

*La Revue
Internationale
sur Bananiers
et Plantains*

infoMusa

*La filière
banane à
Madagascar
Eradiquer la
maladie des
raies noires
de l'Australie*

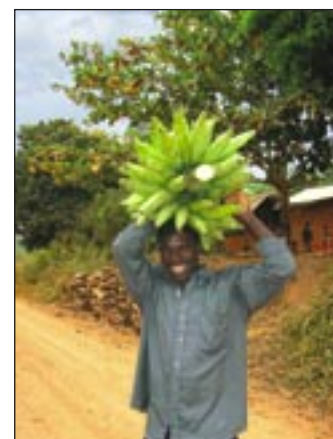
*La diversité
génétique de
Mycosphaerella
en Colombie*

*Effet de la
profondeur
du trou de
plantation*

*Sauvegarder la
diversité des
bananiers*

*Vol. 14 N° 2
Décembre 2005*





INFOMUSA
Vol. 14, N° 2

Editeur :
Réseau international pour l'amélioration
de la banane et de la banane plantain
(INIBAP)

Directrice :
Claudine Picq

Rédactrice en chef :
Anne Vézina

Comité de Rédaction :
Charlotte Lusty, Richard Markham, Nicolas
Roux, Mike Smith et Charles Staver

Mise en page :
Crayon & Cie
Imprimé en France
ISSN 1023-0068
Rédaction : INFOMUSA, INIBAP, Parc
Scientifique Agropolis II, 34397 Montpellier
Cedex 5, France. Téléphone : + 33-(0)4 67
61 13 02 ; Télécopie : + 33-(0)4 67 61 03 34 ;
Courrier électronique : inibap@cgiar.org
L'abonnement est gratuit pour les pays en
développement. Les lecteurs sont invités à
envoyer lettres et articles. La rédaction se
réserve le droit d'abréger ou de reformuler
les textes publiés pour des raisons de
clarté et de concision. INFOMUSA ne peut
s'engager à répondre à toutes les lettres
reçues, mais s'efforcera de le faire dans
un délai raisonnable. La reproduction de
tout extrait du magazine est autorisée à
condition d'en spécifier l'origine.
INFOMUSA est également publié en anglais
et en espagnol. Une version électronique
est disponible à l'adresse suivante : http://www.inibap.org/publications/infomusa/infomusa_fre.htm
Changement d'adresse : Merci d'en informer
la rédaction d'INFOMUSA à l'adresse
indiquée ci-dessus avec si possible six
semaines de préavis afin d'éviter toute
interruption de réception de la revue.

**Les opinions émises dans les articles
n'engagent que leurs auteurs et ne
reflètent pas nécessairement le point de
vue de l'INIBAP.**

La mission de l'INIBAP est d'accroître de
façon durable la productivité des bananiers
et des bananiers plantain cultivés sur de
petites exploitations pour la consommation
locale et pour les marchés d'exportation.
L'INIBAP est un réseau de l'Institut inter-
national des ressources phytogénétiques
(IPGRI), un centre *Future Harvest*.

Sommaire

Economie de la filière bananière de Madagascar <i>L. Temple, A.H.J. Rakotomalala et T. Lescot</i>	2
Eradication de la maladie des raies noires de régions productrices de bananes en Australie <i>R. Peterson, K. Grice et R. Goebel</i>	7
Evaluation en champ de l'action des strobilurines, des triazoles et de l'acibenzolar pour lutter contre la maladie de Sigatoka en Australie <i>L. L. Vawdrey et K. Grice</i>	11
Traitement des maladies causées par les <i>Mycosphaerella</i> spp. par application d'acides fulviques <i>J. Hernando Escobar Vélez et J. Castaño Zapata</i>	15
La diversité génétique des isolats colombiens de <i>Mycosphaerella fijensis</i> Morelet analysée avec des microsatellites <i>I. Perea, E. Rodríguez Arango, E. Márquez et R. Arango</i>	18
Estimation de la taille du système racinaire par carottage <i>H.H. Mukasa, D. Ocan, P.R. Rubaihayo et G. Blomme</i>	21
Effet de la profondeur du trou de plantation sur le développement du plant et des racines de <i>Musa</i> spp. <i>G. Sebuwufu, P.R. Rubaihayo et G. Blomme</i>	24
Evaluation d'une méthode pour cribler simultanément le matériel génétique de <i>Musa</i> contre des espèces multiples de nématodes <i>D.L. Coyne et A. Tenkouano</i>	27
L'effet du stress oxydant sur les cultivars 'Berangan' et 'Mas' <i>C. Tsun-Thai, N.A.M. Fadzillah, M. Kusnan et M. Mahmood</i>	32
Le point sur des enfants des rues en Asie	36
Le point sur la sauvegarde de la diversité des <i>Musa</i>	37
Thèses	40
Nouvelles des <i>Musa</i>	44

Fournir un appui en matière d'information à la communauté travaillant en recherche et en développement sur *Musa* a toujours été considéré comme une activité essentielle au sein de l'INIBAP. INFOMUSA est un élément clé de cette stratégie de diffusion de l'information. Au cours des 20 dernières années, nous nous sommes, dans une certaine mesure, adaptés au développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) en produisant des versions électroniques de nos publications mais nous avons toujours résisté au « tout électronique ».

L'une des raisons est que la portée d'INFOMUSA est beaucoup plus large sous format imprimé que sous format électronique (près de 60% des abonnés d'INFOMUSA n'ont pas d'adresse électronique). C'est pourquoi nous n'envisageons pas pour l'instant d'arrêter de publier la version papier d'INFOMUSA. Cependant, des contraintes financières – et notamment la diminution des fonds discrétionnaires dont nous disposons pour publier cette revue – pourraient nous obliger à réduire le nombre de numéros publiés annuellement.

Ne produire INFOMUSA qu'en version électronique entraînerait, de toute évidence, une réduction des coûts de production, même en tenant compte des frais de réalisation de pages HTML (actuellement INFOMUSA est uniquement disponible sous la forme d'un fichier PDF reprenant la mise en page sur deux colonnes de la revue, un format qui ne se prête guère à la lecture à l'écran et transfère au lecteur la charge de l'impression). De fait, nous envisageons de développer ce service dans le cadre de notre stratégie visant à améliorer l'accès à nos produits d'information via notre site web.

Un recours accru aux NTIC pourrait nous aider à élargir l'éventail de notre lectorat. Un bulletin électronique d'information, par exemple, attirant l'attention sur des articles publiés dans INFOMUSA et sur d'autres types de nouvelles, pourrait être envoyé non seulement à nos abonnés mais aussi à des donateurs, partenaires et médias. Progressivement, et dans la mesure où la fracture numérique se résorbe, nous pourrions envisager de publier une partie d'INFOMUSA seulement sous forme électronique.

Pendant que nous cherchons l'équilibre le plus approprié entre solutions conventionnelles et *high-tech* pour pouvoir continuer à diffuser de l'information de façon efficace et économique, nous aimerions avoir votre opinion. Et, dans le but d'améliorer la communication avec nos abonnés, nous prions tous ceux qui ont acquis une adresse électronique après s'être abonnés à INFOMUSA, de nous la faire parvenir à : inibap@cgiar.org

Les éditeurs

La croissance démographique de la population malgache crée un contexte favorable à l'augmentation de la production de banane qui concourt pour près de 20% de l'approvisionnement en fruits de la population. Les bananes dessert, dénommées localement Batavia ou Bitavia, appartiennent principalement au sous-groupe variétal des Cavendish et représentent plus de 75% de la production nationale de banane. La banane est également consommée cuite, principalement dans les zones de production. Cette consommation a augmenté récemment, se substituant au riz pendant la période de soudure dans la zone côtière de l'Est de l'île.

La production de bananes de Madagascar a connu une croissance rapide jusqu'en 1975 où elle a atteint son plus haut niveau, environ 400 000 tonnes, impulsée par des sociétés d'assistance technique pour l'émergence des exportations¹ (vers la France entre 1961 et 1971). La production a ensuite chuté puis s'est stabilisée en 1979 (Figure 1). Depuis 1994, sa croissance est régulière mais lente et s'est stabilisée à 290 000 tonnes à partir de 2002 (FAOSTAT). Cette augmentation est insuffisante au regard de la croissance de la population. Les disponibilités annuelles en bananes par habitant ont chuté de 60 kg en 1974 à 18 kg en 2002 (Figure 2). En posant pour objectif de retrouver un niveau de disponibilité par habitant de 26 kg (moyenne des disponibilités calculée sur 20 ans) et en tenant compte de la croissance démographique actuelle (2,8% par an), il faudrait presque doubler la production de bananes à Madagascar en moins de cinq ans, c'est-à-dire produire plus de 230 000 tonnes supplémentaires. L'objet de cet article est de s'interroger sur les conditions de production et de commercialisation qui déterminent la capacité d'ajustement de cette filière aux enjeux quantitatifs que pose la sécurité alimentaire du pays.

Matériels et méthodes

Sur le plan méthodologique, cet article exploite les données collectées auprès d'un panel d'une vingtaine d'experts consultés dans le cadre d'une étude réalisée pour la relance du secteur banane à Madagascar (Scanagri 2003) ainsi que les résultats

d'une enquête auprès d'un échantillon de producteurs et commerçants de la filière réalisée dans le cadre d'un stage universitaire (Rakotomalala 2003).

Les principes méthodologiques mobilisés sont ceux d'une approche filière. Ils conduisent successivement à localiser les principales zones de production, à étudier le processus de formation des prix et à caractériser le fonctionnement du système de commercialisation pour analyser son efficacité.

Résultats et discussion

Conditions de production

Hormis quelques plantations commerciales, la culture de la banane se fait, de manière dominante, dans de petites exploitations familiales d'une superficie moyenne de 0,3 ha, soit 500 à 700 pieds par producteur (Bé 2003, Randrianavoson 2002). Ces exploitations, de par leur structure et leurs contraintes financières, n'ont pas ou très peu la possibilité de s'approvisionner en intrants (engrais, insecticides...).

Avec une moyenne de 6 tonnes de bananes par hectare, les rendements sont très faibles au regard des potentialités que l'on peut obtenir en station, qui peuvent atteindre jusqu'à 100 tonnes/ha dans des systèmes de production très intensifs et des conditions particulières. Les données disponibles (FAOSTAT) rendent compte d'une chute des rendements entre 1983 et 2004 (Figure 1). Ces données globales ne permettent pas d'apprécier l'évolution des rendements en fonction de la localisation géographique et des systèmes de production. Les travaux réalisés soulignent l'importance croissante des contraintes phytosanitaires, principalement la maladie des raies noires, le charançon et d'autres maladies en cours d'identification, mais aussi du manque de soin à la culture, notamment la nutrition des plantes (surtout azotée et potassique).

Entre 1976 et 1986, la province de Toamasina dans l'est contribuait pour une moyenne de 51% à l'offre nationale. En 1999, avec 61 108 tonnes, cette province ne contribuait plus que pour 36% de la production du pays (Rakotomalala 2003). Cette chute de la production est principalement liée à une forte croissance des contraintes phytosanitaires (Scanagri 2003).

¹ Les exportations ont à leur maximum atteint 33 000 tonnes, elles se sont effondrées en 1970.

Entre temps, la production de banane s'est développée dans le Sud-Est de l'île. En 1999, la province de Fianarantsoa assurait 42% de l'offre du pays, soit 71 285 tonnes.

La ville d'Antananarivo, capitale du pays (environ 1,4 millions d'habitants) est le principal marché de consommation de Madagascar. A partir des disponibilités moyennes de 18 kg/habitant et compte tenu d'une consommation de banane inférieure, dans les zones urbaines, à celle des zones rurales, on peut estimer la taille de ce marché

entre 17 000 et 25 000 tonnes annuelles. La quantification des flux qui approvisionnent Antananarivo montre que 60% de l'offre provient du Sud-Est, 30% de l'Est et 10% de l'Ouest (Rakotomalala 2003).

Les conditions de commercialisation

Les observations de prix sur les produits agricoles sont assurées principalement par l'Institut national de la statistique (INSTAT) pour les prix à la consommation, et de manière récente, par le Ministère de l'agriculture dans les zones de production.

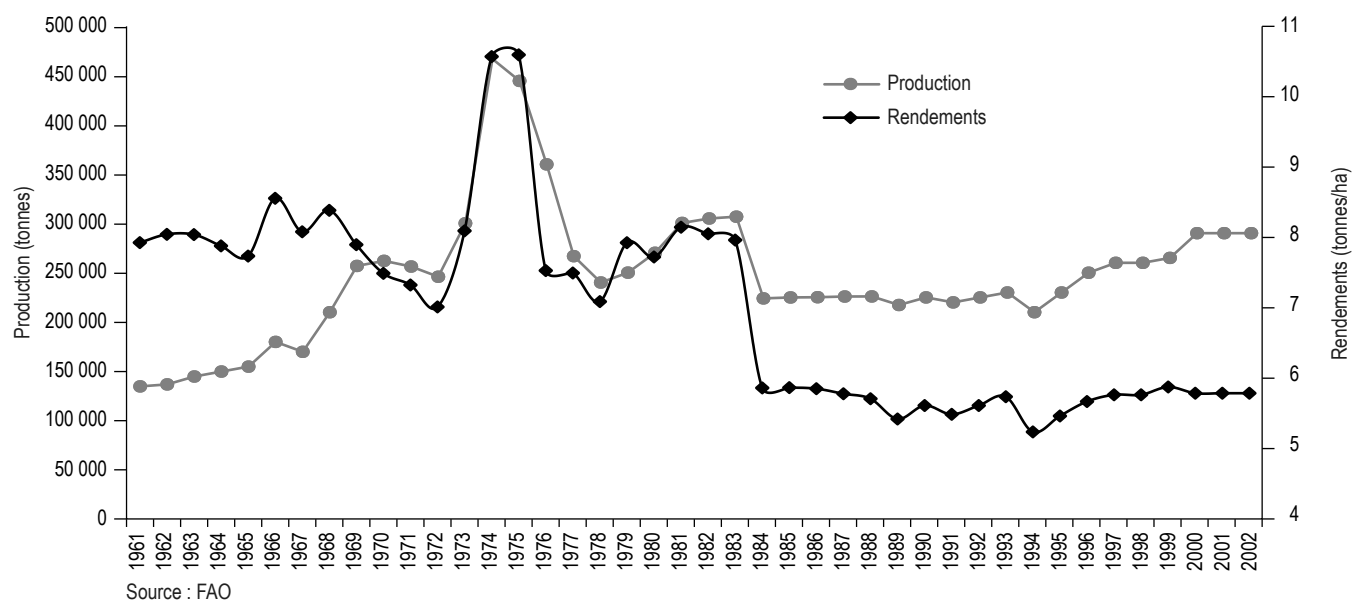


Figure 1. Evolution de la production et des rendements en bananes à Madagascar depuis 1961.

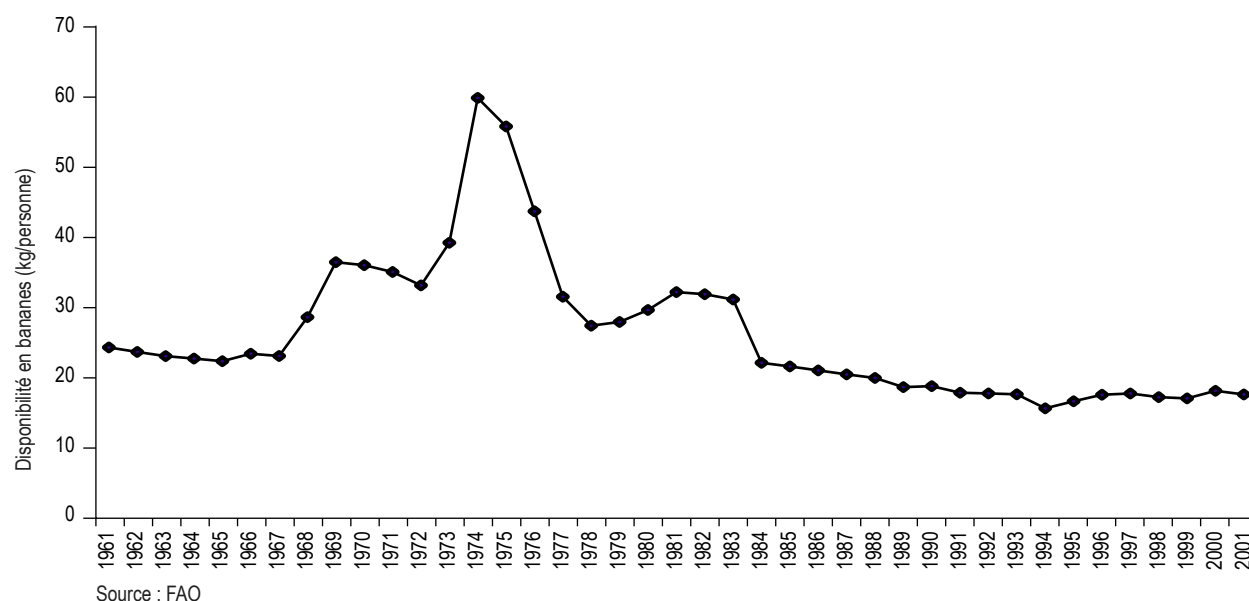
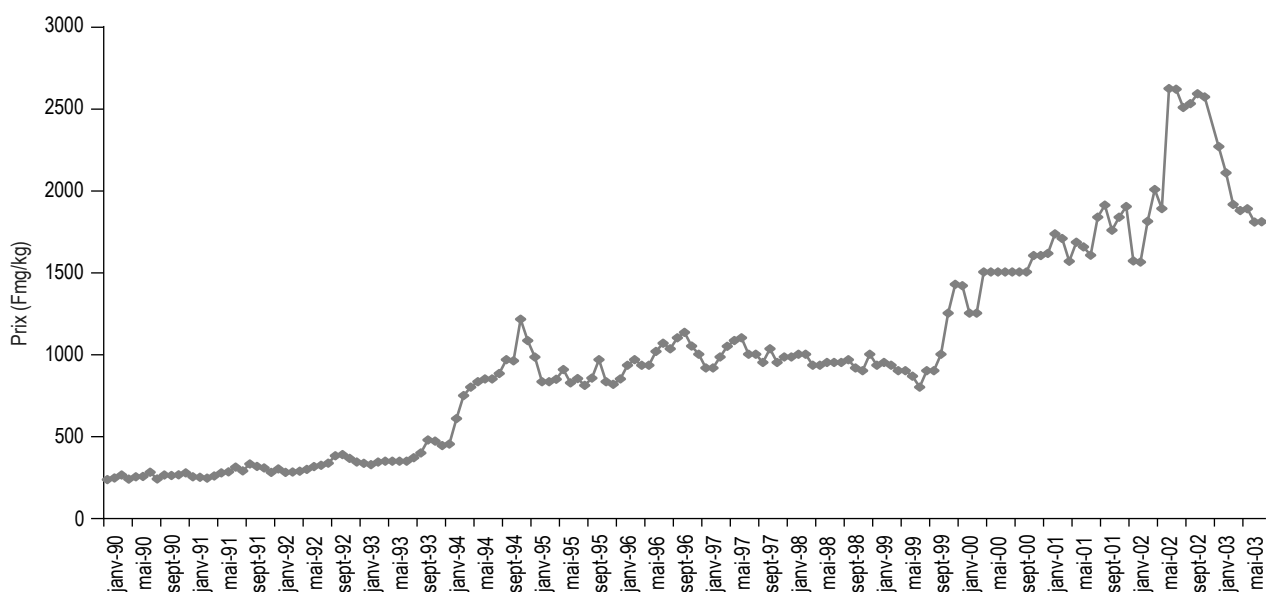


Figure 2. Evolution de la disponibilité de bananes par habitant à Madagascar.



Source : INSTAT

Figure 3. Evolution du prix de la banane mûre à Antananarivo.

Dans ces deux structures, les prix sont relevés au kilogramme de banane mûre, c'est-à-dire au niveau des consommateurs.

Les prix (INSTAT 2000) sont issus d'une moyenne calculée sur trois ou quatre marchés d'Antananarivo (Figure 3). La tendance a été à l'augmentation jusqu'en 1994, suivie par une stabilisation autour de 1000 Fmg*/kg jusqu'en 1999. Depuis lors, les prix augmentent très rapidement et sont de plus en plus instables : les variations d'une année sur l'autre ont des amplitudes de plus en plus fortes. La saisonnalité (variation intra-annuelle) est relativement faible. Pour mieux comprendre les déterminants potentiels de cette instabilité, il est apparu nécessaire de caractériser la structure du système de commercialisation afin d'analyser son efficacité (Figure 4).

Il n'existe pas vraiment de marché spécifique de gros. Chaque marché assure la fonction simultanée de gros et de détail, mais la fonction dominante varie selon l'heure de la journée, voire le jour de la semaine. On différencie plusieurs opérateurs principaux : les grossistes transporteurs, les grossistes mûrisseurs, les clients et les revendeurs.

- Les **grossistes transporteurs** disposent de leur propre camion et s'approvisionnent principalement auprès de grossistes collecteurs au niveau des lieux de déchargement des radeaux. Les grossistes transporteurs ne disposent pas de lieu de stockage en ville. La banane est vendue

immédiatement à leur arrivée auprès de « clients ». Un camion de 10 tonnes sera écoulé en moyenne auprès de 8 à 12 clients, soit une moyenne d'environ une tonne par client. Les pertes physiques post-récolte sont liées à la durée de stockage dans le camion. Entre le chargement et le déchargement (2 jours), on peut perdre 700 kilos de fruits, mais au-delà de 3 jours, les pertes peuvent atteindre 2 à 3 tonnes. Ces pertes sont principalement liées à l'évapotranspiration des régimes et à leur écrasement dans les camions (hétérogénéité parfois des stades de coupe).

- Les **grossistes mûrisseurs** ou « clients » fixent le prix d'achat de la banane auprès des grossistes transporteurs dans les zones urbaines. Les grossistes mûrisseurs sont en contact principalement avec des grossistes transporteurs d'une zone géographique donnée. Ils s'approvisionnent difficilement à partir de zones différentes. Selon les observations faites, les grossistes mûrisseurs sont partiellement spécialisés dans une variété donnée. Chacun possède sa mûrisserie. Elle est constituée d'un four rectangulaire en terre (8m x 5m x 3m) d'une capacité maximale de trois tonnes, chauffé avec un mélange de bois sec et de sciure. Le métier de mûrisseur implique de maîtriser les techniques de construction des fours et de disposer d'emplacements libres non construits à proximité des marchés, sachant que le prix du foncier est élevé. Ce savoir-faire et ce capital se transmettent parfois depuis plus de 300 ans.

* 1 € = environ 11 000 Francs malgaches (Fmg) et 2600 Ariary (nouvelle monnaie malgache)

Le grossiste mûrisseur régule l'approvisionnement du marché, car il peut stocker les bananes « en vert ». La quasi-totalité de la production consommée sur Antananarivo, soit environ 25 000 tonnes, transite par ces mûrisseries artisanales. Avec une capacité moyenne annuelle approximative de 300 tonnes par mûrisserie, on peut estimer leur nombre entre 80 et 100. Ces mûrisseries sont juxtaposées à un entrepôt de stockage des bananes. Chaque grossiste mûrisseur mûrit sa propre marchandise. Il n'existe pas (ou peu) de prestations entre grossistes.

Si la banane se conserve verte entre 15 et 30 jours, en revanche, une fois mûre, la durée de conservation sans froid est de seulement 2 à 3 jours. Les mûrisseries ont donc pour fonction principale de réguler l'approvisionnement des marchés de détail en bananes mûres à partir de stocks en vert.

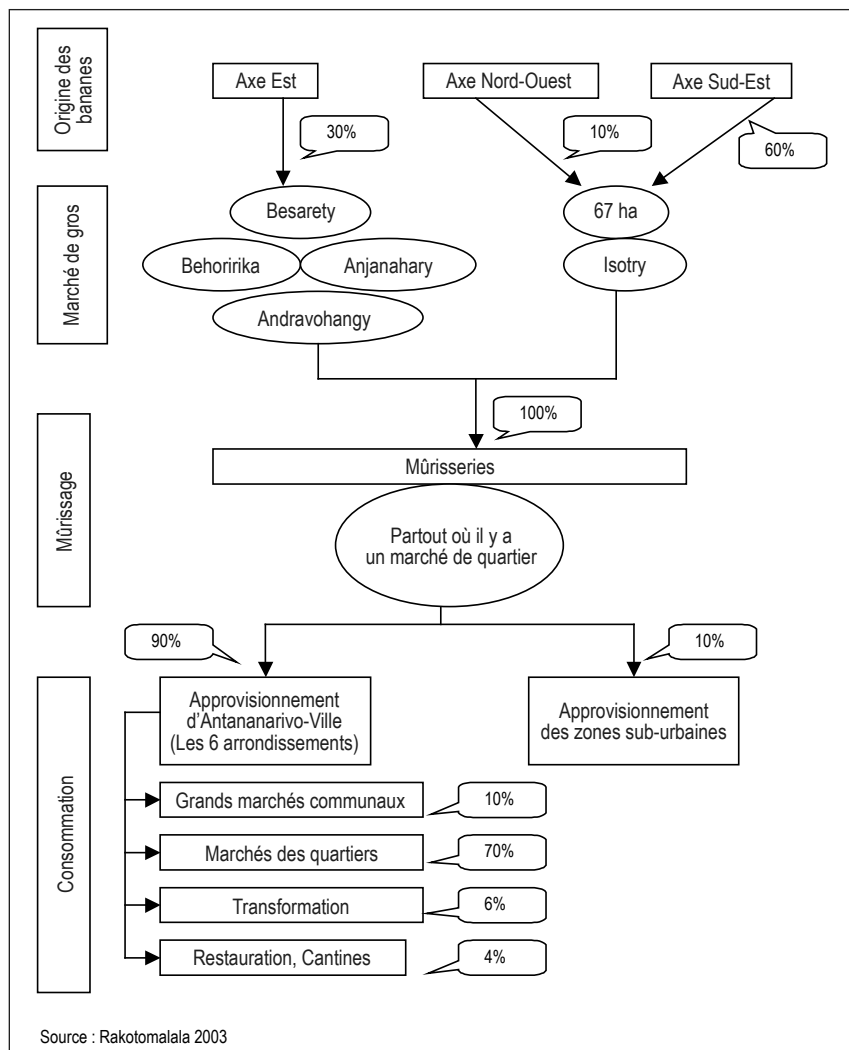
La perte de tonnage que subit le grossiste mûrisseur sur la quantité achetée (découpe du régime en mains, perte de poids liée au passage en mûrisserie, qui assèche les bananes) est d'environ 25 à 30% pour les bananes en provenance de Brickaville et 20% pour les bananes en provenance de Mananjary (variété à peau plus épaisse qui diminue l'évaporation dans la mûrisserie et teneur en humidité initiale plus faible).

Le grossiste mûrisseur vend ensuite ses bananes mûres auprès de revendeurs. La vente se fait au kilo. Toutes les variétés et les qualités sont censées être mélangées. Le grossiste conditionne sa banane en « garrabes » (panier d'une capacité moyenne de 20 kg), mais l'unité de transaction et de négociation reste le prix au kilo. Une tonne approvisionne de cinq à six revendeurs situés sur des marchés différents de la ville. Les revendeurs vendent aux consommateurs sur les marchés ou sur des points de vente le long des axes de communication.

La succession de ces opérateurs permet d'identifier les circuits de commercialisation (Figure 4) qui approvisionnent la ville. Sans détailler la complexité de ce système, notamment liée à la polyvalence des opérateurs selon les périodes, il est nécessaire, à partir des données collectées, de s'interroger sur son efficacité.

L'efficacité du système de commercialisation

La décomposition des coûts de commercialisation (Tableau 1) permet de calculer les marges bénéficiaires par kilo au niveau de chaque type d'opérateurs et d'identifier ceux qui réalisent les marges bénéficiaires les plus importantes.



Les marges des grossistes collecteurs et des grossistes transporteurs (environ 7 Fmg/kg) n'apparaissent pas très importantes au regard des volumes mensuels d'activité d'une part, des risques encourus et des investissements en capital nécessaires d'autre part. En revanche, les marges des grossistes mûrisseurs (315 Fmg/kg) interrogent fortement sur leur justification. L'exercice n'a pu être réalisé sur le dernier opérateur de la filière, le détaillant sur les marchés.

Le diagnostic sur le système de commercialisation aboutit à deux observations convergentes. Les enquêtes auprès des opérateurs ont révélé que le prix directeur de la filière est déterminé par les prix qui se forment entre le grossiste mûrisseur et les grossistes transporteurs. Les analyses de marges soulignent l'importance des marges bénéficiaires au niveau des grossistes mûrisseurs pour des volumes de transaction importants.

La compression des marges de commercialisation se fait au niveau des mûrisseries. Par hypothèse, cette compression

Figure 4. Schéma du flux des bananes dans l'approvisionnement d'Antananarivo.

Table 1. Structure des prix de la banane au consommateur d'Antananarivo (la structure des coûts entre les détaillants et les consommateurs n'a pas été étudiée).

Zone d'approvisionnement de Brickaville	Fmg*/kg	Source
Prix d'achat par le producteur collecteur	425	Enquête directe†
Transport du bateau au lieu de stockage	7	Enquête directe
Chargement sur camion après pesée	4	Enquête directe
Taxe patente	20	Enquête directe
Estimation transport (chauffeur, amortissement camion...)	110	Estimations
3 jours de travail pour 10 tonnes à 20 000 Fmg/jour	6	Estimations
Perte de 7% de poids dans le transport soit 700 kilos	30	Calcul auteurs
Coût/kilo au grossiste transporteur	601	Calcul auteurs
Prix de vente au grossiste mûrisseur	608	Enquête directe
Marge/kilo	7	Calcul auteurs
Transport à la mûrissière	25	Rakotomalala 2003
Découpage en mains	10	Rakotomalala 2003
Chargement, déchargement	20	Rakotomalala 2003
Amortissement des investissements dans les fours, balances...	7	Rakotomalala 2003
Combustible	6	Rakotomalala 2003
Perte de 27% de poids	164	Calcul auteurs
Salarié spécialisé (3 jours à 20 000 Fmg/day)	60	Estimations
Salarié spécialisé (3 jours à 20 000 Fmg/day)	60	Estimations
Coût/kilo au grossiste mûrisseur	960	Calcul auteurs
Prix de vente des grossistes aux détaillants	1275	Enquête directe
Marge nette grossiste mûrisseur	315	Calcul auteurs
Prix de vente aux consommateurs	2250	Enquête directe

*1€ = approx. 11 000 Madagascar Francs (Fmg)

†Enquête : L. Temple – T. Lescot Septembre 2003

pourrait permettre simultanément d'augmenter les prix aux producteurs (condition favorable à l'augmentation de la production) et diminuer les prix aux consommateurs (condition favorable à l'augmentation de la consommation). Cette compression peut passer par des innovations au niveau de la circulation de l'information sur les prix ; l'émergence d'organisations de commercialisation en aval et en amont des mûrissières, et l'amélioration des techniques de stockage et de mûrissage actuelles.

Conclusion

La production de bananes à Madagascar répond à une demande intérieure en rapide augmentation tant dans les villes pour la consommation en fruits que, de manière récente, dans les zones rurales pour la consommation en « légume » pendant la période de soudure. Elle se localise principalement dans le Sud-Est et l'Est de l'île, sur de petites exploitations de type familial avec des rendements très faibles du fait, notamment, de contraintes phytosanitaires et nutritionnelles croissantes. Si l'analyse du système de commercialisation révèle une certaine performance, des dysfonctionnements sont identifiés principalement au niveau de l'interface entre les grossistes et les grossistes mûrisseurs. Ce diagnostic révèle d'importantes potentialités d'amélioration des conditions de production et d'efficacité du système de

commercialisation. Leur réalisation implique la diffusion de techniques adaptées aux conditions socio-économiques de production (lutte intégrée, techniques de multiplication horticoles, ...) et une optimisation du système actuel d'information des prix sur les marchés. La mise en place, et la diffusion, d'un prix au stade vert (avant les mûrissières) dans les zones de production et à l'arrivage sur les marchés de gros d'Antananarivo seraient susceptibles de renforcer la transparence du marché et de créer des conditions économiques favorables à l'accroissement de la production.

Références

- Bé F. 2003. Analyse de la production de la filière banane, faits et perspective, cas de la province de Tananarive. Mémoire de maîtrise en sciences économiques, Faculté de Tamatave. Madagascar. 55pp
- INSTAT. 2000. Les Cahiers du Réseau d'Observatoires Ruraux n°1. Ministère des finances et de l'économie. Madagascar.
- FAOSTAT. <http://apps.fao.org/faostat>
- Rakotomalala A.H.P. 2003. Analyse de la filière banane, caractérisation des stratégies des acteurs dans l'approvisionnement de la ville d'Antananarivo. Mémoire de fin d'étude Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. 61pp.
- Randrianavoson N. 2002. Etude de la filière banane dans la sous région d'Ambato Boeni. Projet de développement régional d'Ambato Boeni. PNUD 62pp.
- Scanagri. 2003. Appui à la filière horticole. Etude agro-économique de la filière banane. Rapport de mission 43pp.

Ludovic Temple et Thierry Lescot travaillent au Cirad Fihor, TA 50/PS4 Bd de la Lironde, 34398 Montpellier, France; **Andriamparany Heritiana J. Rakotomalala** à l'Université d'Antananarivo, Madagascar.

Eradication de la maladie des raies noires de régions productrices de bananes en Australie

R. Peterson, K. Grice et R. Goebel

En Australie, les bananiers sont cultivés principalement dans le nord du Queensland, le long de la côte tropicale humide, autour des villes de Tully et Innisfail (Anon. 2002). Cette région est relativement humide (3000 à 5000 mm de pluie par an) et lors de la saison humide (novembre à mai), les conditions sont très favorables aux maladies foliaires et tout particulièrement à la maladie de Sigatoka, causée par *Mycosphaerella musicola* Leach. Le restant de l'année est soit frais soit généralement sec.

La maladie des raies noires (MRN), causée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, est la principale maladie affectant les bananiers dans le monde. Elle est endémique en Papouasie Nouvelle Guinée et dans les îles du détroit de Torres. Elle a été détectée pour la première fois sur le continent australien, en 1981, dans la région sèche du Cap York qui frange le détroit de Torres (Jones et Alcorn 1982). Entre 1981 et 2000, elle a été enregistrée dans six autres sites de la région du Cap York. Ces infestations résultent probablement d'une ou de deux introductions de plants infectés provenant de la région du détroit de Torres. La MRN a été éradiquée à chaque site par la destruction de toutes les feuilles et par la réintroduction de cultivars résistants.

En avril 2001, la MRN a été détectée dans la région de Tully, dans le nord du Queensland et, après un état des lieux de l'infestation, un programme d'éradication a été mis en place.

Matériels et méthodes

Enquêtes visant à délimiter la maladie

L'étendue de l'infestation a été déterminée à l'aide d'enquêtes menées dans toutes les régions bananières du nord du Queensland, incluant les zones résidentielles. Des échantillons de feuilles malades ont été transmis au *Department of Primary Industries and Fisheries laboratory* à Mareeba. L'identification d'échantillons douteux a été confirmée par le test de la réaction en chaîne par polymérase (PCR) (Henderson *et al.* 2002).

Après avoir délimité l'infestation, la Région Productrice de Bananes de Tully (RPBT) a été décrétée zone de quarantaine. La RPBT couvre 4400 km² et comprend les 4500 ha de bananiers aux alentours des communes de Tully et de Mission Beach. L'objectif était

que chaque bananier de la RPBT présente un niveau de « maladie indétectable ». Des pénalités étaient prévues pour les propriétaires qui ne se conformaient pas aux règles. Les tissus de feuilles présentant des symptômes de la maladie devaient être prélevés et placés à même le sol afin de se décomposer.

Programme d'éradication

Le but du programme d'éradication (Peterson 2002) était d'éliminer tout inoculum de MRN dans la région et d'appliquer un programme intense de traitements par arrosage, afin d'empêcher le développement de nouveaux foyers d'infection. Etant donné que l'incidence de la MRN était relativement faible par rapport à celle de la maladie de Sigatoka, le fait de réduire l'inoculum de cette dernière à des niveaux extrêmement faibles, devait assurer par la même occasion l'éradication de tout inoculum de la MRN.

Toutes les parcelles figurant sur les cadastres de la RPBT ont été inspectées dans le but de détruire l'inoculum de tous les bananiers non commerciaux. Les propriétaires, qui voulaient garder leurs bananiers, étaient tenus de les maintenir à un niveau de « maladie indétectable » en les effeuillant, avec ou sans traitement. Les propriétaires qui ne respectaient pas ces consignes, risquaient de voir leurs plantes détruites, cette démarche étant à leur charge. Tous les bananiers indésirables, y compris ceux sans propriétaires (bananiers sauvages), ont été échantillonnés et détruits.

Des fongicides ont été appliqués toutes les semaines entre août 2001 et février 2002. Ceux-ci comprenaient le fongicide protecteur mancozeb et les fongicides systémiques propiconazole, difenoconazole, tebuconazole et trifloxystrobin. De l'huile minérale, à une dose de 4 à 5 L/ha, a été ajoutée à tous les fongicides pulvérisés. De février 2002 à mars 2003, un programme moins intense d'arrosage a été mis en place et consistait en une pulvérisation de mancozeb et d'huile toutes les deux semaines, à l'exception d'avril et de mai 2002, où le propiconazole a été appliqué. Les producteurs biologiques ont utilisé des fongicides à base de cuivre et d'huile végétale, en alternance avec de l'huile minérale seule, à 5 L/ha, de décembre 2001 à mars 2002.

Du personnel formé a inspecté toutes les plantations commerciales toutes les quatre à six semaines, de septembre 2001 à mai 2002 ; toutes les plantes ont été examinées à la recherche des signes de la maladie. Après les deux premières séries d'inspection, tout agriculteur ayant la maladie sur ses terres a été considéré comme ne respectant pas les consignes et des pénalités (aucun transport de fruits) lui ont été imposées, jusqu'à ce que le niveau de « maladie indétectable » soit atteint. Tous les tissus malades détectés ont été échantillonnés et l'agent causal identifié.

Programme de vérification

La réussite du programme d'éradication a été évaluée en contrôlant la réapparition de la maladie de Sigatoka et de la MRN pendant 12 mois, de mai 2002 à mai 2003, dans des plantations soumises à un programme moins intense d'arrosage, sur des bananiers non commerciaux et sur des plants de surveillance (pièges) (Peterson 2003). Les données météorologiques ont été enregistrées et le programme d'éradication des bananiers sauvages audité.

La législation a été modifiée et le niveau de maladie permis dans la RPBT est passé du niveau de « maladie indétectable » à un maximum de 5% de tissu malade sur n'importe quelle feuille. Le programme de vérification (Anon. 2003) consistait en des périodes de surveillance de six fois deux mois. A chaque période, la totalité des plantations étaient inspectée et tous les bananiers non commerciaux présents sur des propriétés résidentielles étaient inspectés deux fois par mois. Des bananiers de surveillance (des lots de 5 à 10 bananiers 'Williams' non traités) ont été mises en place sur 138 sites sur des sections de 1 à 10 km, autour de tous les sites où la MRN avait été détectée. Les bananiers de surveillance ont été plantés à plus de 25 m des bananiers commerciaux afin de ne pas être exposés aux fongicides, et à plus de 10 m de la canne à sucre, afin

de ne pas être exposés aux herbicides. Les plants de surveillance n'ont pas été placés dans des zones de pâturage ou impropres à la culture des bananiers, tels que les marécages, les forêts humides et les parcs publics. Tous les plants de surveillance ont été méticuleusement contrôlés une fois par mois et tous tissus malades ont été échantillonnés.

Les valeurs de température et de précipitation ont été enregistrées dans trois sites à travers la RPBT. Une période caractérisée par au moins trois jours pluvieux consécutifs (> 1 mm de pluie), avec des températures minimales supérieures à 18°C, a été considérée comme étant une période d'infection. Pendant la phase de vérification du programme, le nombre de périodes d'infection et le nombre cumulé de jours pluvieux durant les périodes d'infection, ont été comparés à la moyenne des dix années précédentes.

Au début du programme d'éradication, tous les sites où des bananiers avaient été détruits lors du programme d'éradication des plants sauvages ont été de nouveau contrôlés, afin de s'assurer de la réussite de l'éradication. Le programme d'éradication des plants sauvages a été audité vers la fin du programme de vérification, avec plus de 10% des parcelles à haut risque revisitées, notamment autour des sites où la MRN a été détectée, pour s'assurer qu'aucun bananier n'échappe au programme d'éradication.

Résultats

Sur un total de 2657 feuilles de bananiers échantillonnées pendant l'inventaire de délimitation de la maladie dans la RPBT, 20 échantillons ont révélé la MRN (tableau 1). Dans les régions voisines d'Innisfail ou Kennedy, également productrices de bananes, la maladie n'a pas été détectée. La MRN a été détectée sur cinq échantillons supplémentaires collectés entre août et novembre 2001. Le dernier échantillon positif pour la MRN a été prélevé dans une

Tableau 1. Echantillons de feuilles de bananiers ayant testé positif (+) pour les maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp. entre avril 2001 et avril 2002.

Zone	Nombre d'échantillons	Echantillons + pour la maladie des raies noires	Echantillons + pour la maladie de Sigatoka
Inventaire de délimitation de la maladie (avril à août 2001)			
Tully	2657	20*	2271
Innisfail	1564	0	1310
Kennedy	244	0	228
Autres zones	13	0	12
Programme d'éradication (septembre 2001 à avril 2002)			
Tully	1787	5*	740
Innisfail	2483	0	2124
Kennedy	135	0	104
Autres zones	57	0	36

* Dernier enrégistrement de la MRN sur une plantation en août 2001 et sur des bananiers non commerciaux en novembre 2001.

plantation commerciale le 13 août 2001 et sur un bananier non commercial le 25 novembre 2001. La MRN a été détectée sur 13 propriétés commerciales et sur 12 parcelles de bananiers non commerciaux, suggérant une introduction récente. La MRN n'a pas été détectée dans des échantillons collectés entre avril 2001 et avril 2002 dans d'autres régions productrices de bananes du nord du Queensland.

Programme d'éradication

L'opération d'éradication de l'inoculum a débuté en septembre 2001 et a permis de réduire de façon substantielle les niveaux d'inoculum de toutes les plantations. Au cours de la première période (septembre à octobre 2001), seules 11% des propriétés avaient un niveau de « maladie indétectable », alors qu'à la cinquième période (février à avril 2002), 70% des propriétés atteignaient ce niveau. Sur 26% des propriétés, le niveau était extrêmement faible et tous les tissus malades ont été éliminés. Sur les 4% de propriétés restantes, le niveau de « maladie indétectable » a été atteint moins de sept jours après l'inspection (tableau 2). Les niveaux de « maladie indétectable » et « extrêmement faible », lorsque tous les échantillons malades se sont révélés négatifs à la MRN au laboratoire, prouvent que la MRN n'était pas présente dans ces plantations. Tous les échantillons prélevés dans les 4% des propriétés restantes, étaient également négatifs pour la MRN.

Un faible nombre d'ascospores de *M. musicola* a été observé dans 27% des échantillons de feuilles provenant du sol de 48 plantations, entre septembre et novembre 2001. Une évaluation ultérieure du nombre d'ascospores n'a pas été possible, car le nombre de feuilles intactes trouvées présentant des lésions distinctes, était insuffisant.

Entre août 2001 et février 2002, les bananiers commerciaux ont été arrosés une fois par semaine (27 fois en tout) avec des fongicides systémiques commerciaux en rotation avec un fongicide protecteur. Les types de fongicides systémiques ont également été alternés sur la base de leurs modes d'action et pour des questions de résistances croisées connues. Le programme d'arrosage, et tout particulièrement l'application de trifloxystrobin (Tega 1.2 L avec de l'huile à 4-5 L/ha) pendant la saison chaude et sèche (octobre à décembre 2001), a provoqué d'énormes dégâts aux régimes à découvert.

En tout, 7629 parcelles ont été contrôlées et toutes les plantes non commerciales ont été échantillonnées pour la maladie. Un total de 23 857 plantes mères et 19 980 rejets provenant de plantes indésirables, ont été détruits.

Programme de vérification

Dans toute la région de la RPBT, l'incidence de la maladie de Sigatoka a augmenté tout au long des 12 mois du programme de vérification. La maladie de Sigatoka a été

Tableau 2. Niveaux des maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp. dans les plantations de la région productrice de bananes de Tully, à la fin de chacune des cinq périodes d'inspection réalisée pendant le programme d'éradication.

	Maladie indétectable		Niveau de maladie extrêmement faible*		Maladie présente	
	Proportion des propriétés**	Proportion de la zone	Proportion des propriétés	Proportion de la zone	Proportion des propriétés	Proportion de la zone
1. sept-oct 2001	11%	4%	- -	89%	96%	
2. oct-nov 2001	51%	27%	- -	49%	63%	
3. nov-déc 2001	32%	20%	51%	56%	16%	24%
4. jan-fév 2002	58%	46%	36%	44%	7%	9%
5. fév-avril 2002	70%	66%	26%	30%	4%	4%

* le niveau de la maladie était si faible que tous les tissus malades ont été éliminés pendant l'échantillonnage (15-20 feuilles/ parcelle).

** 157-162 propriétés et 4400-4520 ha

Tableau 3. Niveaux des maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp. au cours de chacune des six périodes d'inspection effectuées pendant le programme de vérification.

	Maladie présente		Nombre d'échantillons**	Proportion d'échantillons	
	Proportion propriétés*	Proportion de la zone*		+ pour la maladie de Sigatoka	+pour la maladie des raies noires
1. May-July 02	42%	63%	174	43%	0
2. Aug-Sept 02	55%	69%	166	55%	0
3. Oct-Nov 02	35%	45%	172	32%	0
4. Dec 02- Jan 03	40%	62%	755	17%	0
5. Feb-Mar 03	45%	63%	783	20%	0
6. April-May 03	53%	72%	786	28%	0

* 157-161 propriétés et 4480-4713 ha

** Dans les périodes 1 à 3, seules les feuilles présentant des marques, ainsi qu'un échantillon non malade provenant de parcelles sans maladie, ou à un niveau indétectable, ont été échantillonnés. Dans les périodes 4 à 6, un échancier d'échantillonnage préétabli, basé sur la taille des propriétés, a été utilisé.

détectée dans 53% des propriétés et sur 72% de la zone en avril et mai 2003 (tableau 3), comparativement à seulement 30% des propriétés (4% avec la maladie et 26% avec des niveaux extrêmement faibles) en mars et avril 2002 (tableau 2). La MRN n'a pas été détectée dans les 2836 échantillons prélevés dans des plantations commerciales, alors que la maladie de Sigatoka a été détectée dans 28% des échantillons et dans 51% des sites avec des plants de surveillance.

Un total de 302 échantillons a été collecté dans des sites où les bananiers indésirables avaient auparavant été détruits. La MRN n'y a pas été détectée et la maladie de Sigatoka a été identifiée sur moins de 10% des échantillons. L'audit du programme d'éradication, pendant lequel 11,4% des parcelles (soit 869) avaient été revisitées, n'a pas révélé de bananiers qui seraient passés inaperçus.

Les données météorologiques dans les trois sites ont montré qu'il y avait eu une à trois périodes d'infection tous les mois entre novembre 2002 et mai 2003, ce qui représente 86% à 106% de la moyenne décennale. Le nombre cumulé de jours pluvieux des périodes d'infection, représente 77 à 87% de la moyenne décennale. Six cycles de maladie auraient eu lieu de mars 2002 (fin du programme intense d'éradication) à juin 2003.

Un modèle statistique, développé pour simuler la multiplication et la propagation de la MRN, a été utilisé pour tester la probabilité que la maladie survive sans être détectée.

Discussion

M. fijiensis est plus vigoureux que *M. musicola*, produisant quatre fois plus d'ascospores dans un même laps de temps (Stover 1980). De ce fait, l'augmentation de la maladie de Sigatoka dans les plantations et les plants de surveillance, et l'absence de MRN pendant la période de vérification, indiquent clairement que la MRN n'est plus présente dans la zone et que le programme d'éradication a réussi. De plus, la MRN n'a pas été détectée dans la RPBT pendant la période de surveillance moins intense de 17 mois à partir de mai 2003. En novembre 2004, 39 mois s'étaient écoulés depuis la dernière observation de la MRN dans une plantation commerciale et 36 mois depuis sa présence sur un bananier non commercial.

Le programme d'éradication a réussi en partie parce que la détection de la maladie a été précoce, lorsque sa distribution était

encore réduite. De plus, la concordance de l'arrivée de la saison sèche et de la biologie du champignon a également contribué au succès du programme. Sur la plante, les ascospores peuvent survivre environ 20 semaines dans le tissu foliaire, alors qu'une fois à terre, ils ne survivent que 6 à 8 semaines dans le tissu foliaire d'après Peterson *et al.* (2000), ou aussi peu que trois semaines d'après Gauhl (1994). Les champignons n'ont pas d'autres hôtes (Calpouzos 1955, Meredith 1970) ni de structures qui leur permettraient de survivre plus longtemps.

Sur la base des résultats du programme de contrôle, le modèle statistique suggère, avec un très haut degré de confiance, que la MRN n'est plus présente dans le district de Tully.

Références

- Anon. 2002. North Queensland Banana Production Statistics 2001. Department of Primary Industries, Bananatopics 32:20.
- Anon. 2003. Agreed protocol to demonstrate, Black Sigatoka Area Freedom for the Tully Banana Production Area. Technical Working Group to the black Sigatoka "Area freedom" Program, 23pp.
- Calpouzos L. 1955. Studies on the Sigatoka disease of banana and its fungus pathogen. Cuba, Atkins Garden and Research Laboratory, 70pp.
- Gauhl F. 1994. Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana (*Musa* spp.) in Costa Rica. PhD thesis. English translation produced by INIBAP, Montpellier, France, 120pp.
- Henderson J., K. Grice, J. Pattemore, R. Peterson & E. Aitken. 2003. Improved PCR-based detection of Sigatoka disease and black leaf streak disease in Australian banana crops. Pp. 59-64 in *Mycosphaerella* leafspot diseases of bananas: present status and outlook. Proceedings 2nd International workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases of banana (L. Jacome, P. Lepoivre, D. Marin, R. Ortiz, R. Romero and J.V. Escalant, eds). San Jose, Costa Rica 20-23 May 2002. INIBAP, Montpellier, France.
- Jones D. & J. Alcorn. 1982. Freckle and black Sigatoka diseases of banana in far north Queensland. Australian Plant Pathology 11:7-9.
- Meredith D. 1970. Banana leaf spot disease (Sigatoka) caused by *Mycosphaerella musicola* Leach. Phytopathological Papers No. 11. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, UK 147pp.
- Peterson R., K. Grice & A. Wunsch. 2000. Ascospore survival in banana leaf trash. Bananatopics 28:5-6.
- Peterson R. 2002. Black Sigatoka eradication – Controlled Management Program, Tully Banana Production Area. Queensland Department Primary Industries, 51pp.
- Peterson R. 2003. Black Sigatoka Area Freedom Program 2002-2003 for the Tully Banana Production Area. Queensland Department of Primary Industries, 41pp.
- Stover R.H. 1980. Sigatoka leaf spots of banana and plantains. Plant Disease 64:750-756.

Ron Peterson et Kathy Grice travaillent au Department of Primary Industries and Fisheries à Mareeba, Australie et **Roger Goebel** travaille au Department of Primary Industries and Fisheries à South Johnstone, Australie.

Evaluation en champ de l'action des strobilurines, des triazoles et de l'acibenzolar pour lutter contre la maladie de Sigatoka en Australie

L. L. Vawdrey and K. Grice

Depuis le début des années 1980, le secteur de la banane dans le nord du Queensland, qui représente 80% de la production australienne, a recours, pour lutter contre la maladie de Sigatoka (causée par *Mycosphaerella musicola*), au mancozèbe, un fongicide à action préventive, ou à des fongicides systémiques à base de triazole comme le propiconazole ou le tébuconazole mélangés à de l'huile minérale, en procédant jusqu'à 20 à 25 applications par an (Kernot 1998). Or, d'autres produits chimiques ont montré leur efficacité dans la lutte contre un certain nombre de maladies foliaires (Hewitt 1998) et certains comme les fongicides à base de triazole, JAU 6475 et époxiconazole, sont considérés comme des produits de substitution possibles.

Les fongicides à la strobilurine sont des analogues de synthèse des métabolites fongitoxiques produits naturellement par le basidiomycète des forêts *Stobilurus tenacellus* (Ypema et Gold 1999). Malheureusement, le mode d'action extrêmement spécifique des strobilurines accroît le risque de développement d'individus résistants (Ypema et Gold 1999). Néanmoins, les stratégies anti-résistance reposant sur les recommandations du *Fungicide Resistance Action Committee* (FRAC) devraient contribuer à prévenir la formation de souches résistantes (Gouot 1998). L'acibenzolar, un activateur végétal, est un analogue fonctionnel de l'acide salicylique qui s'accumule dans les plantes exposées à un agent pathogène (Sticher *et al.* 1997). L'acide salicylique joue un rôle de signalisation important pour l'activation des réactions de défense de la plante soumise à l'attaque d'un pathogène (Sticher *et al.* 1997).

En 1998, 1999 et 2001, nous avons réalisé des expériences en champ pour

évaluer l'action de fongicides à base de strobilurines (trifloxystrobine, azoxystrobine et pyraclostrobine), de fongicides à base de triazole (JAU 6475 et époxiconazole) et de l'acibenzolar, un activateur végétal, pour lutter contre la maladie de Sigatoka

Matériels et méthodes

Trois expériences en champ ont été effectuées au *Centre for Wet Tropics Agriculture*, à South Johnstone, en Australie. Le dispositif choisi était des blocs de Fisher avec trois répétitions. Chaque parcelle comprenait un seul rang de dix plants du cultivar 'Williams' (AAA) irrigué par des mini-diffuseurs. Les traitements étaient séparés par un seul rang de plants non arrosés afin d'assurer le développement uniforme de la maladie pendant l'expérience et empêcher les débordements lors des applications. Le matériel végétal (un par trou) comprenait des plantules issues de culture de tissus (pour l'évaluation de 1998) et des rejets de taille et d'âge identiques, choisis parmi les rejets de la récolte précédente (pour les évaluations de 1999 et 2001). Les produits décrits dans le tableau 1 ont été appliqués quand les plants avaient quatre à cinq feuilles complètement développées. Sur aucune parcelle expérimentale, il n'y avait, à ce stade, de symptôme visible de la maladie de Sigatoka. Les traitements ont été appliqués avec un pulvérisateur dorsal (Efco®), toutes les deux semaines pendant la saison chaude et humide (de février à mai) et toutes les trois semaines pendant la saison sèche et tempérée qui va de juin jusqu'à la récolte en octobre ou novembre. Le volume pulvérisé a été calculé de manière à ce que dix plants soient aspergés dans le rang de garde et a varié de 107 à 353 L/ha au fur et à mesure de la croissance des plants.

Tableau 1. Nom et formulation des fongicides utilisés pour lutter contre la maladie de Sigatoka, lors des évaluations en champ de 1998, 1999 et 2001.

Nom commun	Nom du produit	Formulation (g/L)	Fournisseur
Trifloxystrobine	Flint/Tega 75 EC	75	Novartis/Bayer Crop Sciences
Azoxystrobine	Amistar WG	500	Crop Care Australasia
Pyraclostrobine	Cabrio EC	250	BASF
Acibenzolar	Bion WG	500	Novartis
Propiconazole	Tilt EC	250	Novartis
Epoxiconazole	Opus 75 EC	75	BASF
	JAU 6476 EC	250	Bayer Crop Sciences
Mancozèbe	Dithane OC	125	Rohm and Haas
Mancozèbe	Dithane DF	750	Dow Agrosciences
Mancozèbe	Dithane M45	800	Rohm and Haas

Evaluation de la maladie

Le développement de la maladie et l'efficacité de chaque traitement ont été évalués à la floraison, sur cinq plants de même maturité sur chaque parcelle, en observant la plus jeune feuille nécrosée (PJFN) (Stover and Dickson 1970). La PJFN est la première feuille entièrement déployée qui présente au moins dix lésions nécrotiques distinctes. Dans les deux semaines suivant la récolte, le nombre total de feuilles par plant et l'indice de sévérité de la maladie ont été évalués sur cinq plants de bananier de même maturité par parcelle en appliquant la modification de Gauhl du système Stover d'évaluation de la sévérité de la maladie (Gauhl *et al.* 1993). La proportion de la surface de la feuille présentant des symptômes a été rapportée à une échelle de 0 à 6, se décomposant de la manière suivante :

0 = aucun symptôme de la maladie

1 = <1% présence de symptômes

2 = 1-5%

3 = 6-15%

4 = 16-33%

5 = 34-50%

6 = >50%

Un indice de sévérité de la maladie a été calculé comme suit :

$$\sum nb / [(N-1) \times T]$$

où n = nombre de feuilles pour chaque degré de l'échelle, b = degré de l'échelle, N = nombre de degré de l'échelle utilisés (7), et T = nombre total de feuilles évaluées sur chaque plant.

L'indice tient compte de l'âge des feuilles nécrosées sur le plant, qui est important pour évaluer l'intensité globale de la maladie (Stover et Dickson 1970). Le nombre total de feuilles par plant a également été calculé.

Evaluation en champ de 1998

Cette expérience a été réalisée sur des plantules issues de culture de tissus, plantées le 11 décembre 1997. La vaporisation de trifloxystrobine à 90 et 112,5 g d'agent actif par ha, d'azoxystrobine à 100 g d'agent actif par ha et d'acibenzolar à 40 g d'agent actif par ha, qui a été associé à du Dithane OC® à 1000 g d'agent actif par ha tous les 28 jours, a commencé le 15 avril 1998 et neuf applications au total ont été faites pendant l'expérience (voir le tableau 2 pour plus de détails sur les traitements). Les fongicides ont été mélangés à de l'huile de paraffine (*BP Miscible Banana Misting Oil*®) à un dosage de 5 L/ha, sauf dans le cas du mancozèbe (Dithane OC®) qui contenait 412 g/L d'huile de pétrole. Les traitements ont été comparés aux produits industriels propiconazole et Dithane OC®.

Evaluation en champ de 1999

Cette expérience a été réalisée sur le second cycle de culture. La vaporisation de trifloxystrobine à 75 et 112,5 g d'agent actif par ha et d'acibenzolar à 40 g d'agent actif par ha, qui a été associé à du Dithane OC® à 1000 g d'agent actif/ha tous les 14 jours, a commencé le 2 mars 1999. Au total, 12 applications ont été faites (voir le tableau 3 pour plus de détails sur les traitements). Les fongicides ont été mélangés à de l'huile de paraffine (*BP Miscible Banana Misting Oil*®) à un dosage de 5 L/ha, sauf dans le cas du mancozèbe (Dithane OC®) qui contenait 412 g/L d'huile de pétrole. Les traitements ont été comparés aux produits industriels propiconazole et mancozèbe sous forme de Dithane OC® et Dithane DF®.

Evaluation en champ de 2001

Cette expérience a été réalisée sur le quatrième cycle de culture. La vaporisation de trifloxystrobine à 75 g d'agent actif par ha (seul ou en association avec du mancozèbe), de pyraclostrobine à 100 g d'agent actif par ha (seul ou en association avec du mancozèbe), d'azoxystrobine à 100 g d'agent actif par ha (seul ou en association avec de l'acibenzolar), de JAU 6475 à 50 g d'agent actif par ha, d'époxiconazole à 75 g d'agent actif par ha et d'acibenzolar à 20 g d'agent actif par ha a commencé le 4 mars 2001, et 10 applications au total ont été faites (voir le tableau 4 pour plus de détails sur les traitements). Tous ces produits ont été mélangés à l'huile de paraffine *BP Miscible Banana Misting Oil*® pour un dosage de 5 L/ha. Et les traitements ont été comparés aux produits industriels propiconazole et mancozèbe sous forme de Dithane M45®.

Analyse des données

Une analyse de la variance (ANOVA) a servi à analyser la plus jeune feuille nécrosée, le nombre total de feuilles et l'indice de sévérité de la maladie. Le test de comparaison entre les moyennes a été effectué avec la procédure de la plus petite différence significative à P=0,05.

Résultats

Evaluation en champ de 1998

La mesure de la plus jeune feuille nécrosée, faite à la floraison après huit opérations de pulvérisation, montre que l'application de trifloxystrobine, puis d'azoxystrobine, a été nettement plus efficace que tous les autres traitements (tableau 2). Les parcelles traitées à la trifloxystrobine ont été bien moins touchées par la maladie de Sigatoka que celles traitées à l'azoxystrobine. L'indice de sévérité de la maladie enregistré deux semaines avant la récolte a confirmé la plupart des résultats obtenus en mesurant la plus jeune feuille

Tableau 2. Evaluation en champ de 1998 des produits chimiques utilisés pour lutter contre la maladie Sigatoka, après la mesure de la plus jeune feuille nécrosée à la floraison et le calcul du nombre total de feuilles par plant et de l'indice de sévérité de la maladie deux semaines avant la récolte (n=15).

Traitement	Dosage (g agent actif/ha)	Plus jeune feuille nécrosée	Nombre de feuilles par plant	Indice de sévérité
Trifloxystrobine (Flint)*	90	12,1 a	12,3 a	1,6 a
Trifloxystrobine (Flint)*	112,5	12,3 a	12,4 a	0,9 a
Azoxystrobine (Amistar)*	100	9,3 b	12,2 ac	14,0 b
Programme [‡] acibenzolar (Bion)/ mancozèbe (Dithane OC) [†]	40/1000	6,9 c	9,4 b	20,0 bc
Propiconazole (Tilt)*	100	5,5 c	12,4 a	21,3 c
Mancozèbe (Dithane OC) [†]	1000	5,7 c	12,7 a	32,3 d
Plus petite différence significative		1,5	1,0	6,2

*Fongicide mélangé à du BP Banana Misting Oil pour un dosage de 5 L/ha.

[†]Contient 412 g/L d'huile de pétrole

[‡]Dithane OC tous les 14 jours et en association avec de l'acibenzolar tous les 28 jours.

Les moyennes de la même colonne qui sont suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative à P>0,05.

nécrosée (tableau 2). Cet indice montre que l'application de trifloxystrobine puis d'azoxystrobine a été nettement plus efficace que tous les autres traitements, à l'exception du programme de vaporisation acibenzolar/mancozèbe. L'acibenzolar appliqué avec du mancozèbe (Dithane OC[®]) a nettement amélioré la lutte contre la maladie de Sigatoka par rapport à l'utilisation du seul Dithane OC[®]. Toutefois, une phytotoxicité a été observée sur les feuilles (décoloration orange) dans les parcelles traitées à l'acibenzolar/mancozèbe et le nombre de feuilles a fortement baissé par rapport à ce qui a été constaté pour tous les autres traitements.

Evaluation en champ de 1999

La mesure de la plus jeune feuille nécrosée, faite après 11 opérations de pulvérisation, montre que la trifloxystrobine à 75 et 112,5 g d'agent actif par ha a permis de lutter plus efficacement contre les lésions des feuilles que tous les autres traitements (tableau 3). L'indice de sévérité de la maladie montre également que la trifloxystrobine a donné de meilleurs résultats pour lutter contre la maladie de Sigatoka que les produits industriels classiques comme le propiconazole et le mancozèbe (Dithane DF[®] et OC[®]) (tableau 3). Ajouter du mancozèbe (Dithane OC[®]) à

l'acibenzolar tous les 28 et 42 jours a permis de réduire la sévérité de la maladie par rapport au cas de figure où seul du Dithane OC[®] est appliqué. Les deux traitements à l'acibenzolar n'ont pas donné de résultats très différents pour la lutte contre la maladie de Sigatoka. Sur les parcelles traitées à l'acibenzolar/mancozèbe, le nombre de feuilles a baissé par rapport à ce qui a été constaté pour tous les autres traitements.

Evaluation en champ de 2001

La mesure de la plus jeune feuille nécrosée, faite après 12 opérations de pulvérisation, montre que la trifloxystrobine (appliquée seule et avec du mancozèbe) et la pyraclostrobine ont donné de meilleurs résultats que le propiconazole et le mancozèbe (Dithane M45[®]) (tableau 4). Le JAU 6476 a été plus efficace pour lutter contre la maladie de Sigatoka que le Dithane M45[®]. L'indice de sévérité de la maladie a confirmé la plupart des résultats de l'évaluation de la plus jeune feuille nécrosée (tableau 4). Il a également montré que tous les traitements, excepté celui à l'acibenzolar, avait plus fortement réduit la maladie que l'application du seul Dithane M45[®]. Il y avait moins de feuilles dans les parcelles traitées au JAU 6475, à l'acibenzolar seulement et à l'acibenzolar associé à l'azoxystrobine que dans celles traitées au propiconazole.

Tableau 3. Evaluation en champ de 1999 des produits chimiques utilisés pour lutter contre la maladie de Sigatoka, après la mesure de la plus jeune feuille nécrosée à la floraison et le calcul du nombre total de feuilles par plant et de l'indice de sévérité de la maladie deux semaines avant la récolte (n=15).

Traitement	Dosage (g agent actif/ha)	Plus jeune feuille nécrosée	Nombre de feuilles par plant	Indice de sévérité
Trifloxystrobine (Flint)*	75	14,0 a	12,0 a	0,7 a
Trifloxystrobine (Flint)*	112,5	13,7 a	12,1 a	0,2 a
Programme [‡] acibenzolar (Bion)/ mancozèbe (Dithane OC) [†]	40/1000	11,9 b	10,0 b	5,3 ab
Programme [§] acibenzolar (Bion)/ mancozèbe (Dithane OC) [†]	40/1000	11,0 b	9,9 b	9,1 bc
Propiconazole (Tilt)*	100	10,5 b	12,1 a	12,2 bcd
Mancozèbe (Dithane DF) [†]	750	11,1 b	12,1 a	14,4 cd
Mancozèbe (Dithane OC) [†]	1000	11,2 b	12,1 a	19,9 d
Plus petite différence significative		1,8	1,0	8,2

*Fongicide mélangé à du BP Banana Misting Oil pour un dosage de 5 L/ha.

[†]Contient 412 g/L d'huile de pétrole

[‡]Dithane OC tous les 14 jours et en association avec de l'acibenzolar tous les 28 jours.

[§]Dithane OC tous les 14 jours et en association avec de l'acibenzolar tous les 42 jours.

Les moyennes de la même colonne qui sont suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative à P>0,05.

Tableau 4. Evaluation en champ de 2001 des produits chimiques utilisés pour lutter contre la maladie de Sigatoka, après la mesure de la plus jeune feuille nécrosée à la floraison et le calcul du nombre total de feuilles par plant et de l'indice de sévérité de la maladie deux semaines avant la récolte (n=15).

Traitement	Dosage (g agent actif/ha)	Plus jeune feuille nécrosée	Nombre de feuilles par plant	Indice de sévérité
Trifloxystrobine (Tega)*	75	13,5 a	10,9 cd	1,4 a
Programme [†] trifloxystrobine	75	12,0 ab	11,5 abc	8,7 bc
Pyraclostroline (Cabrio)*	100	12,3 ab	12,4 a	6,0 ab
Programme [†] pyraclostroline	100	9,8 bcd	11,9 ab	10,5 bc
Azoxystrobin (Amistar)*	100	12,2 ab	12,2 a	4,9 ab
programme [‡] azoxystrobin/acibenzolar	100/20	11,0 abc	10,3 d	6,1 ab
JAU 6475*	50	11,1 abc	11,1 bcd	5,0 ab
Acibenzolar*	20	5,3 e	11,1 bcd	39,9 e
Epoxiconazole (Opus 75)*	75	9,7 bcd	11,8 ab	12,8 c
Propiconazole*	100	8,7 cd	12,1 a	7,3 abc
Mancozèbe (Dithane M45)*	1760	7,5 de	11,2 bcd	21,0 d
Plus petite différence significative	2,6	0,9	6,3	

*Tous les fongicides, excepté l'acibenzolar qui a été mélangé à de l'eau, ont été mélangés à de l'huile de paraffine pour un dosage de 5 L/ha.

[†]2 vaporisations de trifloxystrobine suivies de 2 vaporisations de mancozèbe pour un maximum de 6 vaporisations de trifloxystrobine.

[‡]2 vaporisations de pyraclostroline suivies de 2 vaporisations de mancozèbe pour un maximum de 8 vaporisations de pyraclostroline.

[§]Azoxystrobin à des intervalles de 14-21 jours plus acibenzolar à des intervalles de 42 jours.

Les moyennes de la même colonne qui sont suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative à P>0,05.

Discussion

Les degrés de sévérité de la maladie ont été relativement uniformes dans les trois expériences, les lésions sur les feuilles dans les rangs de garde allant de modéré à sévère. Les fongicides à la strobilurine (trifloxystrobine, pyraclostroline et azoxystrobine) se sont révélés plus efficaces pour lutter contre la maladie de Sigatoka que les produits industriels classiques comme le propiconazole et le mancozèbe. La trifloxystrobine et la pyraclostroline, en particulier, ont produit des effets jamais observés jusqu'ici sur des bananiers, lors d'évaluations en champ en Australie. Des résultats similaires ont été mis en évidence dans la lutte contre la maladie des raies noires (causée par *Mycosphaerella fijiensis*) dans des expériences en champ menées en Amérique centrale (Perez *et al.* 2002). Nos résultats indiquent par ailleurs que l'efficacité des strobilurines n'est pas menacée quand elles sont vaporisées avec du mancozèbe, comme phytoprotecteur et produit industriel classique. Ces programmes de pulvérisation font partie intégrante des stratégies visant à prolonger la durée de vie utile des fongicides modernes (Gouot 1998).

Cette étude a mis en évidence un aspect intéressant, à savoir que la lutte contre la maladie de Sigatoka était plus efficace quand l'activateur végétal, l'acibenzolar, était utilisé conjointement avec du mancozèbe. Nos observations montrent également que l'acibenzolar associé au mancozèbe peut être phytotoxique pour les feuilles et réduire fortement le nombre de feuilles. Des chercheurs au Costa Rica ont obtenu des résultats similaires pour la lutte contre la maladie des raies noires quand l'acibenzolar était appliqué avec une huile vaporisée sur les bananiers (Madrigal 1998). Comme nous, ils

ont observé une phytotoxicité sur les plus vieilles feuilles des plants de bananiers et ont conclu que l'acibenzolar associé à une huile vaporisée, à un dosage supérieur à 5 L/ha, pouvait altérer les feuilles. Dans notre étude toutefois, nous avons appliqué l'huile à un dosage de 3,6 L/ha, ce qui donne à penser que la phytotoxicité avait une autre cause.

Les fongicides à base de triazole, le JAU 6475 et l'époxiconazole, ont donné des résultats similaires à ceux du propiconazole, produit industriel classique. En 2004, l'époxiconazole (Opus 75[®]), la trifloxystrobine (Flint[®]) et la pyraclostroline (Cabrio[®]) ont été déposés comme produits de traitement pour la lutte contre la maladie de Sigatoka chez le bananier.

Remerciements

Nous exprimons toute notre reconnaissance à *Queensland Fruit and Vegetable Growers* et à *Horticulture Australia Limited* pour leur aide financière. Nous remercions également Bayer Crop Sciences, Novartis, Cropcare Australasia, BASF, Dow Agrosciences, DuPont, Rohm and Haas, Elf Atochem et AgrEvo pour nous avoir apporté un soutien financier et nous avoir fourni les produits testés.

Références

- Gouot J.M. 1998. FRAC recommendations. *Phytoma* 510:7-9.
- Hewitt H.G. 1998. Fungicides in crop protection. CAB International, Wallingford, UK. 232pp.
- Kernot I.R. 1998. Tropical Banana Information Kit, Agrilink series; your growing guide to better farming. Queensland Horticulture Institute, Department of Primary Industries, Queensland.
- Madrigal A. 1998. CGA 245704, a new plant activator to improve natural resistance of banana against black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*). Pp. 266-274 in *Memorias XIII Reunión ACORBAT* Guayaquil, Ecuador, 23-27 November 1998. Corporación Nacional de Bananeros.

Lynton L. Vawdrey travaille au Centre for Wet Tropics Agriculture, Department of Primary Industries and Fisheries, South Johnstone, Qld 4859, Australie et **Kathy Grice** au Centre for Tropical Agriculture, Department of Primary Industries and Fisheries, Mareeba, Qld 4880, Australie. Pour tout courrier, s'adresser à : lynton.vawdrey@dpi.qld.gov.au

- Perez L., A. Hernandez, L. Hernandez & M. Perez. 2002. Effect of trifloxystrobin and azoxystrobin on the control of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on banana and plantain. *Crop Protection* 21:17-23.
- Sticher L., B. Mauch-Mani & J.P. Mettraux. 1997. Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology* 35:235-270.
- Stover R.H. 1971. A proposed international scale for estimating intensity of banana leaf spot (*Mycosphaerella musicola* Leach). *Tropical Agriculture (Trinidad)* 48: 185-196.
- Stover R.H. & J.D. Dickson 1970. Leaf spot of banana caused by *Mycosphaerella musicola*: methods of measuring spotting prevalence and severity. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 47:289-302.
- Ypema H.L. & R.E. Gold 1999. Kresoxim-methyl, modification of a naturally occurring compound to produce a new fungicide. *Plant Disease* 83:4-19.

Traitement des maladies causées par les *Mycosphaerella* spp. par application d'acides fulviques

Lutte contre les maladies

J.H. Escobar Velez et J. Castaño Zapata

La maladie des raies noires (causée par *Mycosphaerella fijiensis*) et la maladie de Sigatoka (causée par *Mycosphaerella musicola*) font partie des maladies qui affectent de manière significative la culture de la banane plantain car elles augmentent les coûts de production, tout en réduisant les zones productives et les revenus des producteurs. Pour remédier efficacement à ces maladies, on utilise des produits chimiques qui augmentent en général les coûts de production, l'incidence sur la santé des ouvriers, le risque que les plants acquièrent une certaine résistance aux fongicides, sans oublier la contamination du fruit et de l'environnement.

Les composés naturels obtenus à partir de microorganismes présentent des avantages certains sur les produits vendus dans le commerce car ils sont moins nocifs pour l'écosystème et parce que la microflore environnementale elle-même les biodégrade *in situ* pour les transformer en composés non toxiques (Sánchez Rodríguez *et al.* 2002). La recherche de nouveaux produits d'origine naturelle ne polluant pas l'environnement représente un élément important de l'agriculture durable (Sánchez Rodríguez *et al.* 2002).

Les acides fulviques extraits du rachis du bananier plantain contiennent une forte concentration de potassium qui tend à induire une résistance à certaines maladies (Álvarez *et al.* 2002). Les études réalisées par Stindt et Weltzein (1990), Weltzein (1992) et Yohalem *et al.* (1994) et celles citées par Alvarez *et al.* (2002) rapportent que les lixiviats ont été utilisés pendant de nombreuses années dans les aspersions de feuilles pour le contrôle des maladies fongiques des plantes. En outre, dans les études publiées par Álvarez *et al.* (2002), les auteurs affirment que les applications à 5% d'acides fulviques provenant du lixiviat de

bananier plantain réduisent la sévérité du mildiou poudreux chez la rose.

Dans cette expérience, l'utilisation d'acides fulviques extraits du rachis du bananier plantain se présente comme une option efficace qui facilite le traitement des maladies foliaires causées par les *Mycosphaerella* spp. pour un faible coût et sans contaminer ni le fruit ni l'environnement.

Matériels et méthodes

L'étude a été effectuée entre juin 2002 et juillet 2003 à la ferme Montelindo de l'Université de Caldas, située dans la région Santágueda, commune de Palestina (Caldas), à 5° 05' de latitude nord et 75° 40' de longitude ouest, à une altitude de 1050 mètres au-dessus du niveau de la mer, avec une température moyenne de 22,5°C, une humidité relative de 76%, des précipitations annuelles de 2100 mm et un ensoleillement annuel de 2010 heures.

Un dispositif en blocs de Fisher avec cinq traitements, quatre répétitions et neuf plants par répétition, a été utilisé. La plantation a été effectuée le 8 mai 2002 avec des rhizomes d'environ 500 g, en laissant un espace de 2 m entre les plants et 3 m entre les sillons, sur une superficie de 2160 m², pour un total de 180 plants. C'est la variété de banane plantain 'Dominico hartón' qui a été plantée car elle est fortement sensible à la maladie des raies noires et la maladie de Sigatoka. Afin de s'assurer un environnement propice à la maladie, les parcelles expérimentales furent plantées autour d'un champ de bananiers plantain qui n'avait reçu aucun traitement contre les champignons. La gestion agronomique s'est effectuée suivant les recommandations établies pour la culture de la banane plantain dans la région, incluant fertilisation, oeilletectionnage, élimination des bractées et des feuilles séchées et désherbage.

La durée de l'expérience, de la plantation au moment de la récolte, fut de 14 mois.

Les traitements évalués furent les suivants : 1) acides fulviques 0,5% ; 2) acides fulviques 100% ; 3) 1,75 L/ha de mancozèbe ; 4) 0,4 L/ha de propiconazole et 5) sans application (témoin). La solution d'acides fulviques 100% fut appliquée au feuillage sans dilution, tandis que pour obtenir une solution 0,5% on a ajouté de l'eau.

Les acides fulviques sont lixiviés par biodégradation du rachis de banane plantain 'Dominico hartón' ; ils ont une conductivité électrique de 24,75 mmho/cm, un pH de 3,95 et sont composés de 260 ppm de phosphore, de 155 ppm de potassium, de 49,74 ppm de calcium, de 32,36 ppm de magnésium, de 9,94 ppm de N-NH₄, de 6,49 ppm de sodium, de 0,33 ppm de fer et de 0,28 ppm de manganèse. Le biodégradeur de rachis de banane plantain pour l'obtention d'acides fulviques a été construit dans la ferme Montelindo.

Le mancozèbe est un fongicide protecteur, issu de la coordination du zinc et de l'éthylène bisdithiocarbamate de manganèse, qui inhibe la respiration des champignons. Le propiconazole est un fongicide à action systémique qui exerce son action par l'intermédiaire d'un blocage de la biosynthèse de l'ergostérol et l'inhibition de la déméthylation des stéroïdes.

Les acides fulviques et le mancozèbe ont été appliqués tous les 7 jours et le propiconazole tous les 14 jours. Tous les produits ont été appliqués au feuillage. Selon des études réalisés par Alvarez *et al.* (2002), les lixiviats du rachis du bananier plantain à une concentration de 5% réduisent le mildiou poudreux chez la rose, tandis qu'une concentration à 50% entraîne la phytotoxicité du feuillage. Conformément à ces résultats et en prenant en compte la zone foliaire plus grande et la plus épaisse du bananier plantain, on a appliqué des traitements à base d'acides fulviques à 0,5% et à 100%.

Des évaluations hebdomadaires de tous les traitements ont été pratiquées sur tous les plants de chaque répétition, à partir du premier mois qui a suivi la plantation, jusqu'à la récolte. L'indice de sévérité (IS) de la maladie, déterminé à l'aide de la méthode de Stover modifiée par Gauhl *et al.* (1995), a été calculé selon la formule suivante :

$$SI = \frac{\sum nb}{(N - 1)T} \times 100$$

où n = nombre de feuilles pour chaque degré de l'échelle, b = degré de l'échelle (0 = aucun symptôme ; 1 = moins de 1% du limbe présentant des symptômes ; 2 = 1 à 5% du limbe avec symptômes ; 3 = 6 à 15% du limbe avec symptômes ; 4 = 16 à 33% du limbe avec symptômes ; 5 = 34 à 50% du limbe avec

symptômes ; et 6 = 51 à 100% du limbe avec symptômes), N = nombre de degrés utilisés dans l'échelle (7) et T = nombre total de feuilles évaluées.

On définit également le taux de développement (r) de la maladie en appliquant l'équation suivante :

$$r = \frac{1}{t_1 - t_0} \left(\text{Log}_e \frac{X_1}{1 - X_1} - \text{Log}_e \frac{X_0}{1 - X_0} \right)$$

où t_1 = temps final, t_0 = temps initial, X_1 = indice de sévérité final et X_0 = indice de sévérité initial (Castaño Zapata 2002).

Au moment de la floraison et de la récolte les variables suivantes ont été évaluées : (1) la plus jeune feuille malade, c'est-à-dire, la feuille la plus jeune qui présente des stries clairement visibles depuis le sol (Orjeda 1998) ; (2) la plus jeune feuille nécrosée, qui correspond à la première feuille totalement ouverte, en comptant les feuilles de haut en bas, qui présente 10 (ou davantage) lésions discrètes nécrosées et mûres ou une grande zone nécrosée de couleur claire (Stover et Dickson 1970) ; et (3) le nombre de feuilles fonctionnelles.

Au moment de la récolte, le poids du régime a été enregistré ; poids de la seconde main ; poids du doigt central de la seconde main ; longueur du doigt central de la seconde main ; et diamètre du doigt central de la seconde main.

Il convient de signaler que la présente recherche a été menée en un seul cycle de culture.

Résultats et discussion

L'analyse de variance de l'indice de sévérité des maladies a révélé des différences statistiques hautement significatives entre les traitements et l'interaction traitement*évaluation hebdomadaire. L'indice de sévérité moyen le plus bas durant l'étude a correspondu au traitement à base d'acides fulviques à 0,5%, avec une valeur de 42%, tandis que la sévérité la plus élevée était présentée par le témoin, avec 59%. On n'a enregistré aucune différence significative concernant le mancozèbe et le propiconazole (tableau 1).

Le traitement à base d'acides fulviques à 0,5% a révélé les valeurs les plus élevées de la plus jeune feuille malade et de la plus jeune feuille nécrosée lors de la floraison et de la récolte, ce qui est probablement dû aux fortes teneurs en potassium de la solution. Le potassium rend les parois cellulaires des feuilles plus résistantes et, en conséquence, la germination des conidies et des ascospores plus difficile.

Les auteurs ont observé des différences statistiques hautement significatives pour la variable du nombre de feuilles fonctionnelles au moment de la floraison et de la récolte

(tableau 1). Les études réalisées par Molina Tirado et Castaño Zapata (2003) dans la même zone indiquent que 'Dominico hartón' est parvenu jusqu'à la récolte sans feuille fonctionnelle. Dans cette étude, le témoin est parvenu jusqu'à la récolte avec une feuille fonctionnelle. Dans ce sens, les traitements évalués dans notre étude ont démontré un meilleur contrôle de la maladie.

Le taux de développement de la maladie n'a révélé aucune différence statistique significative entre les traitements évalués, mais il fut considérablement plus lent dans les traitements, comparé au témoin (tableau 1).

Comme on peut le constater dans le tableau 2, le poids, le diamètre et la longueur du doigt central de la seconde main n'ont présenté aucune différence statistique significative entre traitements. En ce qui concerne le poids du doigt central, on a observé que le traitement à base d'acides fulviques à 0,5% a dépassé de 50 g le témoin, en raison principalement de son effet de contrôle. Ce traitement a également montré une zone photosynthétique plus étendue et, par conséquent, une plus grande accumulation d'hydrates de carbone dans le régime avec pour conséquence un poids de régime supérieur de 4,9 kg à celui du témoin, en raison principalement des fortes teneurs en substances nutritives présentes dans les acides fulviques, principalement en potassium.

Ces résultats indiquent que les acides fulviques à 0,5% constituent une option viable

et non contaminante pour l'environnement dans le traitement des maladies du bananier plantain causées par les *Mycosphaerella* spp.

Références

- Alvarez E., C. Grajales, J. Villegas & J. Loke. 2002. CIAT Informe Anual. Control del mildio polvoso (*Sphaerotheca panosa* var. *rosae*) en rosa, usando un lixiviado de compost del raquis de plátano (*Musa* AAB). http://www.ciat.cgiar.org/ipm/pdfs/cassava%20_pathology.pdf
- Castaño Zapata J. 2002. Principios básicos de fitoepidemiología. Centro editorial, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 398pp.
- Gauhl F., C. Pasberg-Gauhl, D. Vuylsteke & R. Ortiz. 1995. Multilocal evaluation of black Sigatoka resistance in banana and plantain. IITA Research Guide 47. 2nd edition. Training Program, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria. 59pp.
- Molina Tirado O.I & J. Castaño Zapata. 2003. Résistance des hybrides FHIA aux *Mycosphaerella* spp. INFOMUSA 12(2): 25-27.
- Orjeda G. 1998. Evaluation de la résistance des bananiers aux cercosporioses et à la fusariose. Guide technique INIBAP 3. Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie ; Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain, Montpellier, France. 63pp.
- Sanchez Rodriguez R., J.A. Pino Algorta, C. Vallin Plous, M.E. Pérez Rodruéz, Y. Iznaga Sosa & F. Malpartida Romero. 2002. Action du fongicide naturel F20 contre la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) chez le bananier plantain (AAB) et le bananier (AAA). INFOMUSA 11(1):14-16.
- Stover R.H. & J.D. Dickson. 1970. Leaf spot of bananas caused by *Mycosphaerella musicola*: methods of measuring spotting prevalence and severity. Tropical Agriculture (Trinidad) 47:289-302.

Tableau 1. Effet des acides fulviques et de deux fongicides sur le développement de la maladie des raies noires sur le bananier plantain 'Dominico hartón' (n=36).

IS	Plus jeune feuille malade		Plus jeune feuille nécrosée		Nombre de feuilles fonctionnelles		Taux de développement
	Floraison	Récolte	Floraison	Récolte	Floraison	Récolte	
Acides fulviques (0,5%)	42 b	7 a	5 a	9 a	6 a	11 a	0,07 b
Acides fulviques (100%)	46 c	6 b	3 b	7 b	4 b	9 a	0,09 b
Mancozèbe (1,75 L/ha)	47 b	6 b	2 b	7 b	3 b	10 a	0,09 b
Propiconazole (0,4 L/ha)	48 b	6 b	2 b	8 a	3 b	11 a	0,08 b
Témoin	59 a	4 c	1 c	5 c	1 c	6 b	0,12 a

IS = indice de sévérité.

Les moyennes suivies de lettres différentes indiquent des différences statistiques significatives à 5% de probabilité selon le rang des comparaisons multiples de Tukey.

Tableau 2. Effet des différents traitements sur le rendement et la qualité du régime du bananier plantain 'Dominico hartón' (n=36).

	Poids du régime (kg)	Nombre de mains par régime	Nombre de doigts par main (cm)	Poids du doigt central de la seconde main (g)	Diamètre du doigt central de la seconde main (cm)	Longueur du doigt central de la seconde main (cm)
Acides fulviques (0,5%)	14,7 a	9 a	9 a	350,0 a	4,5 a	24,7 a
Acides fulviques (100%)	13,8 a	6 c	9 a	338,7 a	4,2 a	24,0 a
Mancozèbe (1,75 L/ha)	13,7 a	7 b	9 a	325,0 a	4,1 a	24,1 a
Propiconazole (0,4 L/ha)	14,2 a	8 a	8 b	330,0 a	4,1 a	24,3 a
Témoin	9,8 b	7 b	8 b	300,0 b	3,7 c	22,1 b

Les moyennes suivies de lettres différentes indiquent des différences statistiques significatives à 5% de probabilité selon le rang des comparaisons multiples de Tukey.

Julio Hernando Escobar Vélez et Jairo Castaño Zapata travaillent la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Université de Caldas, en Colombie. Courriels : julianescobar@epm.net.co et fitotecnia@ucaldas.edu.co

La diversité génétique des isolats colombiens de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet analysée avec des microsatellites

I. Perea, E. Rodríguez Arango, E. Márquez et R. Arango

La maladie des raies noires, causée par le champignon *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (Stover 1980), a été identifiée pour la première fois sur la côte sud-est de Viti Levu à Fiji en 1963 (Rhodes 1964). La maladie a par la suite été observée dans les îles du Pacifique, en Asie, en Afrique et enfin en Amérique latine en 1972 à La Lima, au Honduras (Stover et Dickson 1976). Le champignon est haploïde pendant la plus grande partie de son cycle de vie et se reproduit par voie asexuée et sexuée, via les conidies et les ascospores respectivement.

Plusieurs études ont décrit la variabilité génétique globale de *M. fijiensis* (Carlier *et al.* 1994, 1996) essentiellement à partir de l'analyse d'isolats de champignons venant de différents continents, à l'aide de marqueurs RFLP et PCR-RFLP (Rivas *et al.* 2004). Faire des études au niveau local pourrait contribuer à améliorer la gestion de la lutte contre la maladie ainsi que les programmes d'amélioration travaillant sur la résistance à la maladie des raies noires.

En Colombie, la maladie des raies noires a été observée pour la première fois en 1981 (Mourichon et Fullerton 1990) dans la région de production bananière de l'Urabá d'où elle s'est probablement étendue au reste du pays. En Colombie, les grandes zones de production bananière sont situées dans les régions d'Urabá et du Magdalena où cette culture est pratiquée à forte densité dans de grandes plantations et traitée avec des fongicides chimiques (figure 1). Les zones de production de bananes plantain se trouvent principalement dans les régions du Tolima et de l'Arauca où elles sont cultivées essentiellement dans des exploitations de petite et moyenne taille, en association avec du café, du cacao ou d'autres plantes, et sont peu ou pas du tout traitées avec des produits chimiques.

Dans la présente étude, des marqueurs microsatellites ont été utilisés pour faire une enquête préliminaire de la variabilité génétique de 40 isolats de *M. fijiensis* venant des grandes régions productrices de bananes et de bananes plantain en Colombie.

Matériel et méthodes

Des feuilles de bananiers et de bananiers plantain infectées par *M. fijiensis* ont été

prélevées dans quatre endroits en Colombie. Sur les 40 isolats collectés, 11 venaient d'Urabá, 10 du Tolima, 9 d'Arauca, et 10 du Magdalena. Les cultivars sélectionnés ont été 'Grand naine' (AAA) à Magdalena et Urabá, et 'Dominico hartón' (AAB) à Tolima et Arauca. Chaque isolat a été obtenu à partir de feuilles de différents plants collectés de manière aléatoire. Tous les isolats ont été cultivés à partir d'une seule ascospore et ont été placés sur un milieu PDA (gélose dextrose pomme de terre) dans des tubes à essais maintenus à $28 \pm 2^\circ\text{C}$ et incubés dans l'obscurité pendant 30 jours.

L'ADN a été extrait de chaque isolat à l'aide d'une méthode CTAB (Weising *et al.* 1991) légèrement modifiée qui a été décrite dans Romero *et al.* 1999.

L'analyse des microsatellites a été faite avec sept paires d'amorces pour les loci Mf SSR 005, Mf SSR 025, Mf SSR 061, Mf SSR 137, Mf SSR 203, Mf SSR 194 et Mf SSR244 (Neu *et al.* 1999). La réaction en chaîne de la polymérase (PCR) a été réalisée dans un



Figure 1. Principales régions de culture de la banane et de la banane plantain en Colombie.

volume de 25 ml de solution tampon contenant 2 mM de $MgCl_2$; 0,2 mM de dNTP; 12,5 pmole de chaque amorce; 0,625 unités de Taq polymérase (Promega, Californie); 1X de solution tampon PCR (50 mM de KCl; 10 mM de Tris HCl; pH 8,3) et 10-50 ng de la matrice d'ADN. Après la dénaturation initiale, les amplifications ont été effectuées dans un thermocycleur (MJ Research PT-200, Mass.) programmé pour 2 min à 94°C; 30 cycles de 30 s à 94°C, 45 s à 55°C et 45 s à 72°C, avec une extension finale de 7 min à 72°C.

Pour déterminer la taille des allèles, un volume de 2 ml du produit PCR, combiné à 3 ml de tampon de dissociation (formamide (w/v) à 80%, 10 mM d'EDTA pH (8,0), 1 mg/ml de bleu de bromophénol et 1mg/ml de xylène cyanol FF) a été dénaturé à 98°C pendant 5 min. Ce mélange a été chargé sur un gel de polyacrylamide dénaturant à 6%, contenant 7 mol/L d'urée. L'électrophorèse a été effectuée avec un tampon 1X TBE (Tris-borate EDTA) dans un système Sequi-Gen® (Bio-Rad). La taille des allèles a été estimée à l'aide de l'échelle d'ADN 10bp (Gibco BRL).

Les données ont été considérées comme haploïdes car l'ADN a été isolé à partir d'une culture d'une seule ascospore. Le nombre d'allèles a été calculé pour chaque locus. La diversité génétique a été estimée à l'aide de l'indice Nei (h) (Nei 1978) et la diversité génotypique à l'aide de l'indice G de Stoddart et Taylor, en considérant chaque génotype comme un haplotype multilocus (Hayden *et al.* 2003). Pour comparer les échantillons de tailles différentes, la valeur de G a été divisée par la taille de l'échantillon. Les calculs de diversité génétique ont été effectués à l'aide du programme informatique GDA - analyse des données génétiques - (Lewis et Zaykin 2001).

La différenciation génétique a été estimée avec la méthode statistique F_{st} de Wright, telle que décrite dans Weir et Cockerham (1984), à l'aide du logiciel Arlequin (Schneider *et al.* 2000). Les différences statistiques entre les valeurs de F_{st} ont été évaluées avec la méthode décrite dans Excoffier *et al.* (1992), sur la base de 3024 permutations.

Résultats et discussion

L'estimation de la diversité génétique de l'échantillon prélevé en Arauca (0,42) a donné un résultat supérieur aux valeurs obtenues pour les régions de l'Urabá (0,33) et du Magdalena (0,36), bien qu'en l'absence de test approprié, il soit impossible de distinguer entre les échantillons (tableau 1). Avec neuf marqueurs microsatellites, comprenant les sept microsatellites utilisés dans notre étude, Molina et Kahl (2004) ont obtenu une diversité génétique de 0,13 pour la région du Magdalena. Cette différence pourrait s'expliquer par les différences d'échantillonnage ou par le plus grand nombre de marqueurs utilisés par ces auteurs.

La diversité génétique globale (h) de nos échantillons était de 0,46 (tableau 1), une valeur analogue à celle de 0,40 obtenue par Neu *et al.* (1999) pour les populations de *M. fijiensis* au Mexique et à celle de 0,42 trouvée par Molina et Kahl (2004) pour un ensemble combiné d'isolats du Costa Rica, de Colombie et du Venezuela.

Les produits PCR ont fait apparaître deux allèles sur chaque locus, hormis pour *Mf* SSR 194 et *Mf* SSR 244 qui avaient trois allèles par locus. En moyenne, la population avait 2,03 allèles par locus (tableau 2). Cette valeur est apparemment inférieure à celles rapportées pour le Mexique (2,6) et le Nigeria (2,7) avec les mêmes marqueurs microsatellites (Neu *et al.* 1999), mais il n'est pas possible de dire si cette différence est significative sur le plan statistique.

Au total, 36 haplotypes multilocus distincts ont été trouvés parmi les 40 isolats étudiés. La valeur G calculée pour chaque lieu d'échantillonnage a montré des niveaux élevés de diversité génotypique (tableau 2). La diversité génotypique est proche du maximum théorique car la plupart des haplotypes ont été observés une seule fois. Ceci présente de fortes analogies avec ce qu'ont décrit Carlier *et al.* (1996) qui ont observé que chaque isolat de *M. fijiensis* correspondait à un seul haplotype multilocus parmi les 19 loci RFLP évalués.

Tableau 1. Estimation de l'indice Nei de diversité génétique pour sept loci d'isolats de *Mycosphaerella fijiensis* venant de quatre populations de Colombie.

Locus	Arauca	Magdalena	Tolima	Urabá	Total
<i>Mf</i> SSR 005	0,34	0,18	0,32	0,49	0,39
<i>Mf</i> SSR 025	0,34	0,32	0,50	0,29	0,39
<i>Mf</i> SSR 061	0,34	0,18	0,50	0,46	0,42
<i>Mf</i> SSR 137	0,49	0,42	0,48	0,29	0,45
<i>Mf</i> SSR 194	0,56	0,48	0,42	0,00	0,62
<i>Mf</i> SSR 244	0,44	0,58	0,18	0,39	0,48
<i>Mf</i> SSR 203	0,44	0,42	0,42	0,39	0,48
Moyenne	0,42	0,36	0,40	0,33	0,46
Ecart type	0,08	0,15	0,11	0,16	0,07

Tableau 2. Résultats de l'analyse de quatre populations de *Mycosphaerella fijiensis* venant de Colombie, faite avec sept marqueurs microsatellites.

	Arauca	Magdalena	Tolima	Urabá	Total
Nombre d'isolats	9	10	10	11	40
Nombre de génotypes	9	10	10	9	36
Nombre d'allèles/locus	2,1	2,0	2,0	1,8	2,03
Diversité génétique (h)	0,42	0,36	0,40	0,33	0,46
Diversité génotypique (G)	9	9,36	10	10	38,1
G/Taille de l'échantillon	1	0,85	1	1	0,95

Tableau 3. Niveaux de différenciation génétique (Fst) entre quatre populations de *Mycosphaerella fijiensis* de Colombie.

	Tolima	Urabá	Arauca	Magdalena
Tolima	0,00000			
Urabá	0,20158*	0,00000		
Arauca	0,07566	0,13086*	0,00000	
Magdalena	0,10979*	0,26992*	0,03130	0,00000

* Indique une valeur P inférieure ou égale à 0,05 (Excoffier et al. 1992).

Quelques isolats similaires venaient d'endroits éloignés, par exemple l'isolat 990920 qui venait de Tolima avait le même haplotype que l'isolat 981111 venant d'Arauca. La collection d'isolats présentant des haplotypes similaires peut être le résultat du prélèvement indépendant de la combinaison d'allèles la plus fréquente.

L'estimation globale de Fst était de 0,145. Comme le montre le tableau 3, les valeurs Fst ont varié entre 0,07566 et 0,26992 ce qui montre un certain degré de différenciation, même si les niveaux atteints n'ont pas été aussi élevés que ceux obtenus par Rivas *et al.* (2004) pour les populations issues de différents pays d'Amérique latine et qui étaient compris entre 0,03 et 0,58. Cela n'est pas étonnant puisque nos données ont été collectées dans un seul pays.

Même si le nombre d'isolats que nous avons étudiés est peu important et si d'autres études sont nécessaires, nos données offrent une première estimation de la variabilité génétique de *M. fijiensis* dans certaines régions de Colombie.

Remerciements

Ce travail a été en partie financé par l'*Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas"* (Colciencias), financement n° 2213-05-157-97, la *Corporación para Investigaciones Biológicas*, CIB et le programme de troisième cycle en biotechnologie de l'*Universidad Nacional de Colombia*, sede Medellín. Nous remercions les Drs Dieter Kammer et Gunter Kahl pour nous avoir fourni des amorces de microsatellites ainsi que le Dr Alba Estella Riveros, Mme Alegría Saldarriaga et M. Alberto Martínez qui nous ont aidé pour l'échantillonnage et l'isolement des *Mycosphaerella* spp. Nos remerciements s'adressent également aux Drs Nicolás Jaramillo, Mario Lobo, Angela

Restrepo et Helga VonPlaten pour avoir relu et apporté des améliorations au manuscrit.

Références

- Carlier J., M.H. Lebrun, M.F. Zapater, C. Dubois & X.Mourichon. 1996. Genetic structure of the global population of banana black leaf streak fungus *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology* 5:499-510.
- Carlier J., X. Mourichon, D. Gonzales de León, M.F. Zapater & M.H. Lebrun. 1994. DNA restriction fragment length polymorphisms in *Mycosphaerella* species that cause banana leaf spot diseases. *Phytopathology* 84: 751-756
- Excoffier L., P. Smouse & J. Quatro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131:479-491.
- Hayden H.L., J. Carlier & E.A.B. Aitken. 2003. Genetic structure of *Mycosphaerella fijiensis* populations from Australia, Papua New Guinea and the Pacific Islands. *Plant Pathology* 52:703-712
- Lewis P. & D. Zaykin. 2001. *Genetic Data Analysis (GDA) User's manual*.
- Molina C.M. & G. Kahl. 2004. Genomics of two banana pathogens: genetic diversity, diagnostics, and phylogeny of *Mycosphaerella fijiensis* and *M. musicola*. Pp. 127-146 in *Banana Improvement Cellular, Molecular Biology, and Induced Mutations* (S. Mohan Jain and R. Swennen, eds). Science Publishers Inc., Enfield, USA.
- Mourichon X. & R.A. Fullerton. 1990. Geographical distribution of the two species, *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercosporamusae*) and *Mycosphaerella fijiensis* (*Cercospora fijiensis*), respectively agents of Sigatoka disease and black leaf streak disease in bananas and plantains. *Fruits* 45(3):213-218
- Nei M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from small number of individuals. *Genetics* 89:583-590
- Neu C., D. Kaemmer, G. Kahl, D. Fisher & K. Weising. 1999. Polymorphic microsatellite markers for the banana pathogen *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology* 8: 523-525
- Rivas G.G., M.F. Zapater, C. Abadie & J. Carlier. 2004. Founder effects and stochastic dispersal at the continental scale of the fungal pathogen of bananas *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology* 13:471-482.
- Rhodes P.L. 1964. A new banana disease in Fiji. *Commonwealth Phytopathology News* 10:38-41

I. Perea et E. Rodríguez

Arango travaillent à l'Unidad de Biotecnología Vegetal, Corporación para Investigaciones Biológicas, Cra. 72 A No. 78B- 141 Medellín, Colombie.

E. Márquez travaille à l'Escuela de Biociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional sede Medellín, Calle 64 Cra. 65 Autopista Norte, Medellín, Colombia. **Rafael**

Arango travaille dans ces deux établissements. Pour tout courrier, s'adresser : rafaelarango@epm.net.co

Romero M., T. Diaz, D. Castañeda & R. Arango. 1999. Diagnostico para PCR del complejo Sigatoka en Colombia. *Revista Facultad de Agronomía*. 52:425-434

Schneider S., D. Roessli & L. Excoffier. 2000. Arlequin ver 2000: A software for population genetics data analysis. Genetics and Biometry Laboratory, University of Geneva, Switzerland.

Stover R. 1980. Sigatoka leaf spot of banana and plantains. *Plant Disease* 64:750-755

Stover R.H. & J. Dickson. 1976. Banana leaf spot caused by *Mycosphaerella musicola* and *Mycosphaerella fijiensis* var *difformis*: a comparison of the first central American epidemics. *FAO Plant Prot. Bull.* 24:36-42.

Weir B. & C. Cockerham. 1984. Estimation of F-statistic for the analysis of population structure. *Evolution* 38:1358-1370.

Estimation de la taille du système racinaire par carottage

H. H. Mukasa, D. Ocan, P. R. Rubaihayo et G. Blomme

Système racinaire

Déterrer le système racinaire d'un plant de bananier cultivé en plein champ est une opération destructrice qui prend beaucoup de temps. A titre d'exemple, il faut six heures-homme pour extraire et évaluer le système racinaire d'un plant de bananier adulte (Blomme 2000). Il serait bien plus rapide d'estimer la taille du système racinaire en faisant un carottage sur les racines. Pour la fraise (*Fragaria xananassa* Duch.), Fort et Shaw (1998) ont mis en évidence une forte corrélation entre la variabilité des échantillons prélevés par carottage et la masse des racines du plant entier, indiquant que l'évolution de la croissance du système racinaire pouvait effectivement être estimée à partir des carottages. Le prélèvement des échantillons par carottage a pris, au plus, 10% du temps nécessaire pour collecter et traiter l'ensemble du système racinaire du plant. Blomme (2000) a appliqué cette méthode sur des plants de bananiers cultivés en plein champ à la station de l'Institut international d'agriculture tropicale au Nigeria et a observé que les caractéristiques du système racinaire de la touffe pouvaient être convenablement estimées à partir des échantillons prélevés par carottage. En outre, dégager les racines des échantillons obtenus n'a demandé qu'une fraction (5% par exemple pour deux échantillons) du temps nécessaire pour déterrer et évaluer la totalité du système racinaire d'un plant adulte.

Cette étude a pour but de voir si la méthode par carottage peut fournir des informations suffisantes pour estimer la taille du système racinaire de la touffe sur une large gamme de variétés de bananiers d'Afrique de l'Est, cultivés dans les exploitations agricoles.

Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée dans des exploitations des districts de Masaka et Bushenyi, deux importantes régions de culture bananière du sud-ouest de l'Ouganda. Le site de Masaka-Lwengo appartient au système banane-café tandis que celui de Bushenyi appartient au

système de montagne (INIBAP 2003). L'altitude du site de Masaka-Lwengo varie entre 1080 et 1330 mètres, la moyenne des précipitations est de 1200 mm par an et les sols sont des Luvisols (FAO 1998). L'altitude sur le site de Bushenyi se situe entre 1600 et 1800 mètres, la moyenne des précipitations est de 1588 mm par an et les sols sont des Acrisols (FAO 1998).

Sur chaque site, huit variétés de *Musa* – les bananiers des hauts plateaux d'Afrique de l'Est 'Mpologoma', 'Lwadungu', 'Nakitembe', 'Mbawazirume' et 'Kibuzi' (AAA-EAHB), la banane dessert 'Sukali ndizi' (AAB), la banane plantain 'Gonja' (AAB) et la banane à bière 'Kayinja' (ABB) – ont été soumises aux essais. Vingt plants par variété ont été étudiés sur chaque site, avec deux à cinq touffes par ferme. Les touffes sélectionnées avaient dépassé le quatrième cycle de production et étaient constituées d'une plante mère prête pour la cueillette et de deux à trois rejets. Le choix des variétés AAA-EAHB a été fait à partir des ensembles de clones pour avoir une variété représentative de chacun des quatre ensembles de clones (Karamura et Pickersgill 1999).

Le système racinaire a été étudié avec la méthode du carottage (Blomme 2000). Trois carottes ont été prélevées sur chaque touffe : à l'endroit situé juste à côté du rejet le plus grand et à 90° et 180° du rejet le plus grand, en allant dans le sens des aiguilles d'une montre. Les échantillons faisaient 25 cm de diamètre et 80 cm de haut. Ils ont été délimités avec un anneau en métal et prélevés avec une petite bêche. Puis, ils ont été nettoyés pour enlever les particules de terre ; les données concernant le poids sec des racines adventives et la longueur des racines ont été collectées sur chaque échantillon prélevé (Tennant 1975). Ensuite, les plants ont été entièrement déterrés et les mêmes caractéristiques ont été mesurées sur toute la touffe.

L'analyse statistique a été réalisée avec l'ensemble statistique Genstat (Genstat 1999). Une analyse ANOVA a été faite pour déterminer l'incidence de l'emplacement du plant et du

carottage sur les caractéristiques des racines dans l'échantillon prélevé. Une analyse de régression a également été faite sur ces caractéristiques et celles des racines, mesurées sur la touffe.

Résultats et discussion

La plupart des racines ont été observées dans un rayon de 60 cm autour du plant de bananier et jusqu'à une profondeur de 50 cm. Les échantillons ont été prélevés par carottage dans la zone ayant la plus forte concentration de racines. Cette densité était d'autant plus faible que l'on allait plus profond dans le sol.

Les racines des échantillons représentent entre 5 et 8% du système racinaire de la touffe (tableau 1). Ces ratios sont supérieurs à ceux de 1,1 et 2,7% relevés au Nigeria (Blomme 2000). Ces écarts pourraient s'expliquer par

des différences dans la nature des sols (les sols sablonneux du Nigeria permettraient aux racines de s'étendre comparativement aux sols limoneux plus compacts de l'Ouganda, où les racines sont plus concentrées autour de la touffe) ou alors par des réactions propres aux variétés.

L'endroit du carottage n'a pas eu d'effet significatif sur la longueur des racines adventives ni sur le poids sec des racines qui ont été mesurés dans les échantillons (tableau 2). L'interaction entre les plants avait manifestement plus d'impact sur les résultats que le lieu d'échantillonnage. Bien que chaque touffe comprenait une plante mère et deux à trois rejets, de grandes variations de stature de la plante ont été observées. Ces différences de taille de la plante, et donc du système racinaire, pourraient expliquer le

Tableau 1. Longueur moyenne et coefficient de variation, entre parenthèses, des racines adventives et poids sec des racines mesurés sur un échantillon et sur la totalité du bananier.

Variété	Longueur des racines adventives (cm)			Poids sec des racines (kg)		
	Touffe entière	Echantillon	% de la touffe entière	Touffe entière	Echantillon	% de la touffe entière
Mpologoma	12 277 (46)	749,1 (53)	6,3 (33)	0,39 (52)	0,02 (58)	5,2 (39)
Lwadungu	17 152 (52)	988,1 (52)	6,4 (45)	0,52 (50)	0,02 (51)	5,2 (42)
Nakitembe	14 068 (33)	989,9 (48)	7,1 (37)	0,40 (46)	0,02 (59)	5,2 (39)
Mbwazirume	18 454 (38)	1 116,7 (43)	6,5 (42)	0,56 (49)	0,03 (51)	5,2 (54)
Kibuzi	18 236 (37)	1 028,9 (50)	5,8 (38)	0,46 (38)	0,03 (58)	5,6 (50)
Sukali ndizi	20 152 (40)	1 235,5 (43)	6,5 (35)	0,97 (52)	0,05 (54)	5,5 (42)
Gonja	11 467 (48)	738,9 (52)	6,9 (49)	0,41 (55)	0,02 (57)	5,4 (52)
Kayinja	10 510 (37)	695,3 (44)	6,8 (35)	0,44 (77)	0,03 (59)	8,1 (85)

Tableau 2. Carrés moyens et signification pour huit variétés de *Musa* estimées dans des plantations déjà constituées.

Genotype	Source de variation	df	Longueur des racines adventives (cm)	Poids sec des racines (kg)
Mplogoma	Plant	19	59 076*	0,0000504***
	Lieu du carottage	2	3 859	0,00000913
	Résidu	38	8 959	0,00000955
Lwadungu	Plant	19	102 306*	0,00005590
	Lieu du carottage	2	35 205	0,00002705
	Résidu	38	46 545	0,00003542
Nakitembe	Plant	19	79 210***	0,00004499***
	Lieu du carottage	2	18 707	0,00002223
	Résidu	38	23 401	0,00001489
Mbwazirume	Plant	19	102 915***	0,00008080***
	Lieu du carottage	2	27 760	0,00007264
	Résidu	38	30 651	0,00002431
Kibuzi	Plant	19	12 497**	0,00008818**
	Lieu du carottage	2	97 198	0,00006036
	Résidu	38	44 463	0,00003106
Sukali ndizi	Plant	19	90 493*	0,00027608**
	Lieu du carottage	2	89 826	0,00008867
	Résidu	38	45 908	0,00009381
Gonja	Plant	19	32 198**	0,00003461*
	Lieu du carottage	2	19 336	0,00005667
	Résidu	38	11 602	0,00001707
Kayinja	Plant	19	37 897***	0,00008450**
	Lieu du carottage	2	18 562	0,00004084
	Résidu	38	12 197	0,000001805

***, **, *: Significatif à P<0,001, P<0,01, P<0,05

Tableau 3. Valeurs R² des régressions entre la longueur des racines adventives (LRA) ou le poids sec des racines (PSR) dans un, deux ou trois échantillons et valeur correspondante obtenue en déterrants la touffe au moment de la récolte.

Variété	Caractéristique	Echantillons de carottage ¹						
		1	2	3	1 & 2	1 & 3	2 & 3	1, 2 & 3
Mpologoma	LRA	0,75	0,62	0,81	0,74	0,71	0,82	0,83
	PSR	0,55	0,67	0,64	0,70	0,63	0,74	0,71
Lwadungu	LRA	0,55	0,54	0,60	0,62	0,68	0,61	0,71
	PSR	0,57	0,58	0,73	0,64	0,74	0,76	0,86
Nakitembe	LRA	0,61	0,64	0,57	0,72	0,75	0,68	0,77
	PSR	0,53	0,71	0,75	0,62	0,73	0,85	0,80
Mbwazirume	LRA	0,53	0,72	0,58	0,58	0,54	0,59	0,72
	PSR	0,52	0,58	0,51	0,36	0,52	0,65	0,77
Kibuzi	LRA	0,48	0,57	0,40	0,65	0,53	0,54	0,71
	PSR	0,63	0,68	0,64	0,79	0,81	0,73	0,83
Sukali ndizi	LRA	0,59	0,54	0,49	0,68	0,72	0,45	0,79
	PSR	0,63	0,53	0,54	0,57	0,67	0,49	0,71
Gonja	LRA	0,78	0,54	0,87	0,72	0,91	0,83	0,86
	PSR	0,72	0,59	0,57	0,64	0,74	0,58	0,68
Kayinja	LRA	0,51	0,35	0,71	0,51	0,72	0,70	0,70
	PSR	0,65	0,57	0,84	0,53	0,79	0,73	0,72

¹ L'échantillon 1 correspond à l'emplacement du futur rejet axial tandis que les échantillons 2 et 3 ont été prélevés à 90° et 180° du rejet le plus grand, en allant dans le sens des aiguilles d'une montre.

coefficient élevé de variation entre les valeurs que l'on note dans le tableau 1.

Une analyse de régression a été faite sur le poids sec des racines et la longueur des racines adventives dans les échantillons prélevés, et les caractéristiques correspondantes obtenues à partir de la touffe. Les valeurs R² des échantillons simples, doubles et triples ont été obtenues pour les huit variétés (tableau 3). Les échantillons simples et doubles ont donné les valeurs R² les plus faibles tandis qu'une valeur R² minimum de 0,68 a été obtenue pour les échantillons triples (tableau 3). Cela signifie qu'au moins 68% de la variation observée entre les caractéristiques des racines de la touffe pourraient s'expliquer en faisant une estimation sur trois échantillons.

Les études faites sur le site du Nigeria sur les plants du premier cycle de production ont indiqué qu'il serait possible d'expliquer au moins 73% de la variation des caractéristiques des racines de la touffe avec deux carottages, et 81% avec trois carottages (Blomme 2000). Sur ce même site, des études plus approfondies qui ont été menées sur les repousses ont indiqué qu'au moins 80% de la variation des caractéristiques des racines de la touffe pouvait être expliqué en prélevant deux échantillons et 85% en en prenant trois. Ces résultats tendent à indiquer que, lorsque l'on fait une estimation sur les plants dans les exploitations, il faudrait prélever au moins trois échantillons par carottage pour pouvoir expliquer plus de 70% des variations concernant les caractéristiques des racines de la touffe. Cette méthode est séduisante étant donné que prélever trois carottes et faire les estimations voulues ne demande que 8% du temps nécessaire pour déterrer et mesurer la totalité du système racinaire d'un plant de *Musa* adulte. En outre, la méthode par carottage peut fournir des renseignements détaillés sur la

dynamique des racines qui est essentielle pour comprendre l'impact de l'environnement sur le développement des racines ainsi que pour faire des recherches sur les différences génétiques relatives aux caractéristiques du système racinaire, entre un grand nombre de cultivars.

Remerciements

Les auteurs remercient le Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP) et à l'Association flamande pour le développement et la coopération techniques (VVOB) pour leur aide financière. Ils expriment également leur gratitude à MM. Yiga Steven et Ndamira John qui ont mobilisé les agriculteurs.

Références

- Blomme G. 2000. The interdependence of root and shoot development in banana (*Musa* spp.) under field conditions and the influence of different biophysical factors on this relationship. Dissertations de Agricultura No.421. Faculty of Agriculture and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven. 183pp.
- FAO, ISRIC & ISSS. 1998. World reference base for soil resources. World soil resources report N° 84. FAO, Rome, Italy. 88pp.
- Fort S.B. & D.V. Shaw. 1998. Phenotypic correlations between root and shoot traits of strawberry in fumigated and non-fumigated soils. *HortScience* 33:222-224.
- Genstat 1999. Genstat 5, Release 3.2 (PC/Windows 1995), Lowes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station) Genstat 5, 2nd ed for Windows.
- INIBAP 2003. Conservation through utilization of bananas and plantains in the Great Lakes region of East Africa. Final Project Report, pp. 32-33.
- Karamura D. & B. Pickersgill. 1999. A classification of the clones of East African highland bananas (*Musa*) found in Uganda. *Plant Genetic resources Newsletter* 119:1-6.
- Tennant D. 1975. A test of a modified line intersect method for estimating root length. *Journal of Ecology* 63:995-1001.

H.H. Mukasa, D. Ocan, Patrick R. Rubaihayo travaillent au Department of Crop Science, Université de Makerere, PO Box 7062, Kampala, Ouganda (Courriers électroniques: hanmukasa@agric.mak.ac.ug, lakocan@yahoo.co.uk, rubaihayo@agric.mak.ac.ug).
Guy Blomme travaille pour le Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP), Bureau régional pour l'Afrique orientale et australe, PO Box 24384, Kampala, Ouganda g.blomme@cgiar.org

Effet de la profondeur du trou de plantation sur le développement du plant et des racines de *Musa* spp.

G. Sebuwufu, P.R. Rubaihayo et G. Blomme

Afin de lutter contre la prolifération des ravageurs et maladies des bananiers, les agriculteurs sont encouragés à utiliser soit des vitroplants (Robinson *et al.* 1993, Robinson 1996) soit des rejet parés (Nampala *et al.* 2001). Ces plants sont bien plus petits que les rejets non parés conventionnels utilisés communément en Ouganda et où la taille du trou de plantation recommandée est de 60 cm x 60 cm x 60 cm. D'après les travaux de Swennen (1990), la taille du trou de plantation pour un rejet paré de bananier ou un vitroplant doit être d'au moins 30 cm de diamètre et 30 cm de profondeur, particulièrement dans les plantations commerciales où les bananiers sont cultivés comme culture annuelle. La taille réduite des vitroplants ou des rejets parés, permettrait de mettre en place une bananeraie à partir de trous de plantation moins profonds. La réduction de la taille du trou de plantation pourrait accélérer l'établissement des plants car la zone porteuse des racines de bananiers serait placée au niveau de la terre de surface riche en nutriments. Swennen *et al.* (1988) ont rapporté, que la zone porteuse de racines des bananiers est géotropiquement négative, c'est-à-dire que les nouvelles racines sont formées dans les couches de terre de surface. Le but de cette étude a été de comparer les performances de croissance de plantes issues de vitroplants et de rejets, plantés dans des trous de différentes profondeurs.

Matériels et méthodes

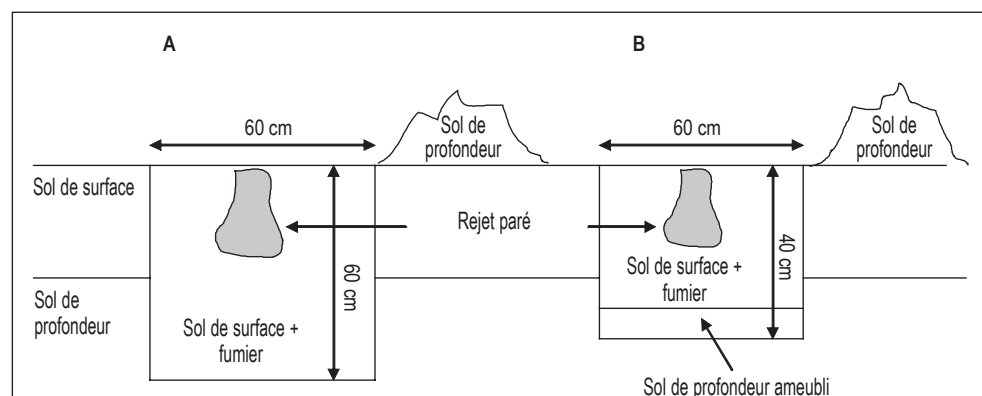
L'expérience a été mise en place en mars 2002, à l'institut de recherche agricole de l'université de Makerere, à Kabanyolo, en Ouganda. Auparavant, le champ avait été mis en jachère pendant cinq ans. Les sols sont des terreaux bruns rouges jusqu'à 25 cm de profondeur et

sont classés comme ferralsols eutriques (Yost et Estwara 1990).

Des trous de deux profondeurs ont été testés. Dans la première méthode, utilisée par les agriculteurs, le trou creusé faisait 60 cm de diamètre et 60 cm de profondeur (figure 1A). Le sol de surface des trente premiers centimètres a été mélangé avec le sol de surface pris aux alentours du trou et 10 kg de fumier de vache composté. Ce mélange a été remis dans le trou à la plantation. Dans la deuxième méthode (figure 1B), un trou de 60 cm de diamètre et 40 cm de profondeur a été creusé. La couche profonde située entre 35 et 40 cm a été ameublie et laissée dans le trou. Le sol de surface a été mélangé avec 10 kg de fumier de vache composté et a été mis par-dessus la terre ameublie. Dans les deux méthodes, les trous de plantation ont été remplis jusqu'à 5 cm du niveau du sol. Au remplissage du trou, le mélange de sol de surface et de compost a été légèrement compacté.

Les plants étaient des vitroplants et des rejets baïonnette parés appartenant à deux cultivars de bananiers des hauts plateaux de l'Afrique de l'Est, 'Entaragaza' et 'Siira' (AAA-EAHB). Le pseudotrunc des rejets baïonnette a été coupé à 10 cm au-dessus du rhizome avant la plantation. Les rejets baïonnette étaient homogènes en taille et pesaient en moyenne 2 kg après le parage. Le bord coupé du pseudotrunc du rejet paré a été positionné au niveau du sol du trou de plantation, pour les deux géotypes et les deux profondeurs de plantation, plaçant ainsi la zone porteuse de racines du plant dans la couche de sol de surface riche en nutriments. Les vitroplants ont été couverts de terre jusqu'au-dessus du collet. Vingt grammes du pesticide Furadan 3G (Carbofuran) ont été ajoutés au mélange terre-fumier avant

Figure 1. Représentation schématique des méthodes utilisées pour creuser A) un trou de plantation profond de 60 cm et B) un trou de plantation profond de 40 cm.



la plantation, et sur le sol 14 semaines après la plantation, afin de contrôler les nématodes et les charançons. Ces plantations n'ont pas été irriguées.

Le schéma expérimental utilisé était un bloc subdivisé (split-plot) dans un dispositif en blocs de Fisher, avec deux répétitions. Le facteur principal était la profondeur du trou de plantation et le facteur secondaire était le type de plant initial (vitroplant ou rejet). Pour chaque type de plant, les deux variétés ont été désignées comme facteur tertiaire.

Deux champs avoisinants de 48 plants chacun, ont été utilisés pour évaluer les caractéristiques agronomiques 24 semaines après la plantation (premier champ) et à l'émergence de la fleur (second champ). Dans les deux champs, l'espace entre les plantes était de 3 m x 3 m. Pour chaque profondeur de trou de plantation et chaque génotype, les données ont été enregistrées pour six plantes issues de vitroplants et six plantes issues de rejets. Les plantes ont été totalement déterrées pour leur évaluation. Deux champs adjacents aux précédents et disposés de la même façon, ont été utilisés pour évaluer la distribution des racines, c'est-à-dire la longueur des racines adventives en fonction de la profondeur du sol, 24 semaines après la plantation (premier champ) et à l'émergence de la fleur (second champ). Chaque champ avait 24 plantes. Pour chaque profondeur de trou de plantation et chaque génotype, les données ont été enregistrées sur trois plants dérivés de vitroplants et trois plants dérivés de rejets.

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel SAS à modèle mixte (Littell *et al.* 1996) dans lequel les répétitions étaient considérées

comme aléatoires alors que la profondeur du trou de plantation et le type de matériel de plantation étaient fixes. Le génotype n'a pas été pris en compte dans les analyses suivantes car, à part la taille de la plante, les variations lui étant dues n'étaient pas significatives. Les moyennes ont été séparées par un test t de comparaison multiple des moindres carrés moyens. Afin d'établir une relation entre la longueur des racines adventives et la profondeur du trou de plantation, nous avons tracé la courbe de la longueur des racines adventives en fonction de la profondeur du sol pour chaque type de matériel de plantation.

Résultats et discussion

La profondeur du trou de plantation n'a pas eu d'effet significatif sur les caractéristiques des parties aériennes, du rhizome et des racines des touffes dérivées de rejets, 24 semaines après la plantation (tableau 1). Par contre, le poids du rhizome, la longueur des racines adventives et le poids sec des racines des plants dérivés de vitroplants étaient significativement ($P < 0.005$) plus élevés dans les trous de 60 cm de profondeur que dans les trous de 40 cm de profondeur. Aucun effet significatif de la profondeur du trou de plantation sur les caractéristiques mesurées de croissance des plantes issues de vitroplants et de rejets n'a été observé à la floraison (tableau 2).

La distribution des racines était semblable pour les deux profondeurs de trous, pour les plantes évaluées 24 semaines après la floraison ou à la floraison (figure 2).

Les résultats suggèrent que le trou le moins profond n'a pas entravé la croissance des deux types de matériel de plantation bien que des résultats complémentaires *in situ* seraient

Tableau 1. Valeurs moyennes des caractéristiques agronomiques évaluées 24 semaines après la plantation de deux types de matériel de plantation de bananiers des hauts plateaux de l'Afrique de l'Est plantés dans des trous de profondeurs différentes (n=12).

Type de plant	Profondeur du trou de plantation (cm)	SF (m ²)	NbF	PSF (g)	CP (cm)	HP (cm)	PSP (g)	PSC (g)	NbR	LR (m)	PSR (g)
<i>In vitro</i>	40	1,9 c	7,4 a	273 b	31 c	92 c	277 b	142 c	123 b	57 b	73 c
<i>In vitro</i>	60	2,3 bc	7,4 a	336 ab	32 bc	92 bc	349 b	285 b	126 b	91 a	111 b
Rejet	40	2,7 ab	8,2 a	411 a	37 ab	113 a	441 ab	399 a	185 a	93 a	146 ab
Rejet	60	3,0 a	8,1 a	444 a	38 a	112 a	503 a	490 a	161 a	98 a	160 a

SF: Surface foliaire, NbF: Nombre de feuilles, PSF: Poids sec de la feuille, CP: Circonférence du pseudotrunc au niveau du sol, HP: Hauteur de la plante, PSP: Poids sec du pseudotrunc, PSC: Poids sec du rhizome, NbR: Nombre de racines adventives, LR: Longueur des racines adventives, PSR: Poids sec des racines.

Dans les colonnes, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P > 0.05$) d'après un test t de comparaison multiple des moindres carrés moyens.

Tableau 2. Valeurs moyennes des caractéristiques agronomiques évaluées à la floraison de deux types de matériel de plantation de bananiers des hauts plateaux de l'Afrique de l'Est plantés dans des trous de profondeurs différentes (n=12).

Type de plant	Profondeur du trou de plantation (cm)	SF (m ²)	NbF	PSF (g)	CP (cm)	HP (cm)	PSP (g)	PSC (g)	NbR	LR (m)	PSR (g)
<i>In vitro</i>	40	5,3 a	13 ab	1060 a	51 a	191 a	2530 ab	922 b	516 a	3554 a	342 a
<i>In vitro</i>	60	4,7 a	14 a	1104 a	50 a	197 a	3060 a	1072 ab	494 a	4186 a	364 a
Rejet	40	5,7 a	10 b	1138 a	51 a	208 a	2036 b	1163 ab	520 a	4059 a	377 a
Rejet	60	5,2 a	12 ab	1059 a	48 a	200 a	2053 b	1290 a	615 a	4697 a	388 a

SF: Surface foliaire, NbF: Nombre de feuilles, PSF: Poids sec de la feuille, CP: Circonférence du pseudotrunc au niveau du sol, HP: Hauteur de la plante, PSP: Poids sec du pseudotrunc, PSC: Poids sec du rhizome, NbR: Nombre de racines adventives, LR: Longueur des racines adventives, PSR: Poids sec des racines.

Dans les colonnes, les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P > 0.05$) d'après un test t de comparaison multiple des moindres carrés moyens.

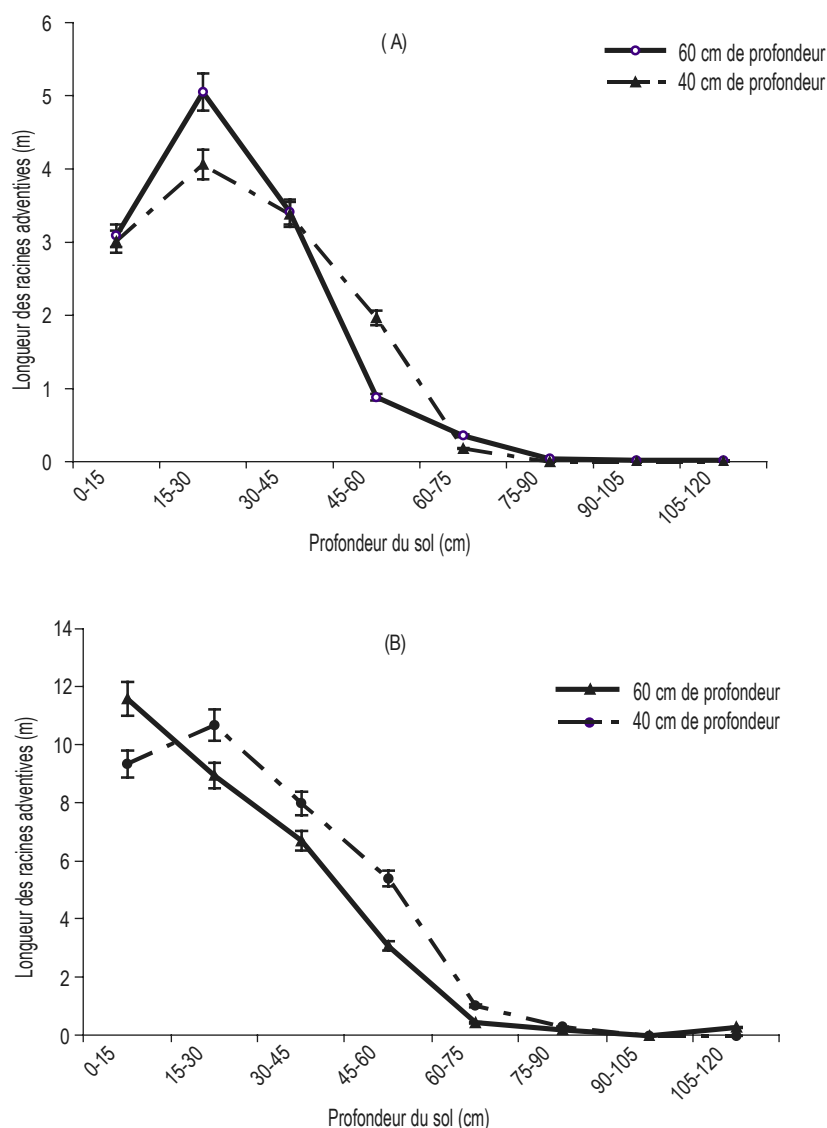


Figure 2. Longueur des racines adventives en fonction de la profondeur du sol pour des bananiers plantés dans des trous de deux profondeurs (40 et 60 cm) et évalués A) 24 semaines après la plantation et B) à la floraison. Les valeurs de longueur des racines adventives représentent les valeurs mesurées sur deux cultivars de bananier des hauts plateaux d'Afrique de l'Est ('Entaragaza' et 'Siira') dérivés de rejets et de vitroplants (n=12 plants par profondeur de trou de plantation).

G. Sebuwufu et Patrick R. Rubaihayo travaillent au Crop science department, Université de Makerere. Boîte Postale 7062, Kampala, Ouganda, sebuwufuug@yahoo.com et **Guy Blomme** pour le Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP), Bureau de l'Afrique de l'Est et du Sud, Boîte Postale 24384, Kampala, Ouganda, G.Blomme@CGIAR.org

nécessaires pour confirmer ces résultats préliminaires. Swennen (1990) a rapporté que la taille minimale du trou de plantation pour des bananiers pouvait être aussi faible que 30 cm x 30 cm x 30 cm. Au lieu de planter le rhizome dans une couche inférieure, ceci assure à la zone porteuse de racines d'être placée dans la couche de surface riche en minéraux. Etant donné que la plupart des racines de bananiers poussent dans la couche de surface (Araya *et al.* 1998 et Sebuwufu 2002), le fait de planter le rhizome au niveau de la couche supérieure riche en minéraux, pourrait améliorer la croissance de la plante.

La profondeur du trou de plantation la plus faible dans cette étude réduirait les coûts de main d'œuvre de moitié. En effet, un manœuvre serait payé 300-500 UgSh [1\$=1850 UgSh] pour creuser un trou de plantation « classique », alors que pour creuser un trou moins profond, seuls 150-250 UgSh seraient nécessaires. Dans le premier cas, le fait d'enlever la sous-couche

compacte est un travail plus physique qui nécessite plus de temps.

Bakhiet et Elbadri (2004) ont planté des rejets baïonnette à différentes profondeurs et leurs résultats indiquent qu'augmenter la profondeur de plantation augmente le poids du régime et réduit le temps à la floraison, et que l'effet persiste sur des cycles de production successifs. Mais alors que Bakhiet et Elbadri (2004) ont varié la profondeur à la quelle le rejet était planté, nous avons planté les rejets et vitroplants au niveau de la couche de surface et avons fait varier la profondeur du trou de plantation.

D'autres études sont nécessaires pour évaluer la rentabilité, la croissance de la plante, le rendement et surtout la stabilité sur plusieurs cycles de production. Des études complémentaires en station et à la ferme pourraient évaluer l'effet de différentes profondeurs de trous de plantation et des types de sols qui auraient subis différents traitements (avec ou sans jachère, avec ou sans compaction du sol, etc.). Des méthodologies participatives à la ferme, ou des méthodologies participatives similaires, pourraient être utilisées pour mettre au point la profondeur du trou de plantation et d'autres aspects liés à la méthode de gestion de l'agriculteur et du système de production. Des essais menés sur des fermes donneraient des résultats qui seraient représentatifs de l'environnement propre à l'agriculteur et permettrait de faire des recommandations qui lui seraient adaptées.

Remerciements

Les auteurs remercient la Fondation Rockefeller, l'INIBAP et l'Association Flamande pour le Développement Technique et la Coopération (VVOB) pour leur soutien financier. Nous remercions sincèrement M. Philip Ragama, biométricien à l'Institut international d'agronomie tropicale (IITA), en Ouganda, pour sa contribution à cette étude.

Références

- Araya M., A. Vargas & A. Cheves. 1998. Changes in distribution of roots of banana (*Musa* AAA cv. 'Valery') with plant height, distance from the pseudostem and soil depth. *Journal of Horticulture Science and Biotechnology* 73(4):437-440.
- Bakhiet S.B. & G.A.A. Elbadri. 2004. Effet de la profondeur de plantation sur la durée du cycle de production et le rendement. *INFOMUSA* 13(1):12-14.
- Littell R.C., G. A. Milliken, W.W. Stroup & R.D. Wolfinger. 1996. SAS system for mixed models, Cary, NC: SAS Institute Inc. 633pp.
- Nampala P., E. Adipala & P.R. Speijer. 2001. Effect of paring and hot water treatment of banana sets on nematode and weevil infestations. *African Crop Science Conference Proceedings* 5:283-289.
- Robinson J.C. 1996. Bananas and Plantains. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. 238pp.
- Robinson J.C., C. Fraser & K. Eckstein. 1993. A field comparison of conventional suckers with tissue culture

- banana planting material over three crop cycles. *Journal of Horticultural Science* 668:831-836.
- Sebuwufu G. 2002. Genotypic and nutritional effects on the shoot and root of *Musa* spp. Msc. Thesis submitted to the Faculty of Agriculture, Makerere University.
- Swennen R. 1990. Plantain Cultivation under West African Conditions. A reference manual. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 24pp.
- Swennen R., G.F. Wilson & D. Decoene. 1988. Priorities for future research on the root system and corn in plantains and bananas in relation with nematodes and the banana weevil. Pp. 91-96 in *Nematodes and the Borer Weevil in Bananas: Present status of research and outlook*. Proceedings of a workshop held in Bujumbura, Burundi, 7-11 December 1987. INIBAP, Montpellier, France.
- Yost D. & H. Estwaran. 1990. Major Land Resource Areas of Uganda. World Soil Resources, Soil Conservation Service, USDA, Washington D.C.

Evaluation d'une méthode de criblage simultanée de matériel génétique de *Musa* contre des espèces multiples de nématodes

D.L. Coyne et A. Tenkouano

Méthode d'évaluation

L'importance des nématodes parasites comme une contrainte à la production de *Musa* n'est pas à mettre en doute (Gowen *et al.* 2005). Cependant, l'attention a été concentrée sur l'épidémiologie des nématodes parasites de plantes qui affectent *Musa*, leur gestion et l'identification d'une résistance contre *Radopholus similis* (Cobb) Thorne. Il devient cependant de plus en plus clair qu'une telle attention devrait être élargie pour inclure d'autres espèces de nématodes qui, selon l'endroit et le génotype de *Musa*, peuvent avoir une importance plus grande que celle de *R. similis* (Speijer et Fogain 2000, Gowen *et al.* 2005). Des nématodes tels que *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Golden, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus coffeae* (Zimmerman) Filipjev, Schuurmans et Stekhoven, par exemple, ont été identifiés comme les premières contraintes dues aux nématodes sur le bananier plantain en Afrique de l'ouest (Speijer *et al.* 2001, Brentu *et al.* 2004) et considérés comme une menace considérable pour *Musa* dans d'autres régions, comme l'Inde (Sundararaju 2001), la région du Pacifique (Bridge et Page 1984, Bridge 1988) et l'Amérique centrale (Stover 1972). L'évidence de la pathogénicité de *H. multicinctus* (Barekye *et al.* 1999, Brentu *et al.* 2004, Ssango *et al.* 2004) et de *Meloidogyne* spp. (Brentu *et al.* 2004) sur *Musa* augmente.

L'identification de cultivars résistants aux ravageurs et maladies, incluant les nématodes, est une étape initiale vers le développement d'une option de gestion. Un travail important a été réalisé sur le développement de procédures de criblage pour identifier la résistance aux nématodes chez le bananier (Pinochet 1996, Speijer et De Waele 1997, De Schutter *et al.* 2001, Severn-Ellis *et al.* 2003). En utilisant de

telles méthodes, plusieurs génotypes de *Musa* présentant une résistance à *R. similis* (Pinochet 1996) ont été identifiés. Cependant, la procédure d'identification de la résistance reste très longue.

La possibilité de cribler rapidement de nombreuses variétés locales ou génotypes créés par les sélectionneurs rendrait cette procédure plus efficace en réduisant le temps et l'espace nécessaires. Sur ce sujet, De Schutter *et al.* (2001) ont développé une méthode qui utilise des racines isolées et évalue la multiplication des nématodes sur une période de huit semaines, mais elle a été développée pour une seule espèce, *R. similis*. Les activités de recherche de résistance ont commencé par prendre en considération les nématodes les plus importants (voir par exemple Stoffelen *et al.* 1999, Van den Bergh *et al.* 2000), bien que *H. multicinctus* soit resté un nématode difficile à cultiver, ce qui empêche les activités de criblage. Avec l'attention portée sur l'identification de la résistance à d'autres espèces de nématodes que *R. similis* et la résistance à des espèces multiples, il est nécessaire de développer des méthodes de criblage efficaces et pratiques. Le criblage de nombres élevés de génotypes contre plus d'une espèce de nématodes peut créer des complications et nécessite plus d'espace et de temps. De plus, la disponibilité en rejets, spécialement ceux des hybrides, peut être limitée. Une utilisation maximale du matériel disponible est donc capitale.

Cette étude a été réalisée pour adapter et développer la méthode de criblage d'une racine isolée de De Schutter *et al.* (2001) à des espèces de nématodes multiples.

Matériel et méthodes

L'essai a été réalisé dans la serre de la station d'Ibadan (7°30'N, 3°5'E) de l'Institut

international d'agriculture tropicale (IITA), au Nigeria.

Le bananier plantain 'Agbagba' (AAB), qui est un bon hôte pour *R. similis* (Price 1994, De Schutter *et al.* 2001) a été utilisé. Les rejets utilisés comme matériel de plantation d'un site de multiplication ont été choisis par rapport à l'absence de dégâts causés par les charançons. Ils ont été parés soigneusement pour enlever les racines et les tissus du corme infestés par les nématodes et traités avec de l'eau chaude (53°C à 55°C) pendant 20 minutes (Colbran 1967) avant la plantation. Six rejets par traitement et par méthode d'inoculation ont été plantés dans de la sciure dans des cadres en bois (1,0 m x 2,0 m x 0,3 m) placés sur une feuille de plastique sur le sol en ciment de la serre. Chaque cadre en bois a été divisé en trois compartiments égaux contenant chacun un rejet.

Des racines individuelles ont été inoculées selon la méthode de De Schutter *et al.* (2001). Environ quatre semaines après la plantation, des racines primaires au même stade de développement ont été sélectionnées sur chaque rejet. Deux jours avant l'inoculation, un segment de racine de 8 cm de long, distant d'au moins 5 cm du corme, a été placé avec soin dans un petit gobelet en plastique (8 cm de diamètre, 5 cm de hauteur) contenant du sol sablo-argileux stérilisé à la vapeur (figure 1). En utilisant une pipette, chaque segment de racine a été inoculé avec 1,0 ml d'une suspension aqueuse contenant 50 nématodes vermiformes. Après l'inoculation, chaque segment a été soigneusement recouvert de sol stérilisé à la vapeur.

L'inoculum de nématodes avait été obtenu à partir de cultures sur des disques de carotte (Pinochet *et al.* 1995) pour *R. similis* et *P. coffeae*. L'inoculum a été préparé en rinçant avec de l'eau distillée les boîtes de Petri contenant les disques de carotte et en récoltant les nématodes dans un bécher. L'inoculum d'*H. multicinctus* a été obtenu en extrayant les nématodes de racines infectées de plants d'Agbagba' cultivés dans des pots contenant du sol stérilisé à la vapeur. L'inoculum de *Meloidogyne* spp. a été obtenu comme celui d'*H. multicinctus*, en utilisant des *Meloidogyne* spp. isolés à partir de bananiers plantain de l'état de Rivers, au Nigeria, et identifié comme étant sans doute un mélange de *M. incognita* et *M. javanica*. Les racines ont été coupées en morceaux de 0,5 cm de long et macérées dans un broyeur ménager pendant deux périodes de 10 secondes, séparées par un intervalle de 5 secondes. Les nématodes ont été extraits en utilisant la technique de l'entonnoir de Baermann modifiée (Speijer et De Waele 1997).



Danny Coynell/ITA

Figure 1. Le segment de racine qui sera inoculé est placé dans un gobelet à environ 5 cm du corme.

Les essais ont été achevés dix semaines après l'inoculation. Les récipients en plastique contenant les segments de racines ont été déterrés avec soin. Les segments de racines de 8 cm de long ont été récoltés, lavés à l'eau courante, séchés avec du papier absorbant, pesés, coupés en fragments de 0,5 cm et macérés dans broyeur ménager pendant deux fois 10 secondes avec un intervalle de 5 secondes. Les nématodes vermiformes (juvéniles uniquement pour *Meloidogyne* spp.) ont été extraits selon la technique modifiée de l'entonnoir de Baermann. Les extraits ont été décantés une première fois au bout de 24 heures, puis de nouveau 24 heures plus tard (à 48 h). A 24 h, de l'eau distillée a été utilisée pour remplacer l'extrait décanté. Pour chaque segment de racine, le volume de l'extrait a été ramené à 10 ml et les densités en nématodes évaluées à partir de trois aliquots de 2 ml de la suspension.

Deux méthodes (la méthode à espèce unique et celle à espèces multiples), utilisant chacune quatre espèces de nématodes – *Meloidogyne* spp., *H. multicinctus*, *P. coffeae* et *R. similis* – ont été comparées entre elles. Dans la méthode à espèce unique, trois racines par rejet sont inoculées avec 50 nématodes d'une même espèce. Dans la méthode à espèces multiples, chaque rejet est inoculé avec quatre espèces de nématodes, soit une espèce par racine (50 nématodes) et trois racines par espèce. Chaque rejet comporte donc 12 racines inoculées, chacune inoculée avec l'une des quatre espèces de nématodes. Les essais ont été organisés selon un dispositif en randomisation totale avec six répétitions par

traitement et répétées trois fois au cours de l'année 2004.

Le taux de multiplication des nématodes, le poids frais des racines et les lésions causées aux racines ont été évalués sur les plantes inoculées et les résultats comparés entre espèces de nématodes et entre les deux traitements pour chaque espèce de nématode. L'index de nécrose racinaire (INR) a été estimé suivant une échelle de 0 à 20 (Speijer et De Waele 1997) pour chaque racine, en notant chaque moitié d'une racine coupée longitudinalement et en calculant une valeur moyenne pour les trois racines par rejet.

Les densités de populations de nématodes ont été transformées par $\log_{10}(x+1)$ avant analyse (Gomez et Gomez 1984) pour stabiliser les variances. Une procédure de modèle linéaire général (SAS Institute Inc. 1999) a été utilisée pour comparer la reproduction, le poids frais des racines et l'INR entre les racines inoculées par des espèces de nématodes différentes. Les moyennes des résultats entre les méthodes pour chaque traitement avec une espèce de nématode ont été comparées en utilisant le test T de Student avec SAS.

Résultats et discussion

Des quatre espèces de nématodes évaluées, *Meloidogyne* spp. et *H. multicinctus* ont été récoltées à des densités plus faibles que *R. similis* ou *P. coffeae* (tableau 1). Malgré ces faibles densités, des nécroses ont été observées en association avec *Meloidogyne* spp. et *H. multicinctus*. L'INR était le plus élevé pour *P. coffeae*, à la fois avec la

méthode à une espèce et la méthode à espèces multiples.

L'INR plus élevé associé à *P. coffeae* indique le haut potentiel de dégâts de ce nématode, ce qui corrobore des observations faites au Ghana sur des microparcelles (Brentu *et al.* 2004). Seules des densités limitées de *Meloidogyne* spp. au stade juvénile et de *H. multicinctus* ont été récupérées en fin d'essai. Les résultats obtenus avec *Meloidogyne* spp. sont comparables à des résultats d'études similaires d'une durée de huit semaines (Stoffelen *et al.* 1999). A notre connaissance, aucune étude similaire de criblage n'a été entreprise pour *H. multicinctus*, principalement à cause de la difficulté rencontrée pour cultiver ce nématode. A la place, des évaluations de la résistance à *H. multicinctus* ont été faites à partir d'études de terrain (par ex. Speijer *et al.* 2000, J. Hartman non publié).

Aucune différence dans la densité en nématodes et l'INR n'a été observée entre les deux méthodes pour toutes les espèces (tableau 2). L'INR pour toutes les espèces de nématodes était relativement plus élevé (mais pas significativement différent) dans la méthode à espèces multiples que dans la méthode à espèce unique. Seules des différences dans le poids frais des racines ont été observées entre les méthodes, mais pas entre les espèces de nématodes.

Le poids des racines était sans doute plus faible du fait du niveau de parasitisme de nématodes plus élevé avec la méthode à espèces multiples, avec 12 racines inoculées contre trois dans la méthode à espèce unique. Les résultats indiquent que plus d'une espèce de nématodes parasites

Tableau 1. Dommages causés par les nématodes et densité de nématodes sur le bananier plantain 'Agbagba' dix semaines après inoculation avec 50 nématodes par racine en utilisant la méthode à espèce unique (une espèce de nématode par racine et trois racines par rejet) et la méthode à espèces multiples (une espèce de nématode par racine, trois racines par espèce et quatre espèces par rejet) (n=18).

	Poids frais de segments de racines de 8 cm de long (g)	Index de nécrose racinaire (INR)	Densité en nématodes (par 5 g de racines)*
Méthode à espèce unique			
<i>Helicotylenchus multicinctus</i>	3,63	4,52	0,98 (54)
<i>Meloidogyne</i> spp. [†]	3,76	4,45	0,35 (11)
<i>Pratylenchus coffeae</i>	3,70	8,50	2,34 (2495)
<i>Radopholus similis</i>	3,69	5,25	1,34 (928)
Plus petite différence significative (P≤0,05)	ns	1,47	0,41
Méthode à espèces multiples			
<i>Helicotylenchus multicinctus</i>	1,21	5,33	0,70 (53)
<i>Meloidogyne</i> spp. [†]	1,01	5,39	0,61 (52)
<i>Pratylenchus coffeae</i>	0,91	10,44	2,03 (1423)
<i>Radopholus similis</i>	1,05	7,44	1,15 (3002)
Plus petite différence significative (P≤0,05)	ns	3,67	1,01

*Les densités en nématodes ont été transformées par $\log_{10}(x+1)$ avant analyse ; les moyennes de densités originales non transformées sont indiquées entre parenthèses.

[†]Uniquement juvéniles

ns = non significatif

Tableau 2. Valeurs du test T pour les lésions causées par les nématodes et leur densité sur le bananier plantain 'Agbagba' suivant la comparaison de la méthode à espèce unique (une espèce de nématode par racine et trois racines par rejet) avec la méthode à espèces multiples (une espèce de nématode par racine, trois racines par espèce et quatre espèces par rejet) répétée trois fois (n=18).

	Poids frais de segments de racines de 8 cm de long (g)	Index de nécrose racinaire (INR)	Densité en nématodes (par 5 g de racines)*
<i>Helicotylenchus multicinctus</i>	1,11 [†]	2,99	0,637 (57)
<i>Meloidogyne</i> spp. [‡]	1,01 [†]	3,42	0,55 (49)
<i>Pratylenchus coffeae</i>	1,06 [†]	5,11	1,017 (2399)
<i>Radopholus similis</i>	1,07 [†]	3,44	1,035 (5310)

*Les densités en nématodes ont été transformées par $\log_{10}(x+1)$ avant analyse ; les moyennes de densités originales non transformées sont indiquées entre parenthèses.

[†]Les différences entre les deux méthodes sont statistiquement significatives à $P \leq 0,05$ suivant le test T.

[‡]Uniquement juvéniles

peut être inoculée sur le même rejet, mais sur des racines différentes, pour cribler pour de la résistance. Cette méthode réduit les besoins en rejets et en surface, mais inoculer 12 racines sur un rejet n'a pas été très facile, bien que c'était possible avec le génotype 'Agbagba'. Arranger 12 petits réceptacles dans un espace relativement limité s'est révélé un défi. Les génotypes qui ont un faible potentiel de production de racines pourraient ne pas être adéquats pour tester quatre espèces de nématodes. Il faudrait sans doute utiliser un nombre moins élevé d'espèces de nématodes ou moins de racines par espèce de nématode. Une alternative pourrait être le système aéroponique décrit dans Severn-Ellis *et al.* (2003) qui pourrait diminuer partiellement l'encombrement dans les inoculations à espèces multiples. De plus, la méthode à espèces multiples pourrait se révéler problématique pour des génotypes ayant des racines fines si l'inoculation de nombreuses racines réduit encore le diamètre des racines.

Le poids des segments de racines des rejets inoculés avec quatre espèces de nématodes était plus bas que celui des segments de racines des rejets inoculés avec une espèce de nématode (tableau 3). La plupart des variables mesurées différait entre les trois essais réalisés (tableau 3).

Il est possible qu'en utilisant la méthode à espèces multiples, la résistance à une espèce de nématode puisse être supprimée à cause du stress induit par l'inoculation de nombreuses espèces de nématodes. Dans

les situations rencontrées au champ, les plants de *Musa* sont plus souvent exposés à des espèces de nématodes multiples, et il pourrait donc être bénéfique d'observer une telle rupture de résistance à un stade précoce. Il serait donc utile d'utiliser la méthode à espèces multiples pour évaluer la réaction de cultivars connus pour être résistants à une espèce donnée de nématodes. La méthode pourrait également être utilisée pour évaluer des isolats différents de la même espèce chez laquelle il est connu que des variations du pathotype se produisent, comme chez *R. similis* (Pinochet 1987, Dochez 2004).

Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à la Direction générale pour la coopération internationale (DGIC, Belgique) pour le soutien financier accordé au projet 'Breeding and Delivering Superior Plantain and Banana to Smallholders in Sub-Saharan Africa'. Idowu Rotifa et Josephine Dimkpa ont apporté une assistance inestimable. Manuscrit de l'IITA no. 05/27/JA.

Références

- Barekye A., I.M. Kashaia, E. Adipala & W.K. Tushemereirwe. 1999. Pathogenicity of *Radopholus similis* and *Helicotylenchus multicinctus* on bananas in Uganda. Pp. 319–326 in Mobilizing IPM for Sustainable Banana Production in Africa. Proceedings of a Workshop on Banana IPM held in Nelspruit, South Africa, 23-28 November 1998 (E.A. Frison, C.S. Gold, E.B. Karamura and R.A. Sikora, eds). INIBAP, Montpellier, France.

Tableau 3. Valeurs de F de l'ANOVA comparant les trois répétitions de la méthode à espèce unique (une espèce de nématode par racine et trois racines par rejet) et la méthode à espèces multiples (une espèce de nématode par racine, trois racines par espèce et quatre espèces par rejet) en utilisant le bananier plantain 'Agbagba' (n=18).

	Poids frais de segments de racines de 8 cm de long (g)	Index de nécrose racinaire (INR)	Densité en nématodes (par 5 g de racines)	Densité en nématodes (par 5 g de racines)*
Méthode à espèce unique	7,18 [†]	33,75 [†]	5,65 [†]	9,72 [†]
Méthode à espèces multiples	3,60 [†]	6,45 [†]	1,23	3,82 [†]

*Analyse utilisant des données transformées par $\log_{10}(x+1)$.

[†]Les différences entre les répétitions des essais sont statistiquement significatives à $P \leq 0,05$.

- Brentu C.F., P.R. Speijer, K.R. Green, B.M.S. Hemeng, D. De Waele & D.L. Coyne. 2004. Micro-plot evaluation of the yield reduction potential of *Pratylenchus coffeae*, *Helicotylenchus multicinctus* and *Meloidogyne javanica* on plantain cv. Apantu-pa (*Musa* spp., AAB-group) in Ghana. *Nematology* 6: 455-462.
- Bridge J. 1988. Plant-parasitic nematode problems in the Pacific Islands. *Journal of Nematology* 20:173-183.
- Bridge J. & S.L.J. Page. 1984. Plant nematode pests of crops in Papua New Guinea. *Journal of Plant Protection in the Tropics* 1:99-109.
- Colbran R.C. 1967. Hot-water tank for treatment of banana planting material. Advisory leaflet No. 924. Division of Plant Industry, Department of Primary Industries, Queensland, Australia.
- De Schutter B., P.R. Speijer, C. Dochez, A.Tenkouano & D. De Waele. 2001. Evaluating host plant reaction of *Musa* germplasm to *Radopholus similis* by inoculation of single primary roots. *Nematotica* 31:297-301.
- Dochez C. 2004. Breeding for resistance to *Radopholus similis* in East African highland bananas (*Musa* spp.). PhD thesis. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. 195pp.
- Elsen A., R. Stoffelen, N. Thi Tuyet, H. Baimey, H. Dupré de Boulois & D. De Waele. 2002. *In vitro* screening for resistance to *Radopholus similis* in *Musa* spp. *Plant Science* 163:407-416.
- Gomez K.A. & A.A. Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Gowen S.C., P. Quénehervé & R. Fogain. 2005. Nematode parasites of banana, plantain and abaca. Pp. 611-643 in *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (M. Luc, R.A. Sikora and J. Bridge, eds). 2nd ed. CAB International, Wallingford, UK.
- Pinochet J. 1987. Nematode problems in *Musa* spp.: Pathotypes of *Radopholus similis* and breeding for resistance. Pp. 66-70 in *Nematodes and the Borer Weevil in Bananas: Present status of Research and Outlook*. Proceedings of a workshop held in Bujumbura, Burundi, 7-11 December 1987. INIBAP, Montpellier, France.
- Pinochet J. 1996. Review of past research on *Musa* germplasm and nematode interactions. Pp. 32-44 in *New Frontiers in Resistance Breeding for Nematode, Fusarium and Sigatoka*. Proceedings of a workshop held in Kuala Lumpur, Malaysia, 2-5 October 1995. (E.A. Frison, J.P. Horry and D. De Waele, eds). INIBAP, Montpellier, France.
- Pinochet J., C. Fernandez & J.-L. Sarah 1995. Influence of temperature on the *in vitro* reproduction of *Pratylenchus coffeae*, *P. goodeyi* and *Radopholus similis*. *Fundamental and Applied Nematology* 18: 391-392.
- Price N.S. 1994. Field trial evaluation of nematode susceptibility within *Musa*. *Fundamental and Applied Nematology* 17:391-396.
- Statistical Analysis Systems Institute. 1999. SAS User's Guide. SAS Institute SAS STAT User's guide Version 8, volume 2. Cary, NC, USA.
- Severn-Ellis A.A., M. Daneel, K. de Jager & D. De Waele. 2003. Développement d'un système de culture aéroponique pour étudier la réaction des racines de bananier à une infection par *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* et *Radopholus similis*. *INFOMUSA* 12(1):22-24.
- Speijer P.R. & D. De Waele. 1997. Evaluation du matériel génétique de *Musa* pour la résistance aux nématodes. Guides techniques INIBAP 1. INIBAP, Montpellier, France. 47pp.
- Speijer P.R. & R. Fogain. 1999. *Musa* and *Ensete* nematode pest status in Africa. Pp. 99-118 in *Mobilizing IPM for Sustainable Banana Production in Africa*. Proceedings of a workshop on banana IPM held in Nelspruit, South Africa, 23-28 November 1998 (E.B. Karamura and C.S. Gold, eds). INIBAP, Montpellier, France.
- Speijer P.R., M.O. Rotimi & D. De Waele. 2001. Plant parasitic nematodes associated with plantain (*Musa* spp., AAB-group) in southern Nigeria and their relative importance compared to other biotic constraints. *Nematology* 3:423-436.
- Speijer P.R., F. Ssango & D. Vuylsteke. 2000. Evaluation of host plant response to nematodes in *Musa* germplasm in Uganda. Pp. 225-232 in *Proceedings of the First International Conference on Banana and Plantain for Africa*, Kampala, Uganda, 14-18 October 1996 (K. Craenen, R. Ortiz, E.B. Karamura and D.R. Vuylsteke, eds). *Acta Horticulturae* 540:225-232.
- Ssango F., P.R. Speijer, D.L. Coyne & D. De Waele. 2004. Path analysis: a novel approach to determine the contribution of nematode damage to East African Highland banana (*Musa* spp., AAA) yield loss under two crop management practices in Uganda. *Field Crops Research* 90:177-187.
- Stoffelen R., R. Verlinden, N.T. Xuyen, R. Swennen & D. De Waele. 1999. Criblage de bananiers de Papouasie Nouvelle Guinée vis à vis des nématodes à lésions et des nématodes à galle. *INFOMUSA* 8(1):12-15.
- Stover R.H. 1972. Banana, Plantain and Abaca Diseases. Commonwealth Mycological Institute, UK.
- Sundararaju P. 2001. Recherches sur les nématodes au Centre national de recherche sur le bananier en Inde. *PROMUS@* 10:18-20.
- Van den Bergh I., D. De Waele, H.H. Nhi, D.T.M. Nguyet, N.T. Tuyet & T.T. Doan. 2000. Evaluation en serre de la résistance/tolérance de matériel génétique vietnamien de *Musa* aux nématodes à galles et à lésions. *INFOMUSA* 9(1):8-11.

Danny L. Coyne travaille à l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Oyo Road, Ibadan, Nigeria, et **Abdou Tenkouano** à l'IITA, BP 2008 (Messa), Yaoundé, Cameroun, a.tenkouano@cgiar.org.
Auteur pour correspondance : d.coyne@cgiar.org

L'effet du stress oxydant sur les cultivars 'Berangan' et 'Mas'

Chai Tsun-Thai, Nor'Aini M. Fadzillah, M. Kusnan et M. Mahmood

Dans les plantes supérieures, la production en excès de formes oxygénées activées (ROS – *reactive oxygen species*), telles que le peroxyde d'hydrogène et les radicaux hydroxyle, est une caractéristique intrinsèque du métabolisme soumis à divers stress abiotiques. Quand les ROS ne sont pas correctement éliminés, il se produit souvent un stress oxydant, caractérisé par des réactions délétères entre les ROS et des macromolécules importantes, comme les protéines, les lipides et l'ADN, qui peuvent provoquer des lésions cellulaires (Inze et Van Montagu 1995).

Les études réalisées sur diverses espèces cultivées ont révélé que les plantes tolérantes au stress sont généralement dotées de bons systèmes de défense contre l'oxydation (Jagtap et Bhargava 1995, Sairam *et al.* 1998). De même, les plantes transgéniques produisant en excès des enzymes antioxydantes, telles que la superoxyde dismutase et la glutathion réductase, ont aussi présenté une meilleure tolérance au stress (Allen *et al.* 1997, Aono *et al.* 1995). L'objectif de ces travaux était d'étudier la tolérance de plants de bananiers au stress oxydant, un sujet peu étudié.

'Berangan' (AAA) et 'Mas' (AA), deux des principaux cultivars bananiers de Malaisie, ont été utilisés pour cette étude. 'Mas' est la banane dessert la plus appréciée avec une consommation annuelle de 2,7 kg par personne. La variété 'Berangan' se situe au troisième rang avec une consommation annuelle de 0,5 kg par personne, mais c'est aussi la banane dessert la plus exportée par la Malaisie (Rohizad 1999).

Matériels et méthodes

Des plantules de 'Berangan' et 'Mas' cultivées *in vitro* ont été préparées en suivant la méthode de Novak *et al.* (1985), avec quelques modifications mineures. Les rejets lancéolés ont été la source des apex pour l'initiation de la culture. Les rejets sains ont été collectés dans un champ situé à environ 600 m du laboratoire de l'*Universiti Putra Malaysia*. Les rejets collectés ont été rapidement transportés au laboratoire en moto, un trajet qui a pris cinq minutes.

Pour la préparation des milieux d'initiation de la culture, le milieu de base de Murashige et Skoog (1962) a été enrichi avec 1 mg/L de thiamine, 100 mg/L d'inositol, 30 g/L de sucrose, 10 μ M de 6-benzylaminopurine (BAP) et 5 μ M d'acide indole-3-acétique (AIA). Le milieu de culture a été solidifié avec de l'agar à

5 g/L et le pH ajusté à 5,8 avant la stérilisation en autoclave. Le milieu de multiplication était semblable au milieu d'initiation de la culture, hormis l'ajout de 20 μ M de BAP et la suppression de l'AIA. Le milieu d'enracinement était analogue au milieu d'initiation, moins la BAP. Les cultures en milieu semi-solide ont été placées à $25 \pm 2^\circ\text{C}$ avec une photopériode de 12h/12h (lumière/obscurité) et une densité de flux de photons photosynthétiques de $65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Les cultures en milieu liquide ont été placées sur un agitateur orbital (50 t/m) et incubées à $25 \pm 2^\circ\text{C}$, avec une photopériode de 12h/12h (lumière/obscurité) et un flux de photons photosynthétiques de $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Pour le démarrage de la culture, les apex des deux cultivars ont été placés dans le milieu d'initiation pendant trois semaines. Les cultures initiées ont ensuite été transférées dans le milieu de multiplication et repiquées toutes les trois semaines. Puis les pousses ont été placées deux fois quatre semaines dans le milieu d'enracinement.

Pour induire le stress oxydant, des plantules uniformes (avec trois feuilles complètement développées et les racines émondées) ont été traitées avec 10 ml d'une solution de paraquat (méthylviologène, catalogue N° M-2254, Sigma) à 10, 20 et 40 μ M. Le paraquat est réputé induire un stress oxydant dans les cellules végétales en accroissant la production de radicaux superoxyde dans le chloroplaste (McKersie et Leshem 1994). La solution témoin était de l'eau déionisée. Les plantules ont été mises dans un agitateur orbital (50 t/min) et incubées à $25 \pm 2^\circ\text{C}$, avec une photopériode de 12h/12h (lumière/obscurité) et un flux de photons photosynthétiques de $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Après 24 heures, la troisième feuille de chaque plantule a servi aux analyses biochimiques.

La concentration en malonaldéhyde (MDA) et la libération relative d'électrolytes ont été mesurées pour comparer la tolérance au stress oxydant des cultivars. La concentration en MDA a été déterminée suivant les indications de Chai *et al.* (1999). La libération relative d'électrolytes indique le degré de perméabilité de la membrane cellulaire. L'hypothèse est que la dégradation et la porosité de la membrane cellulaire entraîneront une augmentation de la libération des solutés cytoplasmiques dans le milieu aqueux dans lequel le tissu foliaire est immergé (Prasil et Zambien 1998). La libération relative d'électrolytes dans des morceaux

de feuille (1 cm x 0.5 cm) a été déterminée en suivant la méthode de Kraus et Fletcher (1994). Les morceaux ont été placés, pendant 24 heures, dans des tubes à essais contenant de l'eau déionisée puis la conductivité (c_1) a été mesurée. Les tubes à essais ont alors été plongés dans de l'eau bouillante pendant 20 minutes et la conductivité (c_2) a de nouveau été mesurée. La libération relative d'électrolytes est le rapport de c_1 sur c_2 .

Le rôle de certaines enzymes antioxydantes réputées conférer une tolérance au stress oxydant a également été examiné. La superoxyde dismutase (SOD) est une enzyme contenant des métaux qui élimine les radicaux superoxyde dans les cellules végétales (Inze et Van Montagu 1995). L'activité de la SOD permet de mesurer la capacité de l'enzyme à inhiber la réduction du nitrobleu de tétrazolium (NBT) par des radicaux superoxyde (Beauchamp et Fridovich 1971). Les tissus foliaires ont été homogénéisés avec une solution tampon de phosphate de potassium à 50 mM (pH 7,0) contenant du polyvinylpyrrolidone à 1% et l'activité de la SOD a été mesurée dans le surnageant de l'homogénat centrifugé. Une unité de l'activité de la SOD est équivalente à une baisse de 50% du taux de référence de réduction du NBT dans l'échantillon témoin. Le taux de référence de réduction du NTB a été déterminé en remplaçant le surnageant par un volume égal de solution tampon de phosphate de potassium à 50 mM (pH 7,8). Le contenu total en protéines du surnageant a été établi selon la méthode décrite par Bradford (1976).

L'ascorbate peroxydase (APX) est considérée comme étant l'enzyme la plus importante pour extraire le peroxyde d'hydrogène dans le cytosol et le chloroplaste des cellules végétales (Inze et Van Montagu 1995). L'activité de l'APX permet de mesurer la capacité de l'enzyme à oxyder l'acide ascorbique en présence de peroxyde d'hydrogène (Nakano et Asada 1980). Les tissus foliaires ont été homogénéisés à l'aide d'une solution tampon de phosphate de potassium à 50 mM (pH 7,0) contenant du polyvinylpyrrolidone à 1% et de l'acide ascorbique à 1 mM. L'activité de l'APX a été mesurée dans le surnageant de l'homogénat centrifugé. Le contenu total en protéines du surnageant a été déterminé suivant la méthode décrite par Bradford (1976).

La glutathion réductase (GR) catalyse la réduction du glutathion oxydé (GSSG) qui donne du glutathion réduit (GSH), un important antioxydant cellulaire (McKersie et Leshem 1994). L'activité de la GR permet de mesurer la capacité de l'enzyme à oxyder le NADPH avec un apport de GSSG (Hodges *et al.* 1997). Les tissus foliaires ont été homogénéisés avec une solution tampon de phosphate de

potassium à 50 mM (pH 7,0) contenant du polyvinylpyrrolidone à 1% et de l'EDTA à 0,01 mM. L'activité de la GR a été mesurée dans le surnageant de l'homogénat centrifugé. Le contenu total en protéines du surnageant a été déterminé suivant la méthode décrite par Bradford (1976).

La catalase (CAT) est une enzyme peroxysomale qui élimine le peroxyde d'hydrogène (Inze et Van Montagu 1995). L'activité de la CAT permet de mesurer la capacité de l'enzyme à décomposer le peroxyde d'hydrogène (Fadzilla *et al.* 1997). Les tissus foliaires ont été homogénéisés avec une solution tampon de phosphate de potassium à 50 mM (pH 7,0). L'activité de la CAT a été mesurée dans le surnageant de l'homogénat centrifugé. Le contenu total en protéines du surnageant a été déterminé suivant la méthode décrite par Bradford (1976).

Les résultats se présentent sous la forme de moyennes et d'écarts type pour les quatre expériences répétées et le test de Student a servi à évaluer les différences entre les traitements et les cultivars.

Résultats et discussion

Le paraquat a augmenté la concentration de MDA dans les cellules foliaires des plantules de 'Berangan' et 'Mas' (tableau 1). Le MDA, un produit issu de la peroxydation des lipides membranaires, est considéré comme étant un marqueur des lésions par oxydation (Zhang and Kirkham 1996) et une augmentation de sa concentration indique que l'induction du stress oxydant a réussi. Le fait que les doses de MDA soient plus fortes dans 'Mas' que dans 'Berangan' montre également que 'Berangan' est plus tolérant aux lésions oxydantes.

Bien que le degré de peroxydation des lipides soit plus élevé dans les plantules de 'Berangan' traitées avec du paraquat à 10 μ M et 20 μ M et dans celles de 'Mas' traitées avec du paraquat à 10 μ M, la libération relative d'électrolytes n'a pas sensiblement varié avec ces traitements (tableau 1). L'augmentation des concentrations de MDA constatée dans ces plantules peut pour une large part s'expliquer par une plus forte peroxydation des lipides à l'intérieur des cellules foliaires. Toutefois, la perte d'intégrité de la membrane cellulaire observée dans les plantules de 'Mas' traitées avec du paraquat à 20 μ M et 40 μ M, dans lesquelles une augmentation importante de la concentration de MDA a été accompagnée par une forte hausse de la libération relative d'électrolytes, donne à penser que la peroxydation des lipides s'est étendue à partir de composants de la cellule, comme les chloroplastes, à la membrane plasmique.

Tableau 1. Concentration du malondaldéhyde (MDA) et libération relative d'électrolytes dans les cellules foliaires de 'Berangan' et de 'Mas' après un traitement de 24 heures à différentes concentrations de paraquat (n= 4).

Concentration de paraquat (µM)	Malondaldéhyde (nmole/g de poids frais)		Fuite relative d'électrolyte (%)	
	Berangan	Mas	Berangan	Mas
0	10.4 ± 0.8*a	16.6 ± 0.6**a	7.0 ± 0.2*a	7.1 ± 0.1*a
10	15.7 ± 0.9*b	22.8 ± 2.2**b	7.1 ± 0.2*a	7.1 ± 0.3*a
20	22.7 ± 1.4*c	29.4 ± 1.9**c	7.0 ± 0.2*a	8.7 ± 0.4**b
40	17.2 ± 0.7*b	25.6 ± 1.3**bc	5.8 ± 0.1*b	7.9 ± 0.3**b

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement à P < 0,05 d'après le test de Student. Sur chaque ligne, les différences significatives à P < 0,05 d'après le test de Student sont indiquées par un nombre différent d'astérisques.

Le fait que la libération relative d'électrolytes soit sensiblement moins importante dans les plantules de 'Berangan' que dans celles de 'Mas' traitées avec du paraquat à 20 µM et 40 µM indique que la membrane plasmique chez 'Berangan' a subi moins de lésions, ce qui concorde avec la constatation que cette variété est plus tolérante au stress oxydant.

L'activité de la SOD a été sensiblement plus importante dans les plantules de 'Berangan' que dans celles de 'Mas' (tableau 2), ce qui montre que 'Berangan' a une meilleure aptitude à éliminer les radicaux superoxyde. Nos résultats concordent avec les précédentes observations selon lesquelles l'activité de la SOD est associée à un renforcement de la protection contre les lésions oxydantes (Van Camp *et al.* 1996, Sen Gupta *et al.* 1993).

L'activité de l'APX dans les plantules de 'Berangan' soumises à un stress oxydant a été sensiblement plus forte que dans celles du groupe témoin tandis qu'elle est restée inchangée ou a été réduite dans les plantules de 'Mas' (tableau 2). Pour ce qui est des différences entre les cultivars, l'activité de l'APX a été plus

importante dans 'Berangan', ce qui donne à penser que cette variété détoxifie mieux que 'Mas' le peroxyde d'hydrogène.

Chez 'Berangan', la plus grande activité de l'APX a été clairement mise en rapport avec la plus forte protection contre les lésions oxydantes. Par ailleurs, l'activité de l'APX, qui a été réduite ou inchangée chez 'Mas' traité avec du paraquat à 20 µM et 40 µM, peut avoir contribué à l'accumulation de peroxyde d'hydrogène dans les cellules foliaires, laquelle a entraîné la baisse de l'activité de la SOD observée à ces concentrations. Selon Casano *et al.* (1997), l'activité de la SOD peut être inhibée par le peroxyde d'hydrogène. Une action réelle d'élimination et la préservation de l'activité de la SOD dépendent en partie du fonctionnement du système d'extraction du peroxyde d'hydrogène dans les cellules végétales.

L'activité de la GR mesurée dans les plantules de 'Berangan' a été sensiblement plus forte que dans celles de 'Mas' (tableau 3). Dans les plantes génétiquement modifiées pour réaliser la surexpression de la GR, une corrélation positive a été observée entre l'activité de la GR

Tableau 2. Activité de la superoxyde dismutase (SOD) et de l'ascorbate peroxydase (APX) dans les cellules foliaires de 'Berangan' et de 'Mas' après un traitement de 24 heures à différentes concentrations de paraquat (n= 4).

Concentration de paraquat (µM)	Superoxyde dismutase (unité d'activité/mg de protéine)		Ascorbate peroxydase (µmole d'ascorbate oxydé par heure et par mg de protéine)	
	Berangan	Mas	Berangan	Mas
0	180,4 ± 15,9*a	95,4 ± 4,4**a	233,3 ± 4,4*a	211,36 ± 7,6**a
10	202,6 ± 14,6*a	123,2 ± 2,0**b	310,8 ± 24,3*b	220,1 ± 8,3**a
20	218,7 ± 20,2*a	80,3 ± 1,8**c	273,0 ± 14,2*b	191,0 ± 2,2**b
40	272,5 ± 13,0*b	67,2 ± 2,1**d	295,5 ± 21,2*b	194,8 ± 16,2**ab

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement à P < 0,05, d'après le test de Student. Sur chaque ligne, les différences significatives à P < 0,05 d'après le test de Student sont indiquées par un nombre différent d'astérisques.

Tableau 3. Activité de la glutathion réductase (GR) et de la catalase (CAT) dans les cellules foliaires de 'Berangan' et de 'Mas' après un traitement de 24 heures à différentes concentrations de paraquat (n= 4).

Concentration de paraquat (µM)	Glutathion réductase (µmole de NADPH oxydé par heure et par mg of protéine)		Catalase (µmole de H ₂ O ₂ consommée par minute et par mg de protéine)	
	Berangan	Mas	Berangan	Mas
0	3,1 ± 0,1*a	2,6 ± 0,1**a	28,2 ± 4,5*a	57,8 ± 4,8**a
10	2,8 ± 0,1*a	2,1 ± 0,1**b	25,5 ± 2,7*ab	35,0 ± 0,9**b
20	3,8 ± 0,3*b	2,6 ± 0,1**a	31,0 ± 4,8*a	58,2 ± 2,5**a
40	3,9 ± 0,1*b	3,3 ± 0,1**c	16,6 ± 0,9*b	75,6 ± 2,5**c

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement à P < 0,05, d'après le test de Student. Sur chaque ligne, les différences significatives à P < 0,05 d'après le test de Student sont indiquées par un nombre différent d'astérisques.

et la tolérance au stress oxydant induit par du paraquat (Allen *et al.* 1997).

Par ailleurs, l'activité de la CAT a été moins importante dans 'Berangan' que dans 'Mas' (tableau 3) bien que 'Berangan' ait été mieux protégé contre le stress oxydant induit par le paraquat que 'Mas'. Nos résultats montrent que l'augmentation de l'activité de la CAT n'est pas liée à la baisse des concentrations de MDA ni à celle de la libération relative d'électrolytes. Etant donné que le paraquat provoque un stress oxydant dans le chloroplaste (McKersie et Leshem 1994), il est possible que la compartimentation de la catalase dans les peroxysomes ait limité le rôle que joue l'enzyme pour restreindre la production de peroxyde d'hydrogène dans les plantes soumises au stress oxydant.

Nos résultats mettent en évidence que 'Berangan' est plus tolérant au stress oxydant que 'Mas', comme l'a montré la plus forte activité de la SOD, de l'APX et de la GR. D'autres recherches en laboratoire et dans des conditions naturelles sont nécessaires pour confirmer la contribution de ces enzymes à la tolérance. Il serait intéressant de déterminer s'il y a une corrélation entre un accroissement de la capacité antioxydante et de meilleures chances de survie ou une plus forte croissance quand les plants de bananiers sont exposés à un stress.

La luzerne transgénique modifiée pour produire en excès de la SOD est moins sensible à un manque d'eau et à de très basses températures, dans des conditions naturelles (McKersie *et al.* 1996, McKersie *et al.* 1999). Il est possible que le renforcement, par des manipulations génétiques, du système de défense contre l'oxydation permette de produire des plantes plus tolérantes. Sur la base de nos résultats, nous proposons qu'une attention particulière soit portée à l'APX, la SOD et au GR, en tant qu'enzymes antioxydantes, dans les programmes de recherche en génie génétique visant à améliorer la tolérance au stress abiotique des cultivars de bananiers.

Remerciements

Ces travaux ont bénéficié d'un financement du ministère des Sciences, de la Technologie et de l'Environnement de Malaisie.

Références

Allen R.D., R.P. Webb & S.A. Schake. 1997. Use of transgenic plants to study antioxidant defences. *Free Radical Biology and Medicine* 23:473-479.

Aono M., H. Saji, A. Sakamoto, K. Tanaka, N. Kondo & K. Tanaka. 1995. Paraquat tolerance of transgenic *Nicotiana tabacum* with enhanced activities of glutathione reductase and superoxide dismutase. *Plant and Cell Physiology* 36:1687-1691.

Beauchamp C. & I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable

to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* 44:276-287.

Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254.

Casano L.M., L.D. Gomez, H.R. Lascano, C.A. Gonzales & V.S. Trippi. 1997. Inactivation and degradation of CuZn-SOD by active oxygen species in wheat chloroplast exposed to photooxidative stress. *Plant and Cell Physiology* 38(4):433-440.

Chai T.T., N.M. Fadzillah, M. Kusnan & M. Mahmood. 1999. Induction of oxidative stress in *Musa* sp. (variety Berangan) by paraquat treatments. Pp. 186-190 in *Proceedings of the First national banana seminar* (Z. Wahab, M.T.M. Mohamed, S.K. Daud, N.M. Fadzillah & M. Mahmood, eds). Universiti Putra Malaysia, Universiti Malaya and MARDI, Malaysia.

Fadzillah N.M., R.P. Finch & R.H. Burdon. 1997. Salinity, oxidative stress and antioxidant response in shoot cultures of rice. *Journal of Experimental Botany* 48: 325-331.

Hodges D.M., C.J. Andrews, D.A. Johnson & R.I. Hamilton. 1997. Antioxidant enzyme responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines. *Journal of Experimental Botany* 48:1105-1113.

Inze D. & M. Van Montagu. 1995. Oxidative stress in plants. *Current Opinion in Biotechnology* 6:153-158.

Jagtap V. & S. Bhargava. 1995. Variation in the antioxidant metabolism of drought tolerant and drought susceptible varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench exposed to high light, low water, and high temperature stress. *Journal of Plant Physiology* 145: 195-197.

Kraus T.E. & R.A. Fletcher. 1994. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved? *Plant and Cell Physiology* 35:45-52.

McKersie B.D. & Y.Y. Leshem. 1994. *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

McKersie B.D., S.R. Bowley, E. Harjanto & O. Leprince. 1996. Water-deficit tolerance and field performance of transgenic alfalfa overexpressing superoxide dismutase. *Plant Physiology* 111:1177-1181.

McKersie B.D., S.R. Bowley & K.S. Jones. 1999. Winter survival of transgenic alfalfa overexpressing superoxide dismutase. *Plant Physiology* 119: 839-848.

Murashige T. & F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15:473-497.

Nakano Y. & K. Asada. 1980. Spinach chloroplasts scavenge hydrogen peroxide on illumination. *Plant and Cell Physiology* 21:1295-1307.

Novak F.J., R. Afza, V. Phadivibulya, T. Hermelin, H. Brunner & B. Donini. 1985. Micropropagation and radiation sensitivity in shoot-tip cultures of banana and plantain. Pp.167-174 in *Nuclear Techniques and In Vitro Culture for Plant Improvement*. AIEA, Vienna.

Prasil I. & J. Zamecnik. 1998. The use of conductivity measurement method for assessing freezing injury. I. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. *Environmental and Experimental Botany* 40:1-10.

Rohizad R. 1999. 'Potensi and promosi pasaran pisang Malaysia' (The potential and promotion of Malaysian bananas). Pp. 9-38 in *Proceedings of the First national banana seminar* (Z. Wahab, M.T.M. Mohamed, S.K. Daud, N.M. Fadzillah & M. Mahmood,

Chai Tsun-Thai travaille à l'Ecole des Sciences et des Mathématiques, Collège INTI, Bandar Baru Nilai, 71800 Negeri Sembilan, Malaisie, courrier électronique: chaitsunthai@yahoo.com.

Nor'Aini M. Fadzillah, Misri Kusnan et Marziah Mahmood travaillent à la Faculté des Sciences et des Etudes de l'Environnement, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Malaisie.

eds). Universiti Putra Malasia, Universiti Malaya and MARDI, Malaysia.

Sairam R.K., D.S. Shukla & D.C. Saxena. 1998. Stress induced injury and antioxidant enzymes in relation to drought tolerance in wheat genotypes. *Biologia Plantarum* 40:357-364.

Sen Gupta A., R.P. Webb, A.S. Holaday & R.D. Allen. 1993. Overexpression of superoxide dismutase

protects plants from oxidative stress. *Plant Physiology* 103:1067-1073.

Van Camp W., K. Capiou, M. Van Montagu, D. Inze & L. Slioten. 1996. Enhancement of oxidative stress tolerance in transgenic tobacco plants overproducing Fe-superoxide dismutase in chloroplast. *Plant Physiology* 112:1703-1714.

Le point sur...

Des enfants des rues devenus cultivateurs de bananes

I. Van den Bergh, M.A.G. Maghuyop, K.H. Borromeo, V.N. Roa et A.B. Molina

En février 2003, le bureau régional de l'INIBAP pour l'Asie et le Pacifique a été approché par un volontaire belge travaillant pour la fondation Virlian, une ONG française s'occupant de 300 enfants des rues philippins dans 11 foyers à Manille et une ferme à Balayan, à deux heures de voiture de Manille. La fondation recherchait le soutien de l'INIBAP pour son programme *Buhay Kalikasan* (vivre avec la nature) qui inculque les rudiments de l'agriculture aux enfants dont elle s'occupe à la campagne.

Après une visite à la ferme de Bulayan, l'INIBAP a donné son accord pour fournir aux agriculteurs en herbe des plantules saines de trois bananiers hybrides (FHIA-18, FHIA-23 et FHIA-25) ainsi que de deux cultivars locaux très prisés ('Lakatan' et 'Bungolan'). De plus, Telesforo J. Caminsi, le responsable du projet, l'agronome Eddie Ynion et quatre des jeunes adultes ont suivi l'une des formations pratiques de l'INIBAP sur la gestion en pépinière et au champ de plantules issues de culture de tissus (Figure 1).

Après la formation, l'endroit a été préparé pour l'arrivée, en mai 2003, des plantules issues de culture de tissus. Les jeunes gens

ont converti l'ossature d'un vieux bâtiment en une serre pour y cultiver les petites plantules jusqu'à ce qu'elles puissent être plantées au champ en sécurité en août.

Deux ans plus tard, la parcelle de terrain stérile avait été transformée en une bananeraie florissante. Aussi loin que porte le regard, on peut voir des plants de bananiers sains portant de lourds régimes (Figure 2).

Une telle métamorphose n'est pas passée inaperçue aux yeux des fermiers locaux qui, au début, se montraient très sceptiques vis-à-vis du projet. Balayan se trouve dans une région qui était renommée pour ses bananes jusqu'à la fin des années 90, moment où la production fut abandonnée à cause de la dissémination rapide du virus du bunchy top du bananier. Les paysans avaient des difficultés à croire que des



Figure 1. Participants à la formation de l'INIBAP sur la gestion des plantules de bananier (de droite à gauche, l'agronome du projet Virlian, Eddie Ynion, la scientifique du gouvernement philippin, Edna Anit, et le responsable du projet, Telesforo J. Caminsi, second en partant de la gauche) avec d'anciens enfants des rues.



Figure 2. Eddie Ynion et Maria Angeli Maghuyop, de l'INIBAP, discutent de la gestion au champ à l'ombre de bananiers de la variété 'Lakatan'.

plantules à l'aspect fragile réussiraient là où les rejets, le matériel de plantation traditionnel, avaient échoué. Mais du matériel sain qui avait été contrôlé pour l'absence de virus était exactement ce qu'il fallait pour recommencer.

La maladie est encore observée occasionnellement. Lorsque cela arrive, les garçons se débarrassent immédiatement des plantes malades, comme on leur a dit de le faire, et ce simple geste aide à maintenir la maladie sous contrôle. Ayant vu ce qu'une bonne gestion et du matériel sain pouvaient faire, de nombreux paysans ont exprimé leur intérêt d'acheter des plantules issues de culture de tissus.

Les bananes profitent à tout le monde à Virilanie. Les foyers de Manille achètent leurs bananes à la ferme de Balayan à 25% en dessous du prix du marché, ce qui convient aux jeunes paysans qui aiment avoir des acheteurs réguliers et fiables pour leurs bananes. De leur côté, les enfants de la ville reçoivent un approvisionnement régulier de nourriture saine et riche.

'Lakatan', avec son goût sucré, est toujours la variété locale favorite. La variété introduite FHIA-23, un hybride proche de la banane 'Gros Michel', arrive en seconde position, sauf chez les volontaires étrangers travaillant à Virilanie qui la préfèrent aux autres variétés. Une autre caractéristique attractive de FHIA-23 est son gros régime. FHIA-18, une banane à cuire,

est mangée comme un snack, soit bouillie ou frite. Dans le cadre du projet, les garçons recevront bientôt une formation à la *Cavite State University* sur la manière de transformer les bananes FHIA-18 en chips.

Le projet est un succès non seulement auprès des jeunes fermiers de Virilanie (Figure 3), qui veulent tester d'autres nouveaux hybrides, mais également auprès des agriculteurs locaux qui veulent se remettre à la production de la banane.



Figure 3. D'anciens enfants des rues dégustent des bananes bien méritées après une journée de travail à la ferme de Virilanie à Balayan.

Les auteurs travaillent au bureau régional de l'INIBAP pour l'Asie et le Pacifique à Los Baños, aux Philippines. Pour de plus amples informations, contactez i.vandenbergh@cgiar.org ou visitez le site Web de VIRLANIE : www.virilanie.org

La sauvegarde de la diversité des bananiers

Un nouvel effort est en cours pour promouvoir l'utilisation de la diversité de *Musa* sous la forme d'une stratégie globale de conservation du bananier et du bananier plantain.

Les programmes d'amélioration existants utilisent seulement une fraction de la diversité génétique cachée dans les espèces sauvages et cultivées de *Musa*. Par exemple, l'écologie de différentes espèces sauvages suggère que des sources de résistance aux stress abiotiques existent chez les *Eumusa* à la périphérie nord de leur aire de distribution, incluant des mécanismes de tolérance au froid (*Musa sikkimensis*, *Musa basjoo*, *Musa thomsonii*), à l'exploitation dans l'eau (*Musa itinerans*) et à la sécheresse (*Musa balbisiana*, *Musa nagensium*). Des récentes expéditions de collecte dans le nord de l'Inde et en Malaisie laissent supposer que d'autres zones de diversité peu connues ou inexplorées ont de grandes chances d'abriter d'autres caractéristiques agronomiquement intéressantes. De plus, le développement, par

des initiatives telles que le Consortium global sur la génomique de *Musa*, d'outils moléculaires puissants offre une opportunité sans précédent d'utiliser la diversité disponible dans les *Musa* sauvages et cultivés.

La vaste majorité de la diversité de *Musa*, au moins sous sa forme cultivée, est conservée dans les quelques 60 collections nationales dédiées à *Musa*. Plus de 6000 accessions sont maintenues dans des collections en champ et 3000 autres sont conservées sous la forme de plantules dans des tubes à essais (collections *in vitro*). La collection mondiale de *Musa* du Centre de transit de l'INIBAP (ITC), hébergée par la *Katholieke Universiteit Leuven* en Belgique, contient près de 1200 accessions sous forme de plantules et est en train de réjuveniliser et de cryoconserver la collection entière. Une nouvelle collection de feuilles lyophilisées est également en cours de mise en place afin de fournir des échantillons pour la recherche moléculaire.

Le point sur...

Les sélectionneurs ont besoin de la diversité génétique qui est conservée dans les banques de gènes pour développer des cultivars qui pourront supporter des stress biotiques et abiotiques tels que la sécheresse.

Richard Markham/Inibap



Au niveau mondial, l'ITC assure, au meilleur coût possible, la conservation à long terme et fournit un nombre limité d'échantillons d'un large éventail de matériel génétique qui est garanti exempt de ravageurs et de maladies. Cependant, il n'y a pas de réseau reconnu de collections nationales ou régionales qui collaborent entre elles. A la place, il y a de nombreuses collections nationales, dont certaines sont renommées pour leur richesse ou pour les recherches, l'expertise, les services ou le renforcement des capacités qu'elles fournissent. Des forums travaillant en réseau existent sous la forme des réseaux régionaux de recherche sur les bananiers et des groupes thématiques du Programme international d'amélioration des *Musa* (ProMusa). En complément, le Système d'information sur le matériel génétique de *Musa* (MGIS) fournit un modèle pour l'échange d'informations. Cependant, les besoins en matériel génétique au niveau régional ou national ne sont pas assurés dans le système actuel. De nombreuses collections nationales, particulièrement celles auxquelles peu de ressources sont allouées en Afrique, en Asie et dans le Pacifique, sont loin de fonctionner d'une manière optimale : un nombre significatif d'accessions sont malades ou perdues, les mécanismes d'échange de matériel génétique sont inadéquats et la communauté des usagers n'est pas aussi bien servie qu'elle pourrait l'être.

Dans une enquête réalisée en 2005, sur les 28 collections qui ont répondu, 62% ont dit qu'une partie de leur collection (10-25% ou plus) se détériorait à cause de limitations de gestion ; 69% ont déclaré que la capacité existante en personnel expérimenté était insuffisante pour leurs besoins de conservation à long terme. Quand on leur a demandé quels

étaient leurs besoins supplémentaires en ressources humaines, plus de la moitié des collections ont spécifié un appui technique pour la caractérisation ; environ un tiers a demandé un appui pour la gestion générale de leurs collections en champ et/ou *in vitro*. Se greffe directement à cela le problème du manque d'utilisation des collections, que l'on peut illustrer avec l'exemple de l'ITC, dont 70% des accessions n'ont jamais été demandées et restent inutilisées. Bien que la collection entière ait été indexée pour les virus, la demande de matériel génétique n'a pas augmenté. Les chercheurs et les planteurs demandent de la diversité et cependant, de nombreuses collections nationales et de grandes parties des collections les plus importantes sont sous-utilisées. Aussi longtemps que la diversité restera inutilisée, la gestion des collections et les investissements réalisés risquent d'être compromis.

Les experts en taxonomie, les sélectionneurs et les chercheurs attribuent une grande part du problème de la sous utilisation à une documentation inadéquate. De nombreuses collections de *Musa*, y compris la collection de l'ITC, n'ont pas été documentées de manière systématique ; seules des données limitées de caractérisation et d'évaluation sont disponibles et les informations peuvent être disséminées entre plusieurs instituts. Les descripteurs pour le bananier (*Musa* spp.) de l'IPGRI-INIBAP/CIRAD sont souvent appliqués de manière inefficace dans les cas où les gestionnaires de collections travaillent dans l'isolement et avec une formation réduite. Selon l'enquête, une collection est en moyenne décrite à 45% en utilisant l'ensemble ou seulement une partie des descripteurs. Alors que le Programme international d'évaluation des *Musa* a fait des progrès en évaluant des

variétés élités de *Musa* dans des sites multiples, la qualité des données fournies à la fois en réponse à l'étude et au MGIS illustre le fait que certains efforts de caractérisation ne sont pas à la hauteur des standards scientifiques.

Malgré les contraintes révélées par l'enquête, la communauté de chercheurs travaillant sur le bananier dispose d'importantes collections et ressources. Ces forces forment la base de la Stratégie globale de conservation de *Musa*, dont l'INIBAP coordonne le développement. Le projet a été initié en réponse à une demande du Fonds fiduciaire mondial pour la diversité des cultures (GCDT), un fonds issu de donations nouvellement lancé par la FAO et le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale pour soutenir la conservation à long terme des plantes cultivées citées dans l'Annexe 1 du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Le démarrage du processus de mise en place de la stratégie fournit l'impulsion pour coordonner les efforts et réunir les experts des différentes disciplines, incluant des biologistes moléculaires et des taxonomistes ainsi que des membres des réseaux régionaux, afin de prendre en considération les contraintes

à la conservation de *Musa* et voir comment les surmonter. Le modèle de travail actuel (Figure 1) prend en compte la collection mondiale de l'ITC et le rôle de plusieurs collections "reconnues internationalement" qui fournissent des services variés à la fois à l'ITC et aux collections nationales.

Il est également reconnu que le succès de la stratégie dépend d'une véritable collaboration entre une large gamme de collections nationales, de l'évidence du bénéfice que pourront tirer ces collections de leur implication et de la fourniture d'un investissement véritable au niveau national. Plutôt que de fournir un appui aux besoins individuels de chaque collection, une initiative mondiale offre l'opportunité d'utiliser des ressources centralisées pour résoudre des problèmes communs et des goulots d'étranglement spécifiques dans le système.

A l'heure actuelle, la version préliminaire de la stratégie circule au sein des réseaux régionaux dans l'objectif d'identifier les collections à soutenir en priorité par le GCDT et de former un plan d'action détaillé.

Pour de plus amples informations, contacter Charlotte Lusty (c.lusty@cgiar.org).

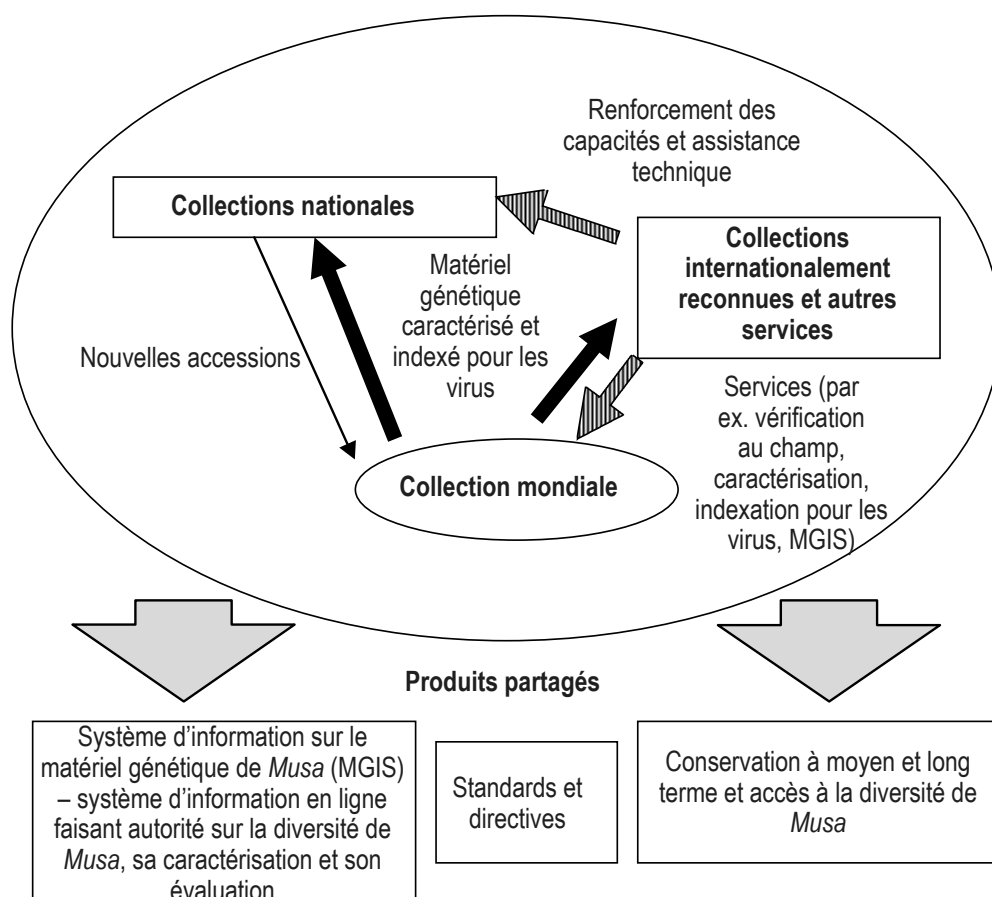


Figure 1. Représentation schématique de la Stratégie globale de conservation de *Musa*.

Conception assistée par modèle de systèmes de culture durables : application aux systèmes bananiers de Guadeloupe

Philippe Tixier

Thèse de Doctorat soutenue en décembre 2004, AGRO-Montpellier, France

De nos jours, la culture bananière aux Antilles est confrontée à d'importants problèmes agronomiques (rendements faibles à cause du développement important de pathogènes), environnementaux (transport de pesticides et de sol vers les eaux de surface, dans un contexte écologique insulaire fragile) et économiques (variation du prix de vente des fruits et coût de la main d'oeuvre élevé) susceptibles de remettre en cause la pérennité de la filière. Dans ce contexte, des systèmes de culture innovants répondant à un nouveau cahier des charges économique et environnemental doivent être mis au point. Plusieurs voies sont explorées qui, au delà d'un mode de conduite raisonné, visent à l'intégration de jachères, de rotations ou de plantes associées.

L'évaluation et la conception de tels systèmes de culture innovants nécessitent l'utilisation d'outils de modélisation spécifiques qui rendent compte des caractéristiques particulières du système. Un modèle spécifique appelé SIMBA a été développé dans ce sens. SIMBA simule l'évolution de la structure du peuplement de bananiers au cours des cycles de culture, point clé qui conditionne l'ensemble de la dynamique du système. La composante parasitaire, qui influe sur la pérennité de la bananeraie et conditionne l'emploi des produits

phytosanitaires est également prise en compte. Le parasitisme des nématodes phytoparasites est simulé, en interaction avec la croissance et la structure du peuplement, l'état du sol et l'emploi de nématicides. SIMBA simule également la croissance des bananiers et leur productivité, la structure du sol, la couverture du sol et le bilan hydrique. Des indicateurs qualitatifs et intégrateurs, conçus spécifiquement, permettent, couplés à ces modules biophysiques, l'évaluation au cours du temps de risques environnementaux comme le risque de pollution des eaux par les produits phytosanitaires et le risque d'érosion. Les pratiques culturales sont prises en compte à travers des règles de décision qu'il est ainsi possible d'évaluer. Le modèle SIMBA, en fournissant des sorties agronomiques, environnementales et économiques (marge brute), permet ainsi l'évaluation multicritère de systèmes de culture simulés selon plusieurs points de vue.

SIMBA a ensuite été utilisé selon une méthode originale de prototypage en deux étapes (exploration globale puis optimisation spécifique). Les résultats obtenus ont permis d'identifier certains systèmes de culture qu'il conviendra de tester au champ. Cette approche systémique et fonctionnelle, qui a permis des avancées significatives au niveau de la modélisation des systèmes bananiers, constitue un outil performant pour la conception de systèmes de culture durables.

Etude et contrôle des pourritures après récolte des bananes

Omar Ibn-i-Hassan

Thèse (PhD) soutenue en 2004 à la Bangladesh Agricultural University, Mymensingh, Bangladesh

La gestion après récolte des bananes au Bangladesh a été étudiée. La procédure après récolte, l'élimination du latex, le système de transport et la procédure de mûrissement de trois variétés de bananiers, 'Sabri', 'Amrita sagar' et 'Chinichampa' ont enregistrés dans 49 endroits du Bangladesh entre juillet 1999 et décembre 2000. Un total de 5 658 207 régimes comptant 579 566 633 doigts ont été examinés. Les mauvaises procédures de récolte, le chargement et le déchargement, ainsi que les vibrations et la compression pendant le transport ont causé des craquements, des coupures et des taches.

*Botryodiplodia theobromae** a été isolée de manière régulière chez les bananes affectées par la pourriture des doigts, la pourriture de l'extrémité de la tige, la pourriture de l'extrémité distale et *Colletotrichum gloeosporioides* sur des fruits montrant des symptômes d'anthracnose. Les blessures de la surface des fruits accélèrent l'infection. Des analyses biochimiques ont indiqué que la qualité nutritionnelle des trois variétés diminuait du fait des pourritures. Les pertes sur le marché attribuées aux blessures et aux pourritures des fruits ont été estimées respectivement à 1,5 million \$US et 10,5 millions \$US. L'application de Bavistin (1000 ppm) et de Tilt (2000 ppm) avant l'infection s'est révélée efficace pour empêcher le développement des pourritures des fruits chez le bananier.

*renommée *Lasiodiplodia theobromae*

Biologie moléculaire et diagnostic du virus du Bunchy top du bananier et sa gestion par une résistance systémique induite

Thèse

S. Harish

Thèse (PhD) soutenue en 2004 à la Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, Tamil Nadu, Inde

La maladie du Bunchy top du bananier, causée par le virus du bunchy top du bananier (BBTV), est la maladie du bananier la plus importante et la plus dévastatrice dans de nombreux pays tropicaux. Elle est transmise par l'aphide *Pentalonia nigronervosa*. Une fois établie, la maladie est très difficile à éradiquer. Dans cette étude, des isolats de BBTV associés à 'Virupakshi' (AAB), 'Poovan' (AAB), 'Malaipoovan' (AAB) et 'Robusta' (AAA) ont été collectés dans différentes zones dans l'état du Tamil Nadu. En conditions de serre, les isolats exprimaient des symptômes variés tels que l'éclaircissement des nervures, des raies vertes, une atrophie des feuilles et l'apparence d'une rosette.

Le virus a été purifié à partir des plants de bananiers infectés et la concentration du virus dans la nervure centrale a été estimée comme étant de 0,57 mg/kg de tissu. Un sérum polyclonal contre le BBTV produit en Nouvelle Zélande par des lapins a été utilisé pour la détection sérologique du virus. Une analyse par Western blot a révélé la présence d'une protéine de capsid de 20 kDa dans les échantillons infectés. La PCR par immunocapture a été utilisée pour la détection du BBTV dans les échantillons infectés. La digestion par restriction du gène de la

réplicase avec *AluI* a indiqué qu'il n'y avait pas de variation significative entre les isolats. Les séquences d'acides aminés et des nucléotides ont été alignées en utilisant CLUSTAL X 1.81. Les séquences multiples s'alignant avec les séquences de GenBank ont révélé que certains des isolats de BBTV collectés dans les basses collines de Pulney, dans les Ghâtes occidentales, sont homologues de certains isolats en provenance d'Inde et d'Égypte.

Quarante bactéries endophytes ont été isolées des cormes des bananiers. Elles ont été divisées en deux larges groupes : *Pseudomonas* et *Bacillus* spp., en utilisant la caractérisation phénotypique et moléculaire. La plupart des *Bacillus* spp. ont produit des patrons d'empreintes différents de ceux des *Pseudomonas* spp. et, au sein d'un genre, aucune différence significative n'a été trouvée dans le patron protéique, excepté pour le patron des bandes produites par RAPD.

L'efficacité des bactéries endophytes contre le BBTV a été testée dans un essai en pots en utilisant des plants de bananier 'Robusta' (AAA) et dans des essais en champ en utilisant des rejets et des vitroplants de 'Virupakshi' (AAB) qui avaient été exposés à des bactéries endophytes lors de l'endurcissement, de la transplantation, et 3, 5 et 7 mois après la plantation. Différentes combinaisons de bactéries endophytes ont conduit à des réductions significatives du BBTV.

Approches moléculaires pour la gestion du virus du bunchy top du bananier par une résistance systémique induite chez le bananier

Thèse

M. Kavino

Thèse (PhD) soutenue en novembre 2004 à la Faculty of Horticulture, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, Inde

En Inde, la présence du virus du bunchy top du bananier (BBTV) a été rapportée dans tous les états où l'on cultive la banane, les infestations les plus sévères étant observées

dans les basses collines de Pulney du district de Dindugal, dans l'état du Tamil Nadu. Dans cette région, 'Virupakshi' (AAB), un fruit prisé qui a autrefois été cultivé sur plus de 18 000 hectares comme culture pérenne non irriguée, a été dévasté par le Bunchy top et la zone de culture réduite à 2000 hectares. Cette

recherche a été menée pour évaluer l'effet d'une résistance systémique induite contre le BBTv chez 'Virupakshi' et 'Robusta' (AAA).

Une étude a été menée dans le district de Dindugal du Tamil Nadu pour collecter des fruits de 'Virupakshi' apparemment sains. Les plantes collectées ont été examinées pour la présence du virus en utilisant l'analyse par ELISA et RAPD. Les plantes testées négatives par ELISA ont été micropropagées. Les 40 plantes produites ont été testées pour la présence du virus. Un essai au champ a été conduit dans une zone du Tamil Nadu infestée par le BBTv, pour tester l'efficacité de diverses bioformulations contre le BBTv sur 'Virupakshi'. L'essai a été organisé selon un dispositif en blocs de Fisher avec huit traitements et trois répétitions. Chaque traitement comportait 20 plantes par répétition, espacées de 2 m x 2 m. Deux souches de *Pseudomonas fluorescens* (Pf1 et CHA0) ont été utilisées dans cette étude, avec ou sans chitine, à différents stades de croissance des

plantes : au moment de la plantation et à 3, 5 et 7 mois après la plantation. Un autre essai en champ a été mené avec des vitroplants de 'Virupakshi' afin de tester l'efficacité d'un mélange de souches de *Pseudomonas* (Pf1, CHA0 et EPB22). Ces souches ont été appliquées au stade primaire et secondaire d'endurcissement, à la transplantation et 3, 5 et 7 mois après la plantation.

La souche de *P. fluorescens* CHA0, appliquée avec de la chitine à la plantation et 3, 5 et 7 mois après la plantation, a augmenté la hauteur du pseudotrunc, sa circonférence, le nombre de feuilles et la surface foliaire et a réduit l'incidence du BBTv en serre et au champ. L'application d'un mélange de souches sur des vitroplants de 'Virupakshi' à l'endurcissement, la transplantation et 3, 5 et 7 mois après la plantation a également amélioré les performances agronomiques et a réduit l'incidence de la maladie, en serre et au champ.

Détection moléculaire et caractérisation des contaminants bactériens dans des vitroplants de bananier (*Musa* spp.)

K.G. Wasmund

Thèse (BSc) soutenue en 2004 à l'University of the Sunshine Coast, Queensland, Australie

La contamination bactérienne des cultures de tissus de *Musa* est un problème important et largement répandu. On pense que les contaminants bactériens qui posent des problèmes dérivent de l'explant initial. Cette étude visait à vérifier si les bactéries endophytes qui résident dans l'explant initial peuvent être une source de bactéries posant des problèmes, et à développer et évaluer une méthode indépendante, basée sur la PCR, pour la détection de routine de ces bactéries.

Les bactéries ont été isolées et identifiées par analyse partielle de la séquence de l'ADNr 16S de 6 des 72 explants utilisés pour initier la culture de tissus. Ces bactéries ont été identifiées comme une *Klebsiella* sp., un *Herbaspirillum* sp., un *Agrobacterium* sp. et une bactérie appartenant aux Enterobacteriaceae, toutes des bactéries endophytes connues. *Herbaspirillum* sp. et *Agrobacterium* sp. ont été isolées à nouveau à partir des vitroplants obtenus et toutes les

cultures dérivées des explants contaminés ont été de nouveau contaminées après une période de croissance latente. *Paenibacillus* sp. a également été isolé sur des vitroplants qui étaient visiblement contaminés malgré plus de 12 mois de culture apparemment axénique.

Une méthode a été développée avec succès pour la détection d'une large gamme de bactéries dans les tissus de *Musa*, qui n'était pas compliquée par la co-amplification de plastides d'ADNr 16S dérivés des plantes. Une limite de contrôle de détection d'approximativement 1×10^5 cellules d'*Escherichia coli* extraites (équivalent à approximativement 7×10^3 copies d'ADNr 16S par PCR) a été déterminée. Les paramètres de la PCR, tels que le nombre de cycles, la concentration en $MgCl_2$ et la température d'annélation ont été optimisés. La large applicabilité de cette méthode a permis de détecter de l'ADN bactérien contaminant provenant de la polymérase Taq de l'ADN et d'aérosols exogènes, ce qui était un problème significatif.

Ce travail a apporté l'évidence directe que des endophytes résident à l'intérieur

de l'explant initial peuvent être une source de contaminants bactériens qui posent des problèmes pour les vitroplants de *Musa*, et qu'une méthode de détection indépendante de la culture est justifiée. Cependant, afin de mettre au point une méthode sensible

et fiable basée sur la PCR pour la détection de ces bactéries, la PCR doit viser des groupes spécifiques de bactéries, et la méthode à large spectre développée dans cette étude est extrêmement sujette aux contaminations.

Optimisation de la culture *in vitro* de méristèmes multiples et de suspensions cellulaires embryogènes chez le bananier (*Musa* spp.)

Hannelore Strosse

Thèse (PhD) soutenue en mai 2005 à la Faculty of Bioscience Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique

Les bananiers et les bananiers plantain (*Musa* spp.) sont sujets à nombre de maladies et ravageurs qui entraînent de sérieuses pertes de rendement. La biotechnologie offre aux sélectionneurs des outils importants pour accélérer la production de variétés améliorées. Des cultures d'apex à fort pouvoir de régénération et de multiplication – également appelées cultures de méristèmes multiples (CMM) – sont d'une très grande valeur pour diverses applications biotechnologiques chez le bananier. Le développement de CMM de haute qualité correspond à la première phase *in vitro* cruciale pour réussir à établir des suspensions cellulaires embryogènes (SCE) *via* 'la méthode du scalp'. Des SCE de haute qualité sont le meilleur matériel cible pour l'ingénierie génétique chez le bananier.

Dans la première partie de notre étude, une nouvelle méthode a été développée pour produire des CMM de qualité élevée. En plus de la variation en taille des explants initiaux (apex excisés de vitroplants enracinés), la majeure partie de nos recherches a consisté à évaluer la meilleure combinaison de régulateurs de croissance (RC). La réduction de la longueur initiale de la pousse (de 1,5 cm à 0,5 cm) et l'utilisation de 10 μ M de thidiazuron (TDZ) comme RC (sélectionné parmi 242 combinaisons auxine/cytokinine) a conduit à : 1) une proportion égale ou supérieure de tissus méristématiques par opposition à des tissus de corme ou de feuilles différenciés et 2) à une réduction du temps requis pour obtenir des CMM (de 1 à 6 mois selon la variété). Ceci, combiné à une étude comparative du comportement *in vitro* entre le maïs et le bananier, a contribué à notre connaissance de l'origine des bourgeons multiples chez le bananier. Alors que la formation de bourgeons adventifs a été obtenue relativement facilement chez de nombreuses

monocotylédones, la prolifération de bourgeons axillaires chez le bananier n'a pu être obtenue par aucune des 242 combinaisons de RC testées.

La seconde partie de notre étude concernait l'induction de l'embryogenèse chez des tissus méristématiques ('scalps'), l'établissement de SCE et le contrôle de la qualité. La fréquence de l'embryogenèse a augmenté deux à quatre fois lorsque les cultures poussaient dans l'obscurité et lorsque du TDZ était utilisé au lieu de la benzylaminopurine (BAP) pour préparer les explants initiaux. L'induction de l'embryogenèse a été obtenue avec succès chez 17 des 22 variétés testées. La fréquence embryogène moyenne parmi les types de bananiers adéquats pour l'embryogenèse (plantain, Cavendish et bananes à cuire) variait de 1,9% à 18,1%. Environ un tiers des complexes embryogènes formés ont donné des SCE qui étaient constituées de plus de 75% d'amas de cellules embryogènes. La capacité des SCE testées à former des embryons variait entre 36 – 466 x 10³ embryons/ml de cellules sédimentées, alors que les fréquences moyennes de conversion des embryons en plantes variaient de 8 à 46%. En moyenne, la qualité des SCE déclinait deux ans après leur initiation, même quand les suspensions étaient régulièrement repiquées et que les structures non régénérables étaient supprimées. Chez 5 des 59 lignées de suspensions cellulaires analysées par cytométrie en flux, des aberrations génomiques telles que la mixoploïdie et la polyplôïdie ont été détectées. Ces aberrations génomiques étaient associées à une réduction drastique de la capacité de régénération des cultures cellulaires. Cependant, c'est encore sur les plantes régénérées que la variation somaclonale est le mieux évaluée. Enfin, des essais préliminaires ont été conduits pour rechercher si la réponse *in vitro* de variétés différentes pouvait être liée à des concentrations différentes d'hormones endogènes.

Thèse

L'arrivée des bananiers en Afrique

Selon les résultats d'une fouille archéologique en Ouganda, le bananier serait arrivé sur le continent africain il y a plus de 4000 ans, soit quelque 2000 ans avant la date généralement admise de son introduction dans la région. Cette nouvelle donne est publiée dans le numéro de janvier 2006 du *Journal of Archaeological Science* (Vol. 33(1):102-113). Les auteurs, B. Julius Lejju, Peter Robertshaw et David Taylor, appuient leur conclusion sur des phytolithes de bananiers découverts dans des couches

sédimentaires qui datent de 4000 à 4500 ans. Les phytolithes sont des corps microscopiques en silice qui s'accumulent dans les cellules végétales et acquièrent des formes distinctes.

Il y a quelques années, la découverte au Cameroun de phytolithes de bananiers vieux de 2500 ans (*Vegetation History and Archaeobotany*, 2001, 10:1-6) avait suscité la controverse car elle contestait l'idée que les bananiers avaient été introduits en Afrique de l'Est par des commerçants il y a environ 2000 ans. Les récentes fouilles en Ouganda viennent conforter la position de ceux qui plaident pour une arrivée très ancienne du bananier sur le continent africain.

Musa sauvages du Vietnam

Un article récent de Ramon Valmayor, Le Dinh Danh et Markku Häkkinen publié dans le numéro de juin 2005 du *Philippine Agricultural Scientist* (vol. 88(2): 236-244) illustre et résume les caractéristiques distinctives d'espèces nouvellement décrites de *Musella*, indigènes au Vietnam, de trois nouvelles espèces de bananiers sauvages ayant une valeur ornementale, à savoir *Musa exotica*, *Musa viridis* et *Musa lutea*, et présente la redécouverte de *Musa splendida*, une espèce très rare et presque oubliée. Les auteurs décrivent également deux nouveaux bananiers itinérants, *Musa tonkinensis* et *Musa itinerans* ssp. *annamica*. Il s'agit de ces bananiers dont le rhizome long et développé produit des rejets loin de la plante-mère.

Dans les années 1990, le *Vietnam Agricultural Science Institute* avait lancé un programme intensif de collecte de bananiers, couvrant la quasi-totalité du pays. Les missions d'exploration conduites par Le Dinh Danh, directeur du *Phu Ho Fruit Research Center*, ont rassemblé 88 cultivars de bananiers et 19 espèces sauvages, dont 17 appartenaient au genre *Musa*, tandis que les deux dernières ont été classées dans le genre *Ensete* et *Musella*. L'espèce *Ensete* indigène au Vietnam a été identifiée comme *Ensete glaucun* (Roxb.) Cheeseman. Des études morphologiques détaillées de spécimens de *Musella* indigènes au Vietnam ont montré qu'elle se différencie de *Musella lasiocarpa* Franchet de la Chine du sud et a été décrite comme espèce nouvelle, sous le nom de *Musella splendida* R. Valmayor & L.D. Danh.

Sur les 17 accessions qui ont été recensées dans le genre *Musa*, 12 ont été classées comme appartenant aux espèces très répandues que sont *Musa balbisiana*, *Musa acuminata* et *Musa itinerans*, et les cinq autres n'avaient jamais été décrites auparavant. Le bananier ornemental indigène, le plus attrayant et vraiment magnifique, a été la première accession formellement décrite comme *Musa exotica*. Puis, quand les études morphologiques réalisées à l'aide des descripteurs pour le bananier (*Musa* spp.) de l'IPGRI-INIBAP/

CIRAD furent terminées et que la littérature scientifique et les herbiers eurent été étudiés en profondeur, *M. viridis* et *M. lutea* ont été décrites comme des espèces nouvelles. Les deux autres espèces de *Musa* qui n'avaient pas été décrites sont le sujet de cet article.

Musa tonkinensis peut être différenciée des autres espèces rhizomateuses de *Musa* par son bourgeon mâle très particulier. L'apex du bourgeon mâle est nettement imbriqué et les extrémités des bractées sont soigneusement disposées en une belle spirale, d'une manière très différente de ce que l'on voit chez les autres espèces de *Musa*. Alors que les bractées matures sont, à l'extérieur, de couleur violette avec des bords verts, les jeunes bractées, non exposées, sont d'un jaune profond. Les extrémités exposées des bractées imbriquées se dessèchent rapidement et deviennent marron. Ces particularités servent de caractères distinctifs pour *M. tonkinensis*.

La morphologie de *M. itinerans* ssp. *annamica* est très proche de celle de l'espèce commune *M. itinerans*, mais elle peut facilement être différenciée par le mode d'ouverture très spécial des bractées. Celles-ci s'enroulent sur les côtés quand elles s'ouvrent, au lieu de s'enrouler vers le haut comme on le voit généralement chez les autres espèces de *Musa*. Les autres caractéristiques distinctives concernent les fruits. Les fruits de la sous-espèce *annamica* sont allongés et légèrement plus étroits à leurs deux extrémités tandis que ceux de la sous-espèce *itinerans* sont courts et obovoïdes, se faisant plus larges près de l'apex et progressivement plus étroits vers le pédicelle. Les fruits mûrs d'*annamica* prennent une couleur marron et ont la peau qui craquèle tandis que les autres jaunissent et ont un péricarpe qui reste lisse.

Les noms latins de l'espèce *tonkinensis* et de la sous-espèce *annamica* ont été choisis pour indiquer les régions où les spécimens originaux ont été collectés. Tonkin était un empire s'étendant sur le nord du Vietnam et le sud-est de la Chine alors qu'Annam était un royaume situé dans le centre du Vietnam.

Conseils aux auteurs

INFOMUSA est une revue internationale publiée deux fois par année en anglais, en français et en espagnol. Elle se veut la vitrine des résultats de la recherche et des projets intéressant la communauté bananière. Etant donné qu'INFOMUSA publie des articles sur tous les sujets concernant *Musa*, les auteurs doivent viser un style clair et simple, et éviter tout jargon non indispensable, afin de rendre leur article accessible aux lecteurs venant d'autres disciplines.

Les textes dactylographiés seront préparés en français, anglais ou espagnol et ne devront pas excéder 2500 mots. Ils seront présentés en double interligne. Toutes les pages seront numérotées (y compris celle incluant les tableaux, figures, légendes et références) à partir de la page de titre.

Mentionnez le nom complet de tous les auteurs ainsi que leur adresse au moment de l'étude. Indiquez également l'auteur auquel doivent être adressées les correspondances.

Les manuscrits peuvent être envoyés par courrier électronique ou sur une disquette lisible par un ordinateur compatible PC. Merci d'indiquer le nom et la version du logiciel de traitement de texte utilisé et l'adresse de courrier électronique de l'auteur. Nous aurons besoin dans tous les cas de recevoir par courrier deux copies imprimées du manuscrit.

Titre : Le titre sera le plus court possible et ne devra pas inclure de nombres, d'acronymes, d'abréviations ou de ponctuation.

Résumé : Un résumé n'excédant pas 200-250 mots devra accompagner la contribution. Il doit résumer de manière concise le contenu de l'article et doit être rédigé dans la même langue que l'article. Dans la mesure du possible, des traductions (incluant le titre) dans les deux autres langues seront également envoyées.

Mots-clé : Merci de fournir un maximum de six mots-clé classés par ordre alphabétique, sous le résumé dans la langue d'origine.

Introduction : L'introduction devra présenter les raisons de la recherche ainsi que toute information pertinente. L'introduction n'ayant pas pour objectif de présenter une revue exhaustive du sujet, le nombre de références doit être limité au minimum. Les introductions sur l'importance de la banane pour la sécurité alimentaire et économique devront être évitées, sauf lorsqu'elles sont absolument nécessaires à la compréhension de l'article.

Matériel et méthodes : Les auteurs devront fournir suffisamment de détails sur leur dispositif expérimental pour permettre au lecteur d'apprécier la validité de la recherche. Pour des matériels et des méthodes communément utilisés, une simple référence suffit.

Résultats : L'unité devra être séparée du nombre par un espace et suivre la nomenclature SI ou la nomenclature habituelle d'un domaine particulier. Les unités non courantes ou les abréviations devront être définies.

Présentez les données dans le texte, sous la forme d'une figure ou d'un tableau, mais jamais sous plus d'une de ces formes. Évitez l'utilisation de graphes pour présenter des données qui pourraient être présentées de manière plus concise dans le texte ou sous forme de tableau. Limitez les photographies à celles qui sont absolument nécessaires pour illustrer les résultats expérimentaux.

Discussion : La discussion ne devra pas s'étendre à nouveau sur les résultats et ni réitérer l'introduction. Elle pourra être combinée avec les résultats.

Références : Les références bibliographiques seront présentées par ordre alphabétique d'auteurs. L'appel à référence dans le texte indiquera le nom de l'auteur et l'année de publication (exemple : Sarah *et al.* 1992, Rowe 1995). Les références à des documents à diffusion limitée, tels que des rapports annuels, et les citations de communications personnelles et de données non publiées sont à éviter. Une liste de références, classées par ordre alphabétique, sera fournie à la fin du texte.

Vous trouverez ci-dessous trois exemples de références parmi les plus courantes :

Périodiques : Sarah J.L., C. Blavignac & M. Boisseau. 1992. Une méthode de laboratoire pour le criblage variétal des bananiers vis-à-vis de la résistance aux nématodes. *Fruits* 47(5): 559-564.

Ouvrages : Stover R.H. & N.W. Simmonds. 1987. *Bananas* (3^e édition). Longman, London, United Kingdom.

Articles (ou chapitres) dans des ouvrages : Bakry F. & J.P. Horry. 1994. *Musa* breeding at CIRAD-FLHOR. Pp. 169-175 in *The Improvement and Testing of Musa: a Global Partnership* (D.R. Jones, ed.). INIBAP, Montpellier, France.

Illustrations et tableaux : Numérotez-les et faites référence à ces numéros dans le texte. N'oubliez pas d'indiquer les légendes. Insérez les figures et les tableaux après les références bibliographiques ou sous forme de fichiers séparés.

Graphiques : Merci de fournir avec le graphique les données brutes correspondantes, si possible sous forme de fichier Excel.

Dessins : Dans la mesure du possible, fournir des originaux.

Photographies : Nous préférons les originaux des photographies (sur papier brillant avec un bon contraste pour les photographies en noir et blanc ; des tirages papier de bonne qualité et des négatifs ou des diapositives originales pour des photographies en couleur), mais veuillez noter que nous ne les retournerons pas. Nous publierons les photos qui ont été numérisées ou prises avec un appareil numérique, à condition que la résolution soit suffisante (1 million de pixels ou un minimum de 300 dpi lorsque la photographie est à la taille réelle). Nous acceptons les fichiers JPEG, TIFF et EPS. Évitez d'envoyer des photographies insérées dans un document Word ou Power Point, sauf si elles sont accompagnées par une alternative de meilleure qualité.

Acronymes : Ils seront développés lors de leur première apparition dans le texte et suivis du sigle entre parenthèses.

Noms des cultivars : Le nom du cultivar devrait être placé entre guillemets simples. S'il s'agit d'un nom composé, seul le premier mot commencera par une majuscule, sauf si l'autre fait référence à un lieu ou à une personne. Le nom le plus couramment accepté, comme 'Grande naine' devrait être utilisé et les variations locales ou les traductions, tel que 'Gran Enano', devraient être évitées.

Note : Les auteurs citant dans leur article du matériel végétal originaire du Centre de transit de l'INIBAP (ITC) à Leuven ou indexé dans ce centre indiqueront les numéros de code ITC des accessions citées.

Merci de suivre ces conseils. Cela facilitera et accélérera le travail d'édition.

Sous presse

G. Blomme, C. Gold and E. Karamura (eds). 2005. Farmer-participatory testing of integrated pest management options for sustainable banana production in Eastern Africa. Proceedings of the workshop on Farmer-participatory testing of IPM options for sustainable banana production in Eastern Africa, held in Seeta, Uganda, 8-9 December 2003. The International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France. La version électronique est disponible à l'adresse suivante : http://www.inibap.org/pdf/ipm-proceedings_en.pdf.

Parutions récentes

D.W. Turner et F.E. Rosales (eds). 2005. Banana Root System: towards a better understanding for its productive management. Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003. The International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France.

Pour obtenir une liste complète de nos publications, consultez notre site web ou contactez Leila Er-rachiq au siège central à Montpellier.
Courriel : l.er-rachiq@cgiar.org



Les adresses de l'INIBAP

• Siège :

Parc Scientifique Agropolis II
34 397 Montpellier Cedex 5 - FRANCE
Courriel : inibap@cgiar.org
Fax : (33) 467 61 03 34
Directeur : **Dr Richard Markham**
Courriel : r.markham@cgiar.org
Coordinateur, Amélioration génétique de *Musa* :
Dr Jean-Vincent Escalant
Courriel : j.escalant@cgiar.org
Coordinateur, Génétique et conservation des ressources génétiques de *Musa* : **Dr Nicolas Roux**
Courriel : n.roux@cgiar.org
Coordinateur, Agroécosystèmes et recherche de valeur ajoutée pour les filières de production : **Dr Charles Staver**
Courriel : charles.staver@cgiar.org
Coordinatrice, Information et communication :
Claudine Picq
Courriel : c.picq@cgiar.org
Responsable MGIS : **Elizabeth Arnaud**
Courriel : e.arnaud@cgiar.org
Comptable : **Emmanuel Gonnord**
Courriel : e.gonnord@cgiar.org
Spécialiste évaluation de l'impact : **Charlotte Lusty**
Courriel : c.lusty@cgiar.org

• Bureau Régional pour l'Amérique latine et les Caraïbes

Coordinateur régional : **Dr Franklin E. Rosales**
Expert associé, transfert de technologies :
Dr Luis Pocasangre
C/o CATIE
Apdo 60-7170 Turrialba, Costa Rica
Tel/Fax : (506) 556 2431
Courriel : inibap@catie.ac.cr

• Bureau Régional pour l'Asie et le Pacifique

Coordinateur régional : **Dr Agustín Molina**

Expert associé, transfert de technologies :

Dr Inge Van Den Bergh
C/o IRRM Rm 31, GS Khush Hall
Los Baños, Laguna 4031
Philippines
Fax: (63-49) 536 05 32
Courriel : a.molina@cgiar.org

• Bureau Régional pour l'Afrique occidentale et centrale

Coordinateur régional : **Dr Ekow Akyeampong**
Coordinateur régional de l'information pour l'Afrique :
Josué Tetang Tchinda
Expert associé, transfert de technologies : Kim Jacobsen
C/o CARBAP - BP 12438
Douala, Cameroun
Tel./Fax : (+237) 342 91 56
Courriel : ekow@crealink.net

• Bureau Régional pour l'Afrique orientale et australe

Coordinateur régional : **Dr Eldad Karamura**
Expert associé, transfert de technologies : Dr Guy Blomme
P.O. Box 24384
Kampala, Ouganda
Fax: +(256-41) 28 69 49
Courriel : inibap@imul.com

• Centre de Transit INIBAP (ITC)

Responsable : **Ines Van Den Houwe**
Katholieke Universiteit Leuven
Laboratory of Tropical Crop Improvement
Kasteelpark Arenberg 13,
B-3001 Leuven, Belgique
Fax: (32-16) 32 19 93
Courriel : ines.vandenhouwe@agr.kuleuven.ac.be