci	TIABAM	5	57	38
	Wild	11	49	40
	SIAPA	0	92	8
	Wild	0	24	76
Azaguié	EGLIN AZ	0	76	24
	Wild	0	13	87

4 DISCUSSION

Conidia from wild strains of *M. fijiensis* grown on fungicide-free agar medium; had varying lengths of germ tube growth. This variation could be associated with variability within the species, but also with the variety of banana tree attacked and the environment where the samples were taken. According to [18] Etebu *and al* (2005), growing areas with high humidity and low light levels are favourable for rapid conidial growth in *M. fijiensis*. Moreover, the comparison between wild (untreated) and treated populations shows that some local populations (from the same area) may be identical, as can be seen in the Aboisso or Tiassalé-N'douci areas where wild and non-wild conidia showed identical average growth lengths. These differences could also be explained by the proximity or otherwise of the wild sample collection areas to the treated plantations. With regard to the reaction to triazoles, conidia from wild populations have shown a good level of sensitivity to all the active ingredients of this family. This could be explained by the fact that these populations have never been exposed to these active ingredients. The rates of germ tube growth inhibition varied according to the active ingredients and the production areas. According to [1]

Koné *and al* (2009), the rates of reduction of mycelial growth of fungal parasites in banana were variable depending on the active ingredients and the species considered. Also, variability in sensitivity to triazoles was observed in different industrial plantations in Cameroon [19] (Onautshu, 2013). The active ingredient difenoconazole was found to be more effective than the other two triazoles; similar results were obtained by [20] N'guessan *and al* (2016). On the other hand, the active ingredient tebuconazole was less effective. Studies have shown that differences in sensitivity of *M. fijiensis* strains could be explained by differences in the intrinsic activities of the active ingredients [21] (Gisi *and al.*, 2000). Comparison of the response of 'wild' conidia and conidia from regularly treated plantations showed that inhibition rates are higher in 'wild' conidia; except for the active ingredient difenoconazole from the Azaguié area. The recurrent use of fungicides without alternating the active ingredients could reduce the sensitivity of conidia to its fungicides. The work of [20] N'guessan *and al* (2016), showed that the variability of the sensitivity of the *M fijiensis* strains tested to the different active ingredients seems to be related to the number of treatments carried out with these ingredients in their original plantations. Thus the selection pressure exerted by fungicide treatments could lead to a gradual decrease in the sensitivity of populations [22], [23] (Wolfe, 1982; Parisi *and al.*, 1994). The Benzimidazoles and Strobilurins tests included a fungicide-free control with zero conidial deformation rates, with germination rates ranging from 44% for the Bonoua zone to 99% for the Horn and Big Ebenga trials of Anguédou. The non-germination rates ranged from 1% for the Anguédou Horn test to 56% for the Bonoua zone. The absence of deformation is explained by the fact that the conidia were not in contact with fungicides, which are the cause of the deformation. The low germination rate of methyl thiophanate in wild conidia could be explained by the mode of action of this active ingredient, which leads to deformation or lack of conidial germination. However, there are a few rare germinations that are linked to the existence of populations that are not sensitive to this active ingredient, which could possibly proliferate if this active ingredient is used regularly in these areas without alternating with other fungicide families. Comparison of the reactions of wild conidia and conidia from areas regularly subjected to fungicide treatments showed very low normal germination rates on both sides. Fungicides of the Benzimidazole family have a very remarkable *in vitro* efficacy on the germination of *Mycosphaerella fijiensis conidia* in all collection areas. The sensitivity of this fungus to this fungicide (methyl-thiophanate) is due to the fact that this family (Benzimidazoles) is rarely used in the majority of plantations studied [24] (Joseph *and al.*, 2020). However, at the level of industrial plantations, precisely in Eglin Agboville, the normal germination rate is higher than the resistance threshold for benzimidazoles. This active ingredient would have lost its efficacy, which would be linked to a constant use of this active ingredient in the said plantation. For azoxystrobin, normal germination rates of wild conidia vary between 0% and 20%, so wild conidia are sensitive to this active ingredient. However, rates of 16 % for conidia taken from the leaves of 3 Green, 17 % for horn conidia and 20 % for conidia taken from French Sombre d'Anguédou are observed, which would be due to the presence of resistant strains in these wild conidia populations. In all areas normal germination rates for wild and non-wild conidia are low except for some samples where germination rates do not exceed the resistance threshold. Indeed, like azoxystrobin, trifloxystrobin (two strobilurins), a respiration inhibitor has been shown to be effective on radial growth compared to triazoles [1] (Koné *and al.*, 2009). However, special attention is needed as losses in efficacy could occur if the use of these active ingredients is not monitored in these areas.

5 CONCLUSION

At the end of this work, which consisted of studying in the laboratory the reactions of wild conidial populations to fungicides commonly used in industrial plantations, all the active ingredients were effective on all conidia regardless of their area of origin. Since the different fungicidal active ingredients act on different metabolisms of the fungus *Mycosphaerella fijiensis*, it is possible that some fungicides may not have an effect on certain strains of the fungus that have mutated, which is why the efficacy of these fungicides is not 100%. This would be explained by the existence of strains of conidia that are resistant to certain fungicides due to mutations. But these strains would exist in very small numbers because they compete with the other strains. The second phase, which compared the reactions of wild conidia with those of conidia in treated plantations, shows that the repeated action of fungicides is the cause of the proliferation of resistant strains, which explains the loss of efficacy of certain fungicidal active ingredients in industrial plantations. In view of all the above, it is necessary, in order to avoid the loss of fungicide sensitivities, that the phytosanitary teams of the industrial plantations strictly comply with the fungicide alternation prescriptions.

ACKNOWLEDGMENT

Our thanks go to the growers for their cooperation and to FIRCA (Interprofessional Fund for Research and Agricultural Council) for its financial assistance.

REFERENCES

- [1] Koné D., Badou O.J., Bomisso E.L. E.L., Camara B. Ake S. 2009. - In vitro activities of different fungicides on the growth of *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis* Stover and Dickson, *Cladosporium musae* Morelet and *Deightonella torulosa* (Syd.) Ellis, parasites isolated from the banana phyllosphere in Ivory Coast. *Comptes Rendus Biologies* Volume 332, Issue 5, May 2009, Pages 448-455.
- [2] Carlier J., Mourichon X. and Jones D.R., 2000 a. - The causal agent. In: Jones D.R., ed. *Diseases of Banana, Abacá and Enset*. Wallingford, UK: CAB Publishing. pp. 48-56.
- [3] Ganry, J., 2010 -. Black leaf streak disease in Martinique. *Fruits*, 65 (6), 325-325.
- [4] Fouré E., 1983 - Banana tree cercosporioses and their treatment. Selection of new fungicide molecules. Comparative activities of the different fungicide molecules on *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, the agent of the black stripe disease of banana and plantain trees in Gabon. *Fruits*, 38 (1), 21-34.
- [5] Fouré E., 1984 a.- Comparative activities of different fungicide molecules on *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, the agent of the black stripe disease of banana and plantain trees in Gabon. *Fruits* 39 (7-8), 427-440.
- [6] De Lapeyre de Bellaire L. Characterization of the susceptibility of strains of *Pseudocercospora musae* to fungicides used in the control of yellow cercosporiosis in banana in Guadeloupe, *Fruits* 43 (3).
- [7] N'Guessan P., 2008. - Sensitivity of *Mycosphaerella* spp. to Benzimidazoles and triazoles, fungicides used in SCB industrial plantations in Côte d'Ivoire. DEA thesis, UFR Biosciences, Félix Houphouët -Boigny University, Abidjan. 49p.
- [8] Essis B, Kobenan K, Traoré S, Koné D and Yatty J., 2010 - Sensitivity of the *Mycosphaerella fijiensis* laboratory responsible for black cercosporiosis in banana trees to fungicides commonly used in Ivorian bananas. *JAPS* 7: 822-833.
- [9] Rodriguez M., R. A. and Jimenez A., L.G. 1985. - The problem of tolerance of *Mycosphaerella fijiensis* to benomyl fungicide in banana plantations of Costa Rica. *Bulletin no. 2 San José, Costa Rica. ASBANA*. 1985. 16 p.
- [10] Fullerton R.A. and Olsen T.L. 1991. - Pathogenic variability in *Mycosphaerella Fijensis* Morelet. New Zealand. *Industrial Research - Plant Protection*. 1991. p. 105-114.
- [11] Moulion-Pefoura, A., 1999 - First observation of the degradation of the high resistance at Yangambi km 5 (*Musa* sp.) to black leaf streak disease in Cameroon. *Plant disease, agris.fao.org*, ISSN: 0191-2917.
- [12] Lassoudière A., 1978 - The banana tree and its cultivation in Ivory Coast (1st part). *Knowledge of the planta. Interaction with the ecological environment*. Institute for Research on Fruit and Citrus Fruits (IRFA). Abidjan, Ivory Coast, Pp 5 - 17 - 104.
- [13] Fouré E., 1984 b.- Study of the varietal susceptibility of banana and plantain trees to *Mycosphaerella fijiensis* Morelet and of some biological characteristics of the disease in Gabon. *Fruits* 39, 365-378.
- [14] Van Den B (Joanna) 1989 - Method for monitoring *Mycosphaerella musicola* populations, which are becoming more or less resistant to fungicides used in banana plantations in Martinique. *Fruits*, 44 (11) 599-602.
- [15] Knight S., Wirz M., Amil A., Hall A., Shaw M., 2002. - The role of managing resistance to fungicides in maintaining strategies to control black leaf streak diseases. In: L. Jacome, P. Lepoivre, D. Marin, R. Ortiz, R. Romero and J. V. Escalent editors, Pp303 – 307 *Mycosphaerella leaf spot diseases of bananas: present status and outlook*. Proceeding of the 2nd International workshop on *Mycosphaerella leaf spot diseases* held in San José Costa Rica, 20 - 23 May 2002.
- [16] Etebu E., Pasberg-Gauhl C., Gauhl F. and Daniel-Kalio L., 2005 - Effect of light and air circulation in the sporulation and growth of *Mycosphaerella fijiensis*. *Info musa*, 171p.
- [17] Onautshu O., 2013. - Characterisation of *Mycosphaerella fijiensis* populations and epidemiology of black banana cercosporiosis (*Musa* spp.) in Kisangani region (DRC). State Thesis in Agronomic Sciences and Biological Engineering, University of Kisangani, Faculty of Sciences, Laboratory of In Vitro Culture, Plant Improvement and Biotechnology, B- 2012 Kisangani, DR Congo. 309p.
- [18] N'guessan P. H. Kassi K. F. J.-M., Camara B., Kobenan K., Kone D., 2016. - Variability in the in vitro sensitivity of strains of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet isolated from industrial banana plantations in Ivory Coast to different fungicides of the triazole family. *African Agronomy* 28 (1): 47 – 59.
- [19] Gisi, U., Chin, K.M., Knapova, G., Färber, K.R., Mohr, U., Parisi, S., Sierotzki, H., Steinfeld, U., 2000. - Recent developments in elucidating modes of resistance to phenylamide, DMI and strobilurin fungicides. *Crop Protection* 19, 863-872.
- [20] Wolfe MS, 1982 - Dynamics of the pathogen population caused by resistance to fungicides. In: *Fungicide Resistance in Crop protection* (Dekker J, Georgopoulos SG, eds), Pudoc, Wageningen, Pays-bas: pp 139-148.
- [21] Parisi L., Guillaumès J., Wuster G., 1991. - Resistance of *Venturia inaequalis* to fungicides inhibiting sterol biosynthesis: detection and characterisation of strains in 1989 and 1990. *Plant diseases, ANPP study days*. 2: 853-862.
- [22] Joseph K. K. J., Traoré K., Tonessia C., Traore S., Aby N., Atsin O., N'guetta A. Kobenan K., 2020. - Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* to the different fungicidal active ingredients used in banana plantations against black skate disease in Côte d'Ivoire from 2016 to 2017. *Int. J. Adv. Res.* 8 (06), 692-704, ISSN: 2320-5407.