

# PATHOGENICITE IN VIVO EN INOCULATIONS ARTIFICIELLES D'ISOLATS DE *MYCOSPHAERELLA* SPP. DES DIFFERENTES ZONES DE PRODUCTION DE BANANIERES DE LA COTE D'IVOIRE

S. TRAORE<sup>1</sup>, D. L. M. KOUADIO<sup>1</sup>, B. S. ESSIS<sup>2</sup>, N'G. ABY<sup>1</sup>, K. KOBENAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), station de recherche de Bimbresso, 01 BP 1536 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>CNRA, station de recherche de Bouaké, Côte d'Ivoire.

Correspondance : TRAORE Siaka [traoresk8@gmail.com](mailto:traoresk8@gmail.com)

## RESUME

Le parasitisme a été étudié chez les bananiers en Côte d'Ivoire. La cercosporiose jaune causée par *Mycosphaerella musicola* et la maladie des raies noires (MRN) due à *Mycosphaerella fijiensis* cohabitent dans toutes les zones prospectées avec une prédominance de la MRN. La cercosporiose jaune n'a été observée que sur la Figue Sucrée. Sur le cultivar Corne 1, il a été observé une diminution de la gravité des attaques de l'Est vers l'Ouest du pays. L'évaluation a mis en évidence la résistance des hybrides à la MRN par rapport aux cultivars de référence (Grande Naine et Orishele). En présence de la maladie, les hybrides ont conservé la moitié de leurs feuilles entre la floraison et la récolte. L'inoculation au cultivar « Grande Naine » d'isolats de *M. fijiensis* a mis en évidence 3 groupes de sensibilité en fonction de la virulence. Les hybrides inoculés se sont montrés plus résistants, avec de longs temps de développement de la maladie (40 à 72 j) par rapport aux cultivars de références (25 à 38 j).

**Mots clés** : Bananiers, *Mycosphaerella* spp., Hybrides, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

### ARTIFICIAL INOCULATION OF SIX BANANAS AND PLANTAIN GENOTYPES WITH MYCOSPHAERELLA SPP. STRAINS OF CÔTE D'IVOIRE

*Parasitism in bananas and plantain has been studied in Côte d'Ivoire. Sigatoka disease (Mycosphaerella musicola) and black leaf streak disease (Mycosphaerella fijiensis) were both present in all regions with a dominance of black leaf streak disease. Sigatoka disease symptoms were seen only on cultivar Figue Sucrée partially resistant to black leaf streak disease. The susceptibility of plantain cultivar Corne 1 to black leaf streak disease varied from East to West. Hybrids were highly resistant to black leaf streak disease than reference cultivars Grand Naine and Orishele. They kept half of their leaves from flowering to harvest. In inoculation of cultivar « Grande Naine », isolates of M. fijiensis were separated into three groups according to their virulence. Inoculated hybrids were resistant with delay of symptoms development ranging from 40 to 72 days while reference cultivars showed delay of 25 to 38 days only.*

**Key words** : Banana, Hybrids, *Mycosphaerella* spp., Côte d'Ivoire.

## INTRODUCTION

La cercosporiose noire, causée par le champignon *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (*Pseudocercospora fijiensis* [Morelet] Deighton), est la menace économique majeure pour la culture du bananier et du plantain (Churchill 2011 ; Alakonya *et al.*, 2018 ; Burgos *et al.*, 2019). La cercosporiose noire est encore appelée maladie des raies noires (MRN). Elle est la maladie foliaire la plus préjudiciable en culture bananière à travers le monde (Pasberg-Gaulh et Gauhl, 2000 ; Hidalgo *et al.*, 2016). Elle peut se disperser naturellement sur de courtes distances, au sein des parcelles et des exploitations (Rieux *et al.*, 2014), et de manière anthropique sur de longues distances, via les mouvements de plantes infestées entre pays ou continents (Robert *et al.*, 2012). Elle a été découverte en Amérique centrale au Honduras en 1972 après des introductions indépendantes et multiples du pathogène d'Océanie et d'Asie du Sud-Est (Robert *et al.*, 2015). Depuis le Honduras, la maladie s'est propagée au reste de l'Amérique centrale et en Amérique du Sud (Robert *et al.*, 2015), en Amérique du Nord (Carlier *et al.*, 2000) et dans les Caraïbes (Ioos *et al.*, 2011). En Afrique, la maladie a été signalée pour la première fois au Gabon en 1978 (Frossard, 1980), et s'est depuis propagée en Afrique de l'Ouest et en Afrique de l'Est (Blomme *et al.*, 2013). En Côte d'Ivoire, elle a été découverte en 1985 (Jacome *et al.*, 2003). Il a été suggéré que la maladie provenait d'Asie (Robert *et al.*, 2012). Les symptômes de la MRN apparaissent à la face inférieure du limbe sous forme de tirets marron-foncé de 1 à 2 mm de long et s'élargissent ensuite pour former des lésions nécrotiques à halo jaune et au centre gris-clair. Ces lésions peuvent devenir coalescentes et détruire de vastes portions de tissus foliaires, entraînant une réduction du rendement et une maturation prématurée des fruits (Traoré *et al.*, 2009). Les pulvérisations de fongicides pour lutter contre cette maladie représentent jusqu'à 30 % du coût total de

production. Si elles ne sont pas traitées avec des fongicides, les pertes de rendement varient de 20 à 80 % selon le climat et les conditions de croissance (Noar *et al.*, 2019). De plus, les fongicides représentent un danger pour l'environnement et la santé humaine (Churchill, 2011 ; de Bellaire *et al.*, 2010), et leur efficacité dans le temps est limitée par l'émergence de souches résistantes à ceux-ci (de Bellaire *et al.*, 2010). La cercosporiose noire étant un facteur limitant majeur de la production bananière, une meilleure compréhension de la diversité pathogénique des populations existant en Côte d'Ivoire et l'étude de la sensibilité des hybrides à la MRN est nécessaire afin de développer de nouvelles stratégies de lutte.

L'objectif de cette étude consiste à évaluer l'incidence de la cercosporiose noire du bananier dans les zones de production et à déterminer l'indice de la sévérité au niveau de chaque hybride de la collection de Musacées mise en évaluation.

## MATERIEL ET METHODES

### SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Les essais ont été mis en place sur le site du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) à Azaguié (4°10 W, 5°30 N ; 40 m d'altitude), situé à 50 km au Nord d'Abidjan.

### MATERIEL

#### Matériel fongique

Dix-huit isolats provenant d'Azaguié (région de l'Agnéby-Tiassa), Bimbresso (région des Grands Ponts) et Aboisso (région du Sud Comoé) ont été récoltés (Tableau 1). Parmi ceux-ci, cinq isolats, dont 4 très virulents (SCp1, LAb5, LAb8 et AGpF3) et un moins virulent (AGp2) de la collection fongique du laboratoire de pathologie ont été choisis et inoculés aux hybrides de bananiers.

**Tableau 1** : Isolats de *Mycosphaerella fijiensis* utilisés.*Mycosphaerella fijiensis* strains used.

Zones	Isolats
Aboisso	SCp1*
	SCP2
	SCP3
	SCP4
Azaguié	LAB8*
	AGb1
	AGb2
	AGb5
	AGb6
	AGp1
	AGp2*
	AGp4
	AGp5
	AGpF1
AGpF3*	
Bimbresso	LAB5*
	LAB7
	LAp1

(\*) les isolats utilisés pour la détermination de l'indice de sévérité de chaque hybride de la collection de Musacées.

### Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de vivoplants de bananiers. Deux cultivars Grande Naine et Orishele ont été comparés à 4 hybrides

tétraploïdes CRBP 39 ; FHIA 21 ; FHIA 23 et PITA 14 (Tableau 2). Les plants utilisés ont été produits par la méthode de Multiplication sur Souche Décortiquée (MSD) sur le site expérimental du CNRA à Azaguié.

**Tableau 2** : Génotypes de bananiers et bananiers plantain étudiés.*Bananas and plantains genotypes.*

Variétés	Génomes	Code ITC	Origine
Grande Naine	AAA	0180	
Orishele	AAB	1325	
CRBP 39	AAAB	1344	CARBAP
FHIA 21	AAAB	1332	FHIA
FHIA 23	AAAA	1265	FHIA
PITA 14	AAAB	1294	IITA

### METHODES

#### Préparation du milieu de culture

Les isollements de champignon ont été faits sur le milieu « Potato Dextrose Agar » (PDA). Ce milieu est composé de flocons de pomme de terre (20 g/l), de D-glucose (20 g/l) et d'Agar-Agar (20 g/l). Les milieux de culture ont été stérilisés à l'autoclave à 120 °C sous une pression de 1 bar pendant 20 min. Les boîtes de Pétri ont été stérilisées à l'étuve à 120 °C pendant 40 min. Le milieu a été distribué dans ces boîtes de Pétri sous une hotte à flux

laminaire, munie d'une lampe UV.

#### Isolement de *Mycosphaerella fijiensis* à partir des conidies

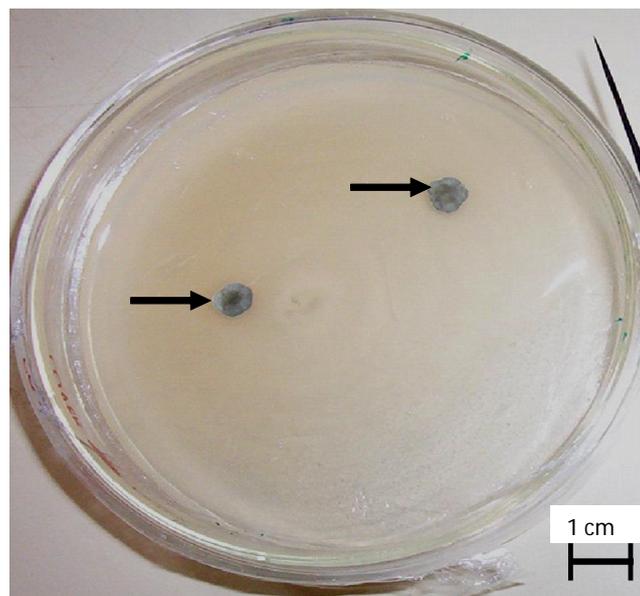
Les isollements ont été faits selon la méthode décrite par Koné (1998). Des feuilles présentant les lésions caractéristiques de cercosporioses ont été prélevées et découpées en fragments d'environ 1 à 2 cm. Des lésions de stades 3 à 4 ont été repérées sur la face inférieure ; elles ont ensuite été légèrement grattées afin de détacher les conidies. Les fragments ont été appuyés contre le milieu de culture (Agar-Agar 20 g/L)

dans des boîtes de Pétri pour piéger les conidies. L'emplacement des fragments a été découpé et monté sur une lame porte objet. Les conidies ont été repérées (Figure 1) puis prélevées sous microscope optique au grossissement (x 10) à l'aide d'un microscalpel. Elles ont été mises à germer sur milieu P.D.A additionné d'acide citrique (2 g/L). Plusieurs conidies d'un même échantillon peuvent être mises dans une boîte de Pétri. La germination a lieu après 4 à 8 j.

Chaque conidie germée représente un isolat. Des repiquages successifs ont eu lieu jusqu'à l'obtention d'une colonie pure (Figure 2). Les isolats ont été identifiés par une codification prenant en compte la région administrative (les 2 premières lettres), le type de bananier ("b" pour bananier et "p" pour bananier plantain) et un numéro de série. La zone de provenance, la couleur et la date d'isolement ont été notées.



**Figure 1** : Conidies de *Mycosphaerella fijiensis* piégées sur milieu gélosé.  
*Conidia of Mycosphaerella fijiensis on agar media.*



**Figure 2** : Colonies de *Mycosphaerella* sp. 21 jours après isolement sur milieu PDA.  
*Mycosphaerella* sp. colonies of 21 days on potatoes dextrose agar.

### Conservation des souches fongiques

Le mycélium a été prélevé et repiqué sur milieu PDA appauvri (10 g de glucose ; 10 g de flocons de pomme de terre ; 20 g d'agar-agar) dans des tubes inclinés. Les tubes ont été exposés pendant dix (10) jours dans une salle d'incubation (25 °C) pour amorcer la croissance du mycélium. Les tubes ont été transférés au réfrigérateur à 4 °C pour une conservation pour des études ultérieures.

### Production de l'inoculum

Les tubes sont sortis du réfrigérateur et déposés dans la salle d'incubation (25 °C) pendant sept (7) j afin de relancer la croissance du mycélium. L'inoculum a été préparé à partir de colonies pures sur milieu "V8" composé de 200 mL de V8 ; 0,3 g de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ; 20 g d'Agar-Agar, 800 mL d'eau distillée. Une quantité de 100 mg de sulfate de streptomycine a été ajoutée au milieu après autoclavage pour éliminer les bactéries. Le milieu a ensuite été distribué dans des boîtes de Pétri plastiques stériles de 90 mm de diamètre. Des fragments mycéliens sont prélevés et broyés dans un mortier en présence de sable de lagune préalablement stérilisé par autoclavage. Une quantité de 10 mL d'eau distillée stérile est

ajoutée au broyat dans le mortier. Le mélange est agité et soigneusement renversé sur le milieu V8 dans les boîtes de Pétri. Celles-ci sont scellées et conservées à une température de 25 °C. Après 14 jours, le mycélium est prélevé et broyé dans de l'eau distillée stérile. Le broyat a été filtré sur un tamis de 80 µm de diamètre de maille pour éliminer les gros fragments. A l'aide de cellules de comptage de Malassez, l'inoculum est calibré à 2105 propagules par mL.

### Inoculation des bananiers

Les plants pourvus de 5 à 6 feuilles ont été sélectionnés pour être inoculés. L'inoculation a été réalisée à l'aide de micropulvérisateurs. Le calibrage a été fait à l'eau pour estimer la quantité pulvérisée en une pression. L'eau est ensuite remplacée par l'inoculum. Sur chaque plant, les deux (2) dernières feuilles ont été inoculées sur la face inférieure. Les feuilles sont maintenues à 50 cm perpendiculairement au jet d'inoculum de sorte que la distribution soit homogène. La quantité de l'inoculum est de 2 mL par feuille. Pour chaque variété, cinq (5) plants ont été inoculés. Ils ont été ensuite exposés sous tunnel recouvert de film transparent (Figure 3), selon un dispositif complètement aléatoire. L'entretien des plants a été le même que pendant la production des feuilles.



**Figure 3** : Vivoplants de bananiers inoculés par *M. fijiensis* et exposés à l'intérieur de la serre.

*Vivoplants of bananas inoculated with M. fijiensis in a greenhouse.*

### Suivi des bananiers après inoculation

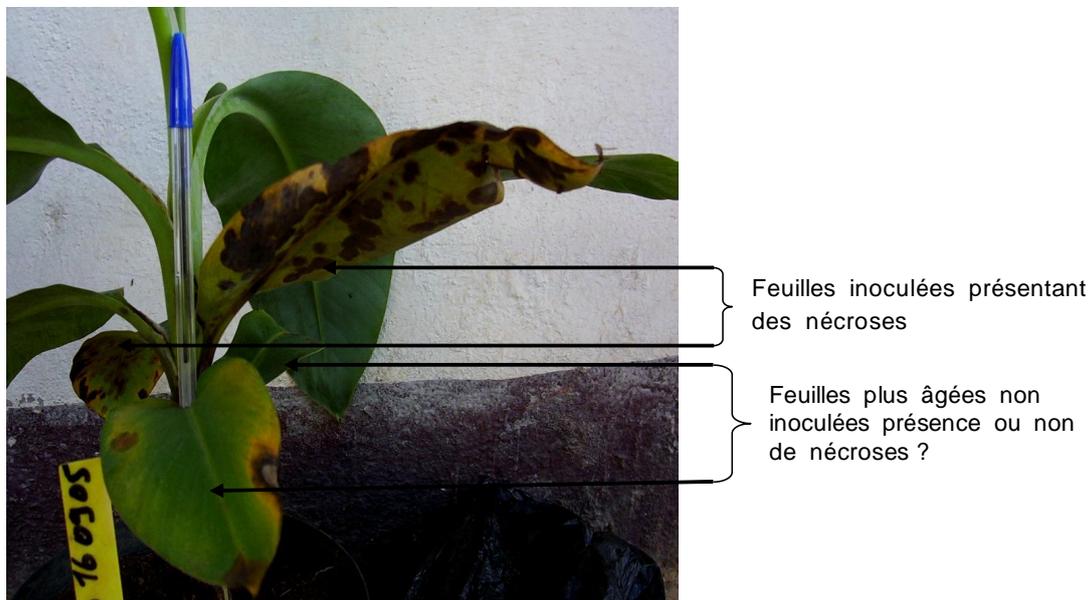
Pour cette étude, deux (2) variables ont été considérées ; ce sont la période d'incubation (TI) pour la virulence et le temps de développement de la maladie (TDM), pour l'agressivité. A cet effet, les plants ont été observés au 10<sup>e</sup> jour, puis tous les deux (2) jours à partir de cette date. Pour chaque variable, la date d'observation du niveau d'évolution de la maladie a été notée. Les durées des différents temps ont été obtenues en faisant la différence avec la date de l'inoculation.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### RESULTATS

#### Evaluation de l'incidence de la cercosporiose noire du bananier dans les zones de production

Les dix-huit isolats inoculés sur le cultivar sensible de référence (Grande Naine) ont provoqué des symptômes caractéristiques de la maladie des raies noires. Les feuilles inoculées se sont nécrosées alors que les autres sont restées vertes (Figure 4).



**Figure 4 :** Plantule de bananier Grande Naine avec des feuilles nécrosées 30 jours après inoculation avec *Mycosphaerella* spp.

*Grande Naine seedlings with necrotic leaf of 30 days after Mycosphaerella spp. Inoculation.*

### Temps d'incubation

Les premiers tirets ont été observés à partir de deux (2) semaines. Le temps d'incubation varie entre 14 et 22 jours (Tableau 3). Ceci montre une variabilité de pathogénie entre les différents isolats de *Mycosphaerella*. En effet, les analyses statistiques ont montré des groupes homogènes qui ne sont pas spécifiques des lieux de prélèvements. Les isolats LAb8, AGp5, AGp3, SCp1 et LAb5 ; avec un court temps d'incubation

(TI) d'environ 15 jours ont été plus virulents. Les moins virulents ont eu des temps d'incubation dépassant 20 jours ; il s'agit des isolats AGp2, SCp3 et LAb7. Les autres isolats ont eu une virulence intermédiaire avec des TI variant entre 16 et 19 jours. Il en découle le classement suivant :

- isolats très virulents (27,8 %) :  $TI \leq 15$  j ;
- isolats virulents (16,7 %) :  $16 \leq TI \leq 19$  j ;
- isolats moins virulents (55,5 %) :  $TI > 20$  j.

### Temps de développement de la maladie

Le temps de développement de la maladie a mis en évidence une différence dans l'agressivité des isolats. Ceux-ci ont tous achevé le cycle de développement sur le cultivar sensible "Grande Naine". Les délais ont varié entre 27 jours (isolat

LAb8) et 41 jours (isolat Lap1). Les isolats les plus agressifs ont eu des TDM courts variant entre 28 et 30 jours (Tableau 3). Parmi ceux-ci, trois sont très virulents ; il s'agit des isolats AGp5, AGpF3 et LAb8, soit 17 %. Les 3 isolats de Bimbresso qui ont eu des TDM plus longs (39 à 41) ont été moins agressifs.

**Tableau 3** : Temps d'incubation de 5 isolats de *Mycosphaerella* spp. inoculés.

*Incubation time of five Mycosphaerella spp. isolates.*

Zones	Isolats	Temps d'incubation (j)	Temps de développement de la maladie (j)
Aboisso	SCp1	15,4 d	35,7 b
	SCP2	18,1 bc	29,9 c
	SCP3	21,7 ab	37,1 b
	SCP4	16,4 c	31,4 c
Azaguié	LAb8	14,6 d	27,6 c
	AGb1	17,0 c	35,2 b
	AGb2	16,3 c	29,3 c
	AGb5	16,3 c	29,8 c
	AGb6	17,4 c	35,3 b
	AGp1	19,0 b	37,7 ab
	AGp2	20,2 b	36,9 b
	AGp4	17,5 c	36,7 b
	AGp5	14,8 d	28,0 c
	AGpF1	16,5 c	34,3 b
AGpF3	15,0 d	29,0 c	
Bimbresso	LAb5	15,2 d	38,8 a
	LAb7	22,3 a	40,5 a
	LAp1	17,8 c	41,4 a

Par colonnes, les nombres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de  $\alpha = 0,05$  ; test Newman-Keuls.

### Détermination de l'indice de sévérité de chaque hybride de la collection de Musacées

Aucun hybride n'a été résistant aux cinq (5)

isolats. Tous ont présenté des symptômes de la maladie des raies noires. Les résultats ont montré un gradient de sensibilité des différentes variétés de bananiers (Tableaux 4 et 5).

**Tableau 4 :** Temps d'incubation de cinq (5) isolats de *Mycosphaerella* spp. inoculés sur des bananiers  
*Incubation time of five Mycosphaerella spp. isolates on inoculated banana.*

	Isolats de <i>Mycosphaerella</i> spp.				
	LAB8	AGpf3	LAB5	SCp1	AGp2
Grande Naine	13 e	16 de	14 e	16 de	20 d
FHIA 23	14 e	19 d	22 bc	21 bc	19 d
CRBP 39	31 b	39 a	35 a	40 a	30 b
FHIA 21	24 c	20 d	27 bc	21 cd	20 d
PITA 14	23 c	18 d	25 bc	22 c	20 d
Orishele	14 e	19 d	16 de	18 d	20 d

Les nombres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil  $\alpha = 0,5 \%$ .

**Tableau 5 :** Temps de développement de la maladie chez 5 isolats de *Mycosphaerella* spp inoculés sur des bananiers.

*Disease development time of five Mycosphaerella spp. isolates on inoculated banana.*

	Isolats de <i>Mycosphaerella</i> spp.				
	LAB8	AGpf3	LAB5	SCp1	AGp2
Grande Naine	25 g	29 f	27 fg	32 f	31 f
FHIA 23	40 de	44 d	38 e	35 e	35 e
CRBP 39	61 b	49 c	72 a	63 b	51 c
FHIA 21	38 e	43 d	47 cd	41 de	44 d
PITA 14	45 d	40 de	50 c	49 c	46 cd
Orishele	26 g	28 f	34 e	38 e	33 e

Les nombres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil  $\alpha = 0,5 \%$ .

### Isolats de *Mycosphaerella* spp.

Les nombres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil  $\alpha = 0,5 \%$

Dans l'ensemble, les hybrides ont eu des temps de développement de la maladie plus longs comparés aux cultivars Grande Naine et Orishele (Tableau 4). La maladie a eu un développement plus lent chez les variétés résistantes comme l'hybride CRBP 39 avec des temps d'incubation supérieurs à 30 j.

L'isolat AGp2, moins virulent, a montré une période d'incubation assez constante (20 jours) sur l'ensemble des variétés, sauf l'hybride CRBP 39 sur lequel la période d'incubation a été de 30 jours. Mais, le temps de développement a varié d'un génotype à l'autre (Tableau 4). Cette durée a été d'environ un mois (31 à 33 jours) chez les cultivars sensibles de référence alors que chez

les hybrides FHIA 21, PITA 14 et CRPB 39, elle a atteint un mois et demi (44 à 51 j).

Les isolats d'Azaguié AGpf3 et Agp2 ont été les plus agressifs sur l'hybride CRBP 39 avec le développement des nécroses à partir de 50 jours, tandis que le dessèchement des feuilles a été observé à partir de 60 jours, soit 10 jours plus tard (Tableau 5).

## DISCUSSION

### EVALUATION DE L'INCIDENCE DE LA CERCOSPORIOSE NOIRE DU BANANIER DANS LES ZONES DE PRODUCTION

Les études de sensibilité de *Mycosphaerella* aux fongicides s'appuient de plus en plus sur les conidies que les ascospores (Kobenan *et al.*, 2006 ; Ngando *et al.*, 2015) à cause des

difficultés liées à la production des ascospores. La lenteur de la croissance du champignon rend les isolements plus difficiles, ce qui fait que l'obtention d'un isolat purifié peut durer plus d'un mois. L'isolement efficace du champignon nécessite un suivi strict des colonies au laboratoire. La différence entre l'état sanitaire des feuilles du cultivar Grande Naine inoculées et non inoculées prouve l'absence de contamination par des spores extérieures. Les symptômes observés ont donc pour seule origine, l'inoculum apporté. Les isolats de champignon se sont tous montrés pathogènes avec un gradient de virulence établi à partir des temps d'incubation (TI). Ce gradient n'est pas influencé par les zones de provenance des différents isolats. Chez les plus virulents, les ponctuations apparaissent environ 15 j après inoculations, alors que chez les moins virulents, elles s'observent après 20 j. Ceux qui se manifestent entre 16 et 18 j, possèdent une virulence intermédiaire. En Amérique latine, sur le cultivar Grande Naine, Marin *et al.* (2003) ont montré que dans les conditions d'humidité élevée (mai-novembre), les temps d'incubation et de développement n'excèdent pas 20 et 40 j. Nos résultats montrent une différence entre les isolats de *M. fijiensis*. Des études moléculaires ont montré que la variabilité génétique de *M. fijiensis* est faible en Afrique, suggérant un événement d'introduction unique à partir d'une seule population source, ce qui peut confirmer cette faible variabilité pathogénique entre isolats (Carlier *et al.*, 1996 ; Saville *et al.*, 2017).

#### DETERMINATION DE L'INDICE DE SEVERITE DE CHAQUE HYBRIDE DE LA COLLECTION DE MUSACEES

Les comportements des hybrides sont différents en fonction des isolats de champignons quoiqu'ils soient sensibles aux cinq (5) isolats inoculés. Le temps de développement varie entre quatre (4) semaines (Grande Naine) et 10 semaines (CRBP 39). En Colombie, en conditions contrôlées, des TI de 19 j et des TDM de 69 jours ont été observés avec l'hybride FHIA 21 (Molina et Castano-Zapata, 2003). Si ce temps d'incubation n'est pas très différent de celui observé dans nos résultats (20 à 27 j), les différences sont grandes au niveau du TDM (38 à 47 j). Cette situation peut être en partie due à la dose élevée de l'inoculum et aux conditions d'expérimentation (Jacome et Schuh., 1993). Ceci est d'autant vérifié par le temps de développement très variable des mêmes isolats

sur un même génotype. En effet, il a été montré le rôle très important des phytotoxines du *M. fijiensis* dans l'extension des lésions (Nicoletti *et al.*, 2009 ; Beltran-Garcia *et al.*, 2014).

Les isolats de *M. fijiensis* se sont installés plus facilement sur les feuilles des cultivars de référence que sur les hybrides qui ont opposé une résistance à la progression du pathogène. Cela met en évidence un net effet de l'amélioration génétique quant à la résistance des bananiers à la maladie des raies noires et confirme les résultats obtenus au champ.

#### CONCLUSION

Cette étude a consisté à évaluer l'incidence de la cercosporiose noire du bananier dans les zones de production et à déterminer l'indice de la sévérité au niveau de chaque hybride de la collection de Musacées mise en évaluation. L'étude de 18 isolats de *M. fijiensis* basée sur le temps d'incubation (TI) a mis en évidence trois (3) groupes en fonction de leur virulence. Les isolats LAb8, AGp5, AGp3, SCp1 et LAb5 ; avec un court temps d'incubation (TI) d'environ 15 jours ont été plus virulents. Les moins virulents ont eu des temps d'incubation dépassant 20 j ; il s'agit des isolats AGp2, SCp3 et LAb7. Les autres isolats ont eu une virulence intermédiaire avec des TI variant entre 16 et 19 j. Les zones de leur provenance n'ont eu aucun effet sur la composition de ces groupes. Environ 17 % des isolats se sont révélés très virulents et plus agressifs. Inoculés, les hybrides, avec des temps d'incubation plus longs et une évolution plus lente de la maladie, se sont montrés plus résistants que les cultivars de référence.

#### REFERENCES

- Alakonya A. E., J. Kimunye, G. Mahuku, D. Amah, B. Uwimana, A. Brown. 2018. Progress in understanding *Pseudocercospora* banana pathogens and the development of resistant Musa germplasm. *Plant Pathology* : 67 :759–70.
- Beltran-Garcia M. J., F. M. Prado, M. S. Oliveira, D. Ortiz-Mendoza, A. C. Scafo, A. Pessoa. 2014. Singlet molecular oxygen generation by light-activated DHN-melanin of the fungal pathogen *Mycosphaerella fijiensis* in black Sigatoka disease of bananas. *Plos One* 9(3): e91616 10.1371/journal.pone.0091616

- Blomme G., R. Ploetz, D. Jones, E. De Langhe, N. Price, C. Gold. 2013. A historical overview of the appearance and spread of *Musa* pests and pathogens on the African continent : highlighting the importance of clean *Musa* planting materials and quarantine measures. *Ann Appl Biol.* 2013;162(1):4–26.
- Burgos-Canul Y. Y., B. Canto-Canché, M. V. Berezovski, M. V. Mironov, V. M. Loyola-Vargas, A. P. Barba de Rosa, M. Tzec-Simá, L. Brito-Argáez, M. Carrillo-Pech, R. Grijalva-Arango, G. Muñoz-Pérez, and I. Islas-Flores. 2019. The cell wall proteome from two strains of *Pseudocercospora fijiensis* with differences in virulence. *World Journal Microbiology Biotechnology* : 2;35(7):105.
- Carlier J., M.H. Lebrun, M.F. Zapater, C. Dubois and X. Mourichon. 1996. Genetic structure of the global population of banana black leaf streak fungus *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology* 5: 499-510.
- Carlier J, E. Fouré, F. Gauhl, D.R. Jones, P. Lepoivre, X. Mourichon, . 2000. Fungal diseases of the foliage: Sigatoka leaf spots In: Jones DR, editor. *Diseases of Banana, Abacá and Enset*. Wallingford, Oxon OX10 8DE UK: CABI Publishing.
- Churchill A. C. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana : progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molecular Plant Pathology* 12:307-328.
- De Bellaire L. D. L., E. Fouré, C. Abadie and J. Carlier. 2010. Black leaf streak disease is challenging the banana industry. *Fruits* 65:327-342.
- Frossard P. 1980. Apparition d'une nouvelle et grave maladie foliaire des bananiers et plantains au Gabon: la maladie des raies noires: *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Fruits*. 1980;35(9):519–27.
- Hidalgo W., J.N. Chandran, R.C. Menezes, F. Otálvaro, and B. Schneider. 2016. Les phénylphénalénone protègent les bananiers de l'infection par *Mycosphaerella fijiensis* et sont désactivées par conversion métabolique. *Environ de cellules végétales*. 39 492-513. 10.1111/pce.12630.
- Ioos R, J. Hubert, C. Abadie, D. Duféal, G. Opdebeeck, and J. Lotti. 2011. First report of black Sigatoka disease in banana caused by *Mycosphaerella fijiensis* on Martinique Island. *Plant Disease*. 2011;95(3):359.
- Jacome, L. and W. Schuh. 1993. Spore production and artificial inoculation techniques for *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. *Tropical Agriculture* 70 : 33-38.
- Jacome L., P. Lepoivre, D. Marin, R. Ortiz, R. Romero and J. V. Escalant 2003. *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. Proceedings of the workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases held in San Jose, Costa Rica on 20-23 may 2002. The international Network for the improvement of banana and Plantain, Montpellier, France.
- Kobenan K., S. Traore and P. Gnonhouiri 2006. Situation des populations de *Mycosphaerella* spp. champignons responsables des cercosporioses dans les bananeraies en Côte d'Ivoire 30 novembre 2005. Premier rapport d'étape Projet FIRCA/ CNRA, Février 2006. 35p.
- Koné D. 1998. Contribution à l'étude des cercosporioses et des cladosporioses des bananiers en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat 3ème cycle. Laboratoire de Physiologie Végétale, UFR biosciences, Université de Cocody-Abidjan, 245 p.
- Marin D.H, R.A. Romero, M. Guzman and T.B. Sutton. 2003. Black Sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease* 87 (3) : 208-222.
- Molina T. and J. Castano-Zapata. 2003. Résistance des hybrides FHIA aux *Mycosphaerella* spp. *InfoMusa* 12 (2): 25-28.
- Ngando J. E., A. Rieux, O. Nguidjo, L. Pignolet, C. Dubois, A. Mehl, M. F. Zapater, J. Carlier, and L. de Lapeyre de Bellaire. 2015. A novel bioassay to monitor fungicide sensitivity in *Mycosphaerella fijiensis*. *Pest Management Science* Mar ;71(3):441-51.
- Nicoletti R., E. Manzo, and M. L. Ciavatta. 2009. Occurrence and bioactivities of funicone-related compounds. *International Journal of Molecular Sciences* 10 : 1430-1444. 10.3390/ijms10041430
- Noar R. D., E. Thomas, D. Y. Xie, M. E. Carter, D. Ma and M. E. Daub. 2019. A polyketide synthase gene cluster associated with the sexual reproductive cycle of the banana pathogen, *Pseudocercospora fijiensis* PLoS One : 14(7):e0220319.
- Pasberg-Gauhl C. and F. Gauhl. 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.

- Rieux A., S. Soubeyrand, F. Bonnot, E. K. Klein, J. E. Ngando and A. Mehl, 2014. Long-distance wind-dispersal of spores in a fungal plant pathogen: estimation of anisotropic dispersal kernels from an extensive field experiment. *PLoS One*. 2 : 9(8):e103225 10.1371/journal.pone.0103225
- Robert S., V. Ravigne, M. F. Zapater, C. Abadie, and J. Carlier. 2012. Contrasting introduction scenarios among continents in the worldwide invasion of the banana fungal pathogen *Mycosphaerella fijiensis*. *Mol Ecol*. 2012;21(5):1098–114. 10.1111/j.1365-294X.2011.05432.x
- Robert S., M. F. Zapater, J. Carlier, C. Abadie, and V. Ravigné 2015. Multiple introductions and admixture at the origin of the continental spread of the fungal banana pathogen *Mycosphaerella fijiensis* in Central America: a statistical test using approximate Bayesian computation. *Rev Ecol Terre Vie*. 2015;70:127–38.
- Saville A., M. Charles, S. Chavan, M. Muñoz, L. Gómez-Alpizar, and J. B. Ristaino. 2017. Population Structure of *Pseudocercospora fijiensis* in Costa Rica Reveals Shared Haplotype Diversity with Southeast Asian Populations, the American Phytopathological Society, pages : 1541-1548
- Traoré S., K. Kobenan, K. S. Kouassi and G. Gnonhouiri. 2009. Systèmes de culture du bananier plantain et méthodes de lutte contre les parasites et ravageurs en milieu paysan en Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences* 19: 1094 - 1101 ISSN 1997–5902.