

INFOMUSA

La Revue Internationale sur Bananiers et Plantains



Vol. 11 N° 1

Juin 2002

DANS CE NUMÉRO

Gestion intégrée des cultures pour la production de bananes plantain et le contrôle de la cercosporiose noire en RDC

Evolution de la cercosporiose noire au Venezuela : 1997-2000

Fréquence de *Paracercospora fijiensis* et de *Pseudocercospora musae* chez le bananier plantain cv. « Dominico hartón »

Action du fongicide naturel F20 contre la cercosporiose noire

Variations saisonnières de *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* chez certains cultivars de bananier

Réponse de plantes-hôtes de bananiers Pisang jari buaya et Mysore à Radopholus similis

Effet de trois champignons mycorhiziens arbusculaires sur l'infection du bananier par *Meloidogyne* spp.

Champignons endophytes et nécrose des racines de bananiers à Cuba

Effets de la mycorhization sur des bananiers micropropagés

Arachis pintoi : une plante de couverture pour les bananeraies ?

Dynamique du bore dans le sol d'une plantation de bananiers plantain en Colombie

Evaluation des caractéristiques agronomiques d'hybrides de bananiers plantain

Nouvelles méthodes de propagation *in vitro* de FHIA-20

Taux de multiplication et potentiel de régénération d'embryons somatiques d'une suspension cellulaire de bananier

Introduction, multiplication et distribution de bananiers et bananiers plantain améliorés au Nicaragua

Utilisation de la technique RAPD pour l'identification et la classification de quelques cultivars de bananier au Vietnam

Modes de consommation et dépenses des consommateurs de bananes et de bananes plantain au Nigeria

Thèses

Nouvelles des *Musa*

Nouvelles de l'INIBAP

Livres etc.

Annonces



INFOMUSA est publié avec le soutien du Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA)



Vol. 11, N° 1

Photo de couverture :

En Tanzanie, les rejets de bananiers sont souvent distribués par le biais des écoles (D. Mowbray, Baobab Productions).

Editeur :

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

Rédacteur en chef :

Claudine Picq

Comité de Rédaction :

Emile Frison, Jean-Vincent Escalant, Elinor Lipman, Charlotte Lusty, Suzanne Sharrock

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

URL : <http://www.inibap.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'abrèger 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.

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.

Le programme de l'INIBAP a quatre objectifs principaux :

- organiser et coordonner un effort global de recherche sur la banane et la banane plantain visant au développement, à l'évaluation et à la dissémination de matériel génétique de *Musa* amélioré ainsi qu'à la conservation et à l'utilisation de la diversité génétique des *Musa* ;
- promouvoir et renforcer la collaboration et le partenariat en matière de recherche sur les bananiers au niveau national, régional et international ;
- renforcer la capacité des Systèmes nationaux de recherche agricole à conduire des recherches sur la banane et la banane plantain ;
- coordonner, faciliter et appuyer la production, la collecte et l'échange d'information et de documentation sur la banane et la banane plantain.

L'INIBAP est un programme de l'Institut international pour les ressources phylogénétiques (IPGRI), un centre "Future Harvest".

INFOMUSA

Vol. 11, N° 1

SOMMAIRE

Stratégies de gestion intégrée des cultures pour la production de bananes plantain et le contrôle de la cercosporiose noire en République démocratique du Congo.....	3
Evolution de la cercosporiose noire au Venezuela : 1997-2000.....	6
Fréquence de <i>Paracercospora fijiensis</i> et de <i>Pseudocercospora musae</i> chez le bananier plantain cv. « Dominico hartón ».....	9
Action du fongicide naturel F20 contre la cercosporiose noire (<i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet) chez le bananier plantain (AAB) et le bananier (AAA) ...	14
Variations saisonnières de <i>Radopholus similis</i> et <i>Pratylenchus coffeae</i> chez certains cultivars de bananier	16
Réponse de plantes-hôtes de bananiers Pisang jari buaya et Mysore à <i>Radopholus similis</i>	19
Effet de trois champignons mycorhiziens arbusculaires sur l'infection du bananier par le nématode à galle des racines (<i>Meloidogyne</i> spp.)	21
Etude des espèces de champignons endophytes associés à la nécrose des racines de bananiers des plantations de bananiers et de bananiers plantain à Cuba.....	23
Effets de la mycorhization sur le développement de deux cultivars de bananier issus de la micropropagation	25
<i>Arachis pintoi</i> : une plante de couverture pour les bananeraies ? Avantages et inconvénients d'un point de vue nématologique.....	28
Dynamique du bore dans le sol d'une plantation de bananiers plantain (<i>Musa</i> AAB cv. 'Dominico hartón') de la région du Quindío, Colombie.....	30
Evaluation des caractéristiques agronomiques d'hybrides de bananiers plantain (<i>Musa</i> spp.)	34
Nouvelles méthodes de propagation <i>in vitro</i> du cultivar hybride FHIA-20	35
Taux de multiplication et potentiel de régénération d'embryons somatiques d'une suspension cellulaire de bananier (<i>Musa</i> AAA cv. « Grande naine »)	38
Introduction et multiplication de bananiers et bananiers plantain améliorés au Nicaragua et distribution aux agriculteurs	44
Utilisation de la technique RAPD pour l'identification et la classification de quelques cultivars de bananier au Vietnam.....	48
Modes de consommation et dépenses des consommateurs de bananes et de bananes plantain à Nsukka Urban, Nigeria	50
Thèses	54
Nouvelles des <i>Musa</i>	56
Nouvelles de l'INIBAP	60
Livres etc.....	65
Annonces.....	66

Stratégies de gestion intégrée des cultures pour la production de bananes plantain et le contrôle de la cercosporiose noire en République démocratique du Congo

P. Mobambo Kitume Ngongo

Le bananier plantain (*Musa* spp., groupe AAB) est une culture alimentaire de base dans de nombreux pays des tropiques humides. Son fruit est l'une des plus importantes sources d'hydrates de carbone dans le régime alimentaire des populations de ces régions. Les faibles besoins en main d'œuvre nécessaires à sa culture et son rendement énergétique relativement élevé font du bananier plantain une culture adaptée aux régions où le manque de main d'œuvre est généralement la contrainte majeure pour la production. Le bananier plantain est surtout cultivé par de petits paysans et c'est un composant essentiel de la plupart des systèmes agricoles d'Afrique occidentale et centrale, d'où provient environ 50 % de la production mondiale de banane plantain (Wilson 1987, FAO 1990).

Malgré son importance pour les populations locales, le bananier plantain a été longtemps ignoré par les chercheurs en agriculture de la région, du fait qu'il n'a été confronté à aucun problème majeur de maladies jusque dans les années 1970, et qu'il était donc considéré en Afrique comme une culture exempte de maladies (Wilson 1987). Il y a 25 ans, cependant, le bananier plantain a été menacé par la cercosporiose noire (ou maladie des raies noires), une maladie foliaire transmise par voie aérienne causée par le champignon *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Cette maladie s'est propagée rapidement dans toutes les régions d'Afrique productrices de bananier plantain. La cercosporiose noire est la maladie foliaire la plus destructrice du bananier plantain, et elle s'étend inexorablement à toutes les régions de culture situées à basse altitude (Meredith et Lawrence 1970). Des pertes de rendement de 76 % dues à la cercosporiose noire ont été rapportées pendant le second cycle de production, tandis que les effets combinés de la maladie, des ravageurs et du déclin de fertilité du sol réduisaient le rendement de 93 % (Mobambo *et al.* 1996a). Le bananier plantain est une plante amyliacée pérenne et la maturation de son fruit nécessite une durée considérable, ce qui résulte en une exposition plus longue aux maladies et ravageurs, ainsi qu'en un épuisement des nutriments du sol.

Le complexe sol-maladie-ravageurs peut être contrôlé par une combinaison d'engrais inorganiques, de fongicides et d'insecticides/nématicides. Cependant, en Afrique, les stratégies de lutte chimique ne sont pas valables en termes socioéconomiques et écologiques pour les petits producteurs à faible niveau de ressources. Les produits chimiques sont très coûteux et leur application peut être dangereuse pour la santé dans les exploitations familiales villageoises où la majeure partie des bananiers plantain est cultivée. Une gestion du sol appropriée, utilisant divers résidus de cultures appliqués sous forme de paillis afin d'améliorer le contenu du sol en matière organique et en nutriments, pourrait permettre, à moindres frais, de réduire les effets du complexe sol-maladie-ravageurs sur le bananier plantain.

L'objectif des recherches décrites dans cet article était de comparer les performances au champ et le rendement du bananier plantain pour différentes pratiques de gestion de la fertilité du sol et de lutte contre les maladies.

Matériel et méthodes

Localisation des essais

Les recherches ont été conduites à Kinshasa (4°22'S, 15°21'E, Congo occidental), à 390 m au-dessus du niveau de la mer (Anonyme 1985). Le sol du site expérimental est un sol latéritique dérivé de sables sédimentés, bien drainé, mais pauvre en nutriments et très acide. La pluviométrie annuelle y est de 1800 mm et la température moyenne de 24,5 °C.

Matériel végétal et traitements

Le matériel utilisé dans cet essai appartenait au cultivar Yumba (*Musa* AAB), répandu localement. La disponibilité en matériel de plantation constitue toujours une contrainte pour la culture du bananier plantain dans les zones rurales. Comme il est impossible d'obtenir très rapidement des rejets nombreux et homogènes, le programme de recherche a commencé par la multiplication végétative de matériel de plantation (technique décrite par Auboirn 1997) afin d'obtenir 625 plants pour l'essai : 5 traitements x 5 répétitions x 25 plants par traitement.

Les souches de cormes de bananiers plantain ont été coupées en fragments de 50 g chacun et traitées à la cendre de bois. Elles

ont été séchées à l'air pendant 24 h avant d'être plantées dans des sacs en plastique de 15 cm de diamètre, remplis avec de la terre de forêt. Les nouveaux rejets ont émergé 4 semaines après la date de plantation et l'on a obtenu jusqu'à 20 nouveaux plants par corme. Ils ont été transplantés au champ 3 mois plus tard, après avoir émis 3-4 feuilles bien développées.

Quatre traitements différents visant à prévenir l'infection par les microorganismes, basés sur des pratiques culturales, ont été comparés : paillis de résidus de cultures (sciure de bois et balles de riz), plante de couverture (*Vigna unguiculata*) et engrais (NPK). Des plantes non traitées ont été utilisées comme témoins.

Mise en place de l'essai au champ et pratiques culturales

Le dispositif expérimental était un bloc complètement randomisé avec des traitements de 5 parcelles et 5 répétitions. La taille des parcelles était de 15 x 10 m avec 25 plants espacés de 3 x 2 m, soit une densité de 1667 plants par hectare. Les données ont été enregistrées uniquement sur les 9 plantes centrales en compétition.

Tous les 3 mois, des paillis de résidus de cultures ont été appliqués autour des pseudotruncs dans les parcelles paillées, à l'aide d'une bassine (10 kg). Dans les parcelles fertilisées, on a appliqué 300 kg d'azote, 60 kg de P₂O et 550 kg de K₂O par hectare et par an, répartis en six applications pendant la saison des pluies à raison de 65 g d'urée par plant et par application, de 20 g de phosphore par plant et par application, et de 89 g de muriate de potasse par plant et par application.

Pour chaque traitement, des échantillons de sol ont été prélevés à un stade d'environ 50 % de floraison en utilisant une tarière à main jusqu'à environ 20 cm de profondeur, où se trouve la majorité des racines du bananier plantain (Swennen 1984, Purseglove 1988). Ces échantillons ont été séchés à l'air libre au laboratoire, broyés, passés à travers des tamis de 0,5 et 2 mm et analysés.

Evaluation de la réponse des plantes-hôtes à la cercosporiose noire, paramètres de croissance et de rendement

Le développement de la maladie a été évalué chaque semaine par la durée d'évolution des symptômes, qui est le nombre de

jours entre l'apparition des symptômes du stade 1 du développement de la maladie (Fouré 1982), assimilé au stade b du cigare (Brun 1963) et l'apparition de taches au centre desséché (stade 6 de la maladie, Fouré 1982, 1987). On a également noté le numéro de la plus jeune feuille tachée (feuille présentant au moins 10 lésions nécrotiques au centre desséché) (Meredith et Lawrence 1970, Fouré 1982, 1987) et la durée de vie de la feuille, définie par le nombre de jours entre le stade b du cigare et la mort de la feuille (100 % de surface foliaire nécrotique), due soit à la sénescence soit à la cercosporiose noire (Mobambo *et al.* 1994).

La sévérité de la maladie a été évaluée toutes les 2 semaines, à partir de 2 mois après la plantation jusqu'à la floraison. Le pourcentage de surface foliaire présentant des symptômes a été noté en utilisant l'échelle de Stover et Dickson (1970) modifiée, telle que décrite par l'Institut international d'agriculture tropicale (Mobambo *et al.* 1993a).

Les paramètres de croissance évalués incluent la hauteur du pseudotrunc, la circonférence du pseudotrunc, le nombre de feuilles visibles et la hauteur du rejet le plus haut. Ils ont été enregistrés sur chaque plant à partir de 2 mois après la plantation jusqu'à la floraison, suivant la description de Swennen et De Langhe (1985).

Les paramètres de rendement évalués étaient le nombre de mains par régime, le nombre de fruits par régime et le poids des régimes.

Les données collectées ont été analysées en utilisant les procédures ANOVA du système d'analyse statistique SAS (SAS 1988) pour des dispositifs en blocs complètement randomisés. Le test des champs multiples de Duncan (DMR) à un niveau de signification de 0,05 a été utilisé pour comparer la moyenne des traitements pour chaque paramètre.

Résultats et discussion

Conditions de sol

Les résultats des analyses de sol présentés dans le tableau 1 montrent des différences significatives dans les quantités de nutriments entre les paillis de résidus de cultures (sciure de bois et balles de riz) et les autres pratiques de gestion telles que plante de couverture (*Vigna unguiculata*) et engrais minéral (NPK). Des différences statistiques ont été trouvées entre la sciure de bois et les balles de riz : ces dernières sont plus efficaces pour augmenter la fertilité du sol. Selon les échelles de Black (1965) et Brady (1984), dans des parcelles paillées avec des résidus de cultures, le sol était généralement modérément acide avec une quantité très élevée de carbone organique, une quantité élevée d'azote total, une quantité modérée de calcium et de magnésium et un niveau

Tableau 1. Propriétés chimiques du sol selon différentes pratiques culturales du bananier plantain à Kinshasa, Congo occidental, en 1998.

Traitement	pH	Carbone organique (%)	Azote total (%)	Cations échangeables (meq/100 g)		
				Ca	Mg	K
Témoin	4,2 a	1,15 a	0,11 a	1,22 a	0,21 a	0,15 a
Sciure de bois	6,2 c	3,51 c	0,25 b	6,51 c	1,87 c	0,87 c
Balle de riz	6,8 d	3,79 d	0,28 b	7,52 d	2,10 c	0,98 d
<i>Vigna unguiculata</i>	5,2 b	2,15 b	0,22 b	4,07 b	0,78 b	0,46 b
N-P-K	5,6 b	2,23 b	0,26 b	5,63 c	1,06 b	0,96 c

Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 0,05, selon le test des distances multiples de Duncan.

élevé de potassium. En revanche, dans les parcelles non paillées, le sol était extrêmement acide, avec une faible concentration de carbone organique, une quantité modérée d'azote total, une quantité faible de calcium, et un niveau très bas de magnésium et de potassium.

Ces résultats indiquent que les quantités de nutriments du sol sont plus élevées dans les parcelles paillées que dans les parcelles non paillées. Les paillis de résidus de cultures constituent de meilleures sources de nutriments et jouent ainsi un rôle d'engrais. Comme l'ont souligné Lal et Kang (1982), la matière organique constitue une composante clé de la fertilité du sol, en tant que réservoir de nutriments, principale source de capacité d'échange de cations, et promoteur majeur de la stabilité structurale des agrégats.

Réponse des plantes-hôtes à la cercosporiose noire

Des différences significatives ont été trouvées entre les plants paillés avec des résidus de cultures (sciure de bois et balles de riz) et ceux non paillés (témoins, plante de couverture et engrais) en ce qui concerne la durée d'évolution des symptômes, la plus jeune feuille tachée, le pourcentage de surface foliaire présentant des symptômes et la durée de vie des feuilles (tableau 2). La sévérité de la cercosporiose noire était beaucoup plus faible sur les plants paillés que sur ceux non paillés. Cependant, parmi les paillis de résidus de culture, ce sont les balles de riz qui sont statistiquement les plus efficaces pour ralentir le développement de la maladie.

Le développement des symptômes de la cercosporiose noire chez les plants paillés

était beaucoup plus lent que chez les plants non paillés. Chez les plants paillés avec des résidus de cultures, il a fallu presque un mois de plus à la maladie pour atteindre le stade du dernier symptôme, par rapport aux témoins. Pour les plants ayant reçu de l'engrais et ceux ayant bénéficié d'une plante de couverture, les valeurs de la durée d'évolution des symptômes étaient respectivement de 40 et 36 jours, soit 2-3 semaines de moins que pour les plants paillés.

En ce qui concerne la plus jeune feuille tachée (PJFT), les résultats montrent la même tendance que pour la durée d'évolution des symptômes (tableau 2). Il existe des différences significatives entre les plants paillés avec des résidus de cultures et les plants non paillés. Chez les plants paillés, la PJFT était la feuille 11 avec les balles de riz et la feuille 9 avec la sciure de bois, alors que chez les plants ayant reçu de l'engrais et ceux ayant bénéficié d'une plante de couverture, la PJFT était la feuille 8. Les plantes non traitées (témoins) avaient la plus faible valeur de PJFT, soit 6.

Ces résultats indiquent que, lorsque l'on utilise le paillis de balles de riz, les plantes émettent trois feuilles saines supplémentaires par rapport aux traitements engrais ou plante de couverture, et cinq feuilles saines supplémentaires par rapport au témoin. Donc, avec un temps d'émergence foliaire d'environ une feuille par semaine chez les bananiers plantain en général, la fertilité du sol (tableau 1) due au paillis de balles de riz retarde l'évolution des symptômes de 3 semaines par rapport aux parcelles ayant bénéficié d'engrais ou d'une plante de couverture, et de 5 semaines par rapport aux parcelles témoins.

Tableau 2. Réponse des bananiers plantain en tant que plantes-hôtes de la cercosporiose noire selon différentes pratiques culturales à Kinshasa, Congo occidental, en 1998.

Traitement	Durée d'évolution des symptômes (DES, jours)	Plus jeune feuille tachée (PJFT)	% de surface foliaire présentant des symptômes (% SFPS)	Durée de vie des feuilles (DVF, jours)
Témoin	23,0 a	5,5 a	19,6 d	62,5 a
Sciure de bois	50,0 c	9,3 c	4,2 a	125,7 d
Balles de riz	56,8 c	10,9 d	3,8 a	130,3 d
<i>Vigna unguiculata</i>	35,5 b	7,5 b	10,3 c	80,3 b
N-P-K	40,0 b	8,1 b	6,9 b	103,3 c

Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 0,05, selon le test des distances multiples de Duncan.

Des différences prononcées ont également été obtenues entre les plants paillés et non paillés en ce qui concerne le pourcentage de surface foliaire présentant des symptômes (tableau 2). Alors que dans les parcelles ayant bénéficié d'engrais ou d'une plante de couverture, les plants présentaient respectivement 10,3 et 6,9 % de surface foliaire infectée par la cercosporiose noire, seulement 3,8 à 4,2 % de la surface foliaire des plants était infectée dans les parcelles traitées par des paillis de résidus de cultures. La dissémination plus lente de la maladie dans les parcelles paillées est facilitée par une surface foliaire fonctionnelle plus grande que chez les plants des parcelles non paillées.

En ce qui concerne la durée de vie des feuilles, des différences significatives ont également été trouvées entre les plants paillés avec des résidus de cultures et les plants non paillés (tableau 2). Le développement plus lent de la maladie chez les plants paillés prolongeait la durée de vie des feuilles. Chez les plants traités avec des balles de riz et de la sciure de bois, il a fallu à la cercosporiose noire respectivement presque 9, 7 et 4 semaines de plus pour détruire les feuilles par rapport aux témoins, aux plants avec plante de couverture et aux plants fertilisés. Les témoins étaient les plus affectés par la maladie. Comme cela a déjà été rapporté, tous les cultivars de bananier plantain (*Musa* spp., groupe AAB) dans le monde entier sont sensibles à la cercosporiose noire (Fouré 1987, Mobambo *et al.* 1996b).

La différence dans la réponse des plantes-hôtes à la cercosporiose noire entre les bananiers plantain paillés avec des résidus de cultures et ceux non paillés est attribuée principalement à la différence de fertilité du sol. Plus la fertilité est élevée, plus la sévérité de la cercosporiose noire est faible. Sur des sols de meilleure qualité, cela se traduit par un développement plus lent des symptômes, des feuilles plus âgées présentant des taches sèches, une surface foliaire présentant des symptômes réduite et une durée de vie des feuilles plus longue (Mobambo *et al.* 1994).

Performances de croissance et de rendement

Les résultats présentés dans le tableau 3 montrent des différences significatives pour tous les paramètres étudiés : hauteur des plants (HP), circonférence des plants (CP), nombre de feuilles visibles (NFV), nombre de jours jusqu'à la floraison (NJF), nombre de jours pour le remplissage des fruits (NJRF), nombre de jours jusqu'à la récolte (NJR) et hauteur du plus haut rejet (HPRH).

Pour tous les traitements (paillis de résidus de cultures, engrais ou plante de couverture), les plants avaient des hauteurs similaires, mais ils étaient plus petits que les plants témoins. Cependant, en ce qui

Tableau 3. Paramètres de croissance de bananiers plantain cultivés selon différentes pratiques culturales à Kinshasa, Congo occidental, en 1998.

Traitement	HP (cm)	CP (cm)	NFV	NJF	NJRF	NJR	HPRH (cm)
Témoin	360,3 b	65,4 a	44 d	370 d	76 a	446 d	78,0 a
Sciure de bois	345,5 a	74,4 b	35 a	255 b	103 c	358 b	105,0 b
Balles de riz	340,0 a	76,6 b	34 a	232 a	110 d	342 a	145,0 c
<i>Vigna unguiculata</i>	349,5 a	68,8 a	41 c	295 c	86 b	381 c	80,5 a
N-P-K	342,2 a	66,8 a	38 b	268 b	102 c	370 bc	86,8 a

Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 0,05, selon le test des distances multiples de Duncan.

Légende : HP : hauteur des plants, CP : circonférence des plants, NFV : nombre de feuilles visibles, NJF : nombre de jours jusqu'à la floraison, NJRF : nombre de jours pour le remplissage des fruits, NJR : nombre de jours jusqu'à la récolte, HPRH : hauteur du plus haut rejet.

Tableau 4. Paramètres du rendement de bananiers plantain cultivés selon différentes pratiques culturales à Kinshasa, Congo occidental, en 1998.

Traitement	Nombre de mains par régime	Nombre de fruits par régime	Poids du régime (kg)	Rendement (t/ha)
Témoin	6,0 a	75 a	9,5 a	15,8 a
Sciure de bois	6,5 b	88 c	15,0 c	25,0 c
Balles de riz	6,5 b	90 c	17,5 d	29,2 d
<i>Vigna unguiculata</i>	6,2 a	82 b	11,0 a	18,3 a
N-P-K	6,2 a	87 bc	13,0 b	21,7 b

Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 0,05, selon le test des distances multiples de Duncan.

concerne la circonférence des plants et le nombre de feuilles visibles, les plants paillés avec des résidus de cultures avaient de meilleures performances que ceux non paillés. Une circonférence plus importante et un nombre de feuilles inférieur ont été obtenus chez les plants traités avec des balles de riz et de la sciure de bois par rapport aux plants non paillés. Les plants paillés avec des balles de riz fleurissaient nettement plus tôt et avaient une période de remplissage des fruits plus longue que ceux des autres traitements. Ils fleurissaient 5 mois plus tôt que les témoins et environ 1 à 2 mois plus tôt que les plants fertilisés et que ceux avec plante de couverture. L'effet combiné résultait en un cycle de production plus court pour les plants paillés avec des balles de riz, dont les régimes ont été récoltés respectivement 104 et 28 jours avant les témoins et les plants fertilisés. Les plants traités avec des balles de riz ont été récoltés 16 jours avant ceux traités avec la sciure de bois. Ils montraient également une meilleure production de rejets, le plus grand rejet – c'est à dire le rejet utilisé pour le cycle de production suivant – étant nettement plus grand que dans les autres traitements. Ceci devrait conduire à un cycle de repousse plus court pour les plants traités avec des balles de riz, par rapport aux autres traitements.

Les composantes du rendement évaluées étaient le nombre de mains par régime, le nombre de fruits par régime et le poids du régime (tableau 4).

Des différences significatives ont été observées entre les plants paillés avec des résidus de cultures (sciure de bois et balles de riz) et les plants non paillés (témoin, plante de couverture et engrais) pour ce qui

concerne le nombre de mains par régime et le nombre de fruits par régime (tableau 4). Les plants paillés avaient un plus grand nombre de mains et de fruits par régime que les plants non paillés.

Le rendement par hectare a été calculé à partir du poids moyen des régimes multiplié par la densité des plants. Les rendements étaient significativement différents entre les plants traités avec des balles de riz et les autres traitements. Le rendement des plants les plus performants traités avec des balles de riz était supérieur de respectivement 46 %, 37 % et 26 % à celui des plants témoins, traités avec plante de couverture et fertilisés. Le rendement des plants traités avec des balles de riz était de 14 % supérieur à celui obtenu avec la sciure de bois.

Ces résultats indiquent que les paillis de résidus de cultures confèrent des avantages importants pour la culture du bananier plantain : un rendement plus élevé, une maturité plus précoce ou un cycle de production plus court et une circonférence plus importante permettant de réduire les dégâts causés par le vent, qui sont une autre contrainte importante de la production de bananes plantain (Mobambo *et al.* 1996a).

Conclusion

Les recherches décrites dans cet article comparent différentes pratiques culturales pour la production de bananes plantain. Les effets des paillis de résidus de cultures (sciure de bois et balles de riz) ont été comparés à ceux de l'application d'engrais et d'une plante de couverture sur la fertilité du sol, la sévérité de la cercosporiose noire et les paramètres de croissance et de production des bananiers plantain.

Pour tous les paramètres évalués, les plants paillés avec des résidus de cultures se sont mieux comportés que les plants non paillés. La fertilité du sol est le facteur critique responsable de la différence entre les paillis de résidus de cultures, la plante de couverture et les engrais. Du fait du niveau élevé de fertilité dû à l'application de paillis de résidus de cultures, les bananiers plantain ont été moins affectés par la cercosporiose noire et, en conséquence, ont eu une meilleure croissance que ceux non paillés. Parmi les paillis utilisés, les balles de riz se sont montrées statistiquement plus efficaces que la sciure de bois.

Une gestion adéquate de la matière organique est donc essentielle pour la productivité durable du bananier plantain, permettant de minimiser la sévérité de la cercosporiose noire à moindres frais. En Afrique, le bananier plantain est cultivé principalement par des petits paysans, qui n'ont pas facilement accès aux engrais chimiques. Les possibilités des engrais organiques traditionnels tels que le compost, le fumier et les paillis de résidus de cultures doivent donc être mieux exploités. Une étude intégrant les ressources organiques et la faune du sol pourrait aider à comprendre les mécanismes régulant les processus biologiques pour l'amélioration de la fertilité du sol, en relation avec la durabilité de la production du bananier plantain et la sévérité des maladies et des attaques de ravageurs.

Remerciements

Ces recherches ont été financées par la Fondation internationale pour la science (FIS), Stockholm, Suède. L'auteur est particulièrement reconnaissant envers Mme Ingrid Lindhe (Assistante dans le domaine des Sciences agronomiques) et Mme Josiane Lindberg (service achats) pour leur disponibilité, leur assistance et leur aide efficace pendant sa recherche. ■

Références

Anonyme. 1985. Caractéristiques climatiques de Kinshasa. Institut national de géographie. 85 pp.

Auboiron E. 1997. Propagation rapide de matériel de plantation de bananiers et plantains. La multiplication sur souche décortiquée. Fiche technique. CRBP, Douala, Cameroun.

Black N.C. 1965. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Pp. 515-545 *in* Methods of soil analysis. Part I : Physical methods (C.A. Black, ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Brady N.C. 1984. The nature and properties of soils. MacMillan Publishing Company, New York. 750 pp.

Brun J. 1963. La cercosporiose du bananier en Guinée. Etude de la phase ascosporee de *Mycosphaerella musicola* Leach. Thèse. Faculté des Sciences, Université Paris-Orsay. 196 pp.

FAO. 1990. Production Yearbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fouré E. 1982. Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Comportement des variétés. 1 : Incubation et évolution de la maladie. Fruits 37 : 749-766.

Fouré E. 1987. Varietal reactions of bananas and plantains to black leaf streak. Pp. 110-113 *in* Banana and plantain breeding strategies (G.J. Persley & E.A. De Langhe, eds). Proceedings of an International Workshop, 13-17 octobre 1986, Cairns, Australie. ACIAR Proceedings No. 21.

Lal R. & B.T. Kang. 1982. Management of organic matter in soils of the tropics and subtropics. Pp. 152-178 *in* Non-symbiotic nitrogen fixation and organic matter in the tropics. Symposia papers 1. 12th International Congress of Soil Science, 8-16 fév. 1982, New Delhi.

Meredith D.S. & J.S. Lawrence. 1970. Black leaf streak disease of bananas (*Mycosphaerella fijiensis*): susceptibility of cultivars. Tropical Agriculture 27 : 275-287.

Mobambo K.N., F. Gauhl, D. Vuylsteke, R. Ortiz, C. Pasberg-Gauhl & R. Swennen. 1993a. Yield loss *in* plantain from black Sigatoka leaf spot and field performance of resistant hybrids. Field Crops Research 35 : 35-42.

Mobambo K.N., M. Naku & Z. Nganga. 1993b. Situation de la maladie des raies noires des bananiers et bananiers plantain au Zaïre. INFOMUSA 2 : 14-15.

Mobambo K.N., K. Zuofa, F. Gauhl, M.O. Adeniji & C. Pasberg-Gauhl. 1994. Effect of soil fertility on host response to black leaf streak of plantain (*Musa* spp., AAB group) under traditional farming systems in southeastern Nigeria. International Journal of Pest Management 40 : 75-80.

Mobambo K.N., F. Gauhl, R. Swennen & C. Pasberg-Gauhl. 1996a. Assessment of the cropping cycle effects on black leaf streak severity and yield decline of plantain and plantain hybrids. International Journal of Pest Management 42 : 1-7.

Mobambo K.N., F. Gauhl, C. Pasberg-Gauhl & K. Zuofa. 1996b. Season and plant age affect evaluation of plantain for response to black Sigatoka disease. Crop Protection 15 : 609-614.

Purseglove J.W. 1988. Tropical crops: Monocotyledons. Longman Scientific & Technical, Singapour. 607pp.

SAS. 1988. Statistical Analysis Systems Procedures Guide, Release 6.03. SAS Institute, Cary, NC. 441 pp.

Swennen R. 1984. A physiological study of the suckering behaviour in plantain (*Musa* cv. AAB). Thèse de Doctorat. Université catholique de Louvain, Belgique. 180 pp.

Swennen R. & E. De Langhe. 1985. Growth parameters of yield of plantain (*Musa* cv. AAB). Annals of Botany 56 : 197-204.

Wilson G.F. 1987. Status of bananas and plantains in West Africa. Pp. 29-35 *in* Banana and plantain breeding strategies (G.J. Persley & E.A. De Langhe, eds). Proceedings of an International Workshop, 13-17 octobre 1986, Cairns, Australie. ACIAR Proceedings No. 21.

Patrick Mobambo Kitume Ngongo est professeur à la Faculté d'agriculture de l'Université de Kinshasa, BP 785, Kinshasa XI, République démocratique du Congo. Tél. : +243 99 18257 ; E-mail : pknmobambo@yahoo.fr

Maladies

Dissémination de la cercosporiose noire

Evolution de la cercosporiose noire au Venezuela : 1997-2000

G. Martínez, J. Hernández,
O. Tremont, R. Pargas
et E. Manzanilla

Depuis le premier signalement de la cercosporiose noire ou maladie des raies noires (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) au Venezuela, une grande incertitude plane quant à l'avenir de la production de bananes et de bananes plantain. La nature complexe de l'agent pathogène lui confère un potentiel élevé d'adaptation à des conditions nouvelles de climat, de fongicides ou de géotypes de l'hôte (Ploetz 2000). Ceci est amplement démontré par la perte d'efficacité de certains produits utili-

sés dans la lutte chimique tels que les benzimidazoles et les triazoles (Douglas et Ching 1992, Estévez 1992, Stover 1993, Guzmán *et al.* 2000, Romero 2000).

Cette situation fait ressortir l'ampleur du problème posé par cette maladie et rend nécessaire la mise en place de mesures de lutte intégrée par l'emploi de clones résistants possédant un potentiel de production élevé (Rowe et Rosales 1993). L'existence d'une étroite relation entre certains facteurs climatiques (humidité relative, température et précipitations) et l'agent pathogène conditionnent l'incidence et la gravité de la maladie (Fouré 1994, Gauhl 1994). C'est ce qui nous a permis d'une part, de dresser la carte de la diffusion de la maladie

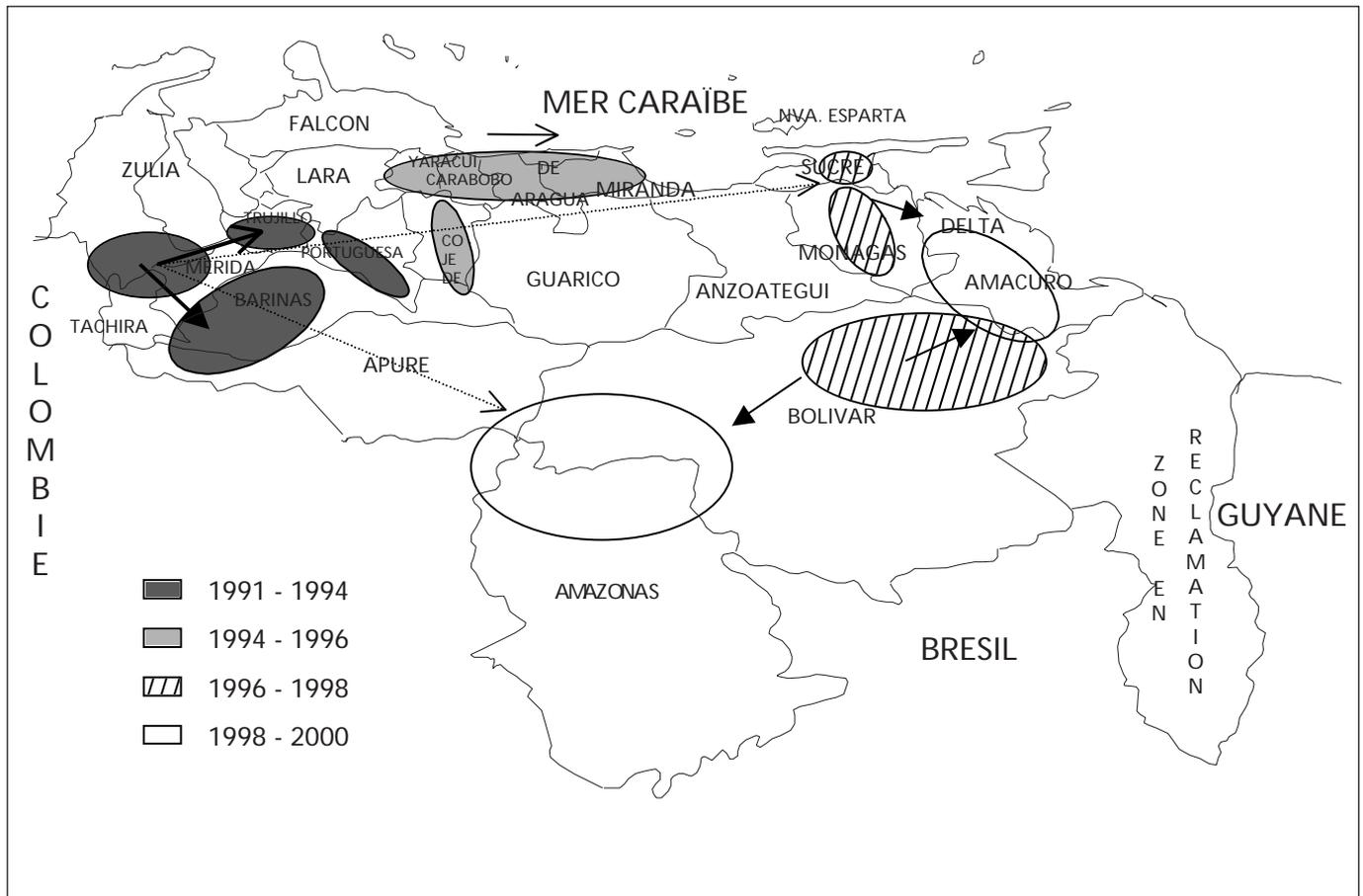


Figure 1. Progression de la cercosporiose noire au Venezuela de 1991 à 2000.

à travers le pays et d'autre part, d'intervenir sur son incidence à moyen terme dans des zones où sa présence n'avait pas encore signalée, comme en 1997 et en 1998 (Martínez 1997, Martínez *et al.* 1998).

Le travail présenté ici a pour but de faire connaître la situation actuelle de la cercosporiose noire au Venezuela, sa trajectoire de dissémination, ses relations avec les divers facteurs climatiques qui conditionnent son agressivité ainsi que les mesures prises pour son contrôle. On a effectué pour cela une expédition dans différents secteurs de la zone sud-est du Venezuela, recueilli des échantillons présentant les symptômes typiques de la maladie à fins d'identification, interrogé des producteurs et analysé les données climatologiques (humidité relative, précipitations et température).

Situation actuelle et progression de la maladie

La cercosporiose noire a été détectée pour la première fois au Venezuela en 1991 dans l'Etat de Zulia, région occidentale (Haddad *et al.* 1992, Escobar et Ramírez 1995), puis elle s'est étendue à différentes zones et Etats (Martínez 1997, Martínez *et al.* 1998). Il est fait mention dans ce rapport de son arrivée dans l'Etat de Bolivar et, entre 1999 et 2000, dans les Etats de Delta Amacuro et Amazonas (extrêmes est et sud du pays, respectivement). En se basant sur leurs condi-

tions de précipitations et d'humidité relative (Martínez 1997, Martínez *et al.* 1998), ces régions ont été déclarées à haut risque d'infection potentielle à court terme (figure 1).

Elles sont caractérisées en effet par des précipitations supérieures à 1500 mm/an, une humidité relative supérieure à 79 % et une température moyenne située entre 25 et 28 °C (figures 2 et 3), ce qui est significatif quant à la relation établie entre le climat, l'incidence et le développement de la maladie (Fouré 1994, Gauhl 1994, Mobambo 1995). Elles présentent de grandes différences avec la région de Maracay où les précipitations moyennes sont de 922 mm/an avec six mois de sécheresse. Cette situation a permis d'établir un modèle de comparaison entre deux états de conditions agro-écologiques totalement différents auxquels sont corrélés les niveaux critiques de gravité atteints par la maladie. Ce modèle sert de référence pour mettre en place des mesures de lutte tenant compte des conditions climatiques et pour empêcher un possible développement dans les zones présentant des caractéristiques semblables (Martínez *et al.* 2000).

Fouré (1994) fait état de relations existant entre les paramètres climatiques et le développement de la maladie, qui permettent une meilleure compréhension de la dynamique de l'épidémie dans les zones de

production et de son potentiel d'initiation de futures infections. La libération d'ascospores est forte en temps de pluie du fait de la présence d'une pellicule d'eau résiduelle à la surface des feuilles, dont la face inférieure présente plus de nécroses. Les feuilles sèches qui restent collées à la plante représentent donc une excellente source d'inoculum (Gauhl 1994). En ce qui concerne la température, on estime que les ascospores de *Mycosphaerella fijiensis* germent entre 10 et 38 °C, sachant que la température optimum de germination est de 27 °C et que la vitesse relative de croissance des tubes germinatifs diminue fortement pour des températures inférieures à 20 °C (Pérez et Mauri, cités par Pérez 1996). Pour ce qui est de l'effet du vent, on a observé que la concentration des conidies dans les plantations est plus élevée dans les couches d'air les plus basses que sur le feuillage alors que la concentration des ascospores dans l'air est la même : ceci confirme l'importance des ascospores dans le cycle de la maladie (Stover 1984, Gauhl 1994).

Il reste à souligner la présence de quelques accidents topographiques dans des zones géographiques bien déterminées et qui sont apparemment corrélés à la variation des facteurs climatiques mentionnés ci-dessus. Ils conditionnent donc également le développement et le niveau de gravité de la maladie. Le premier signalement de la mala-

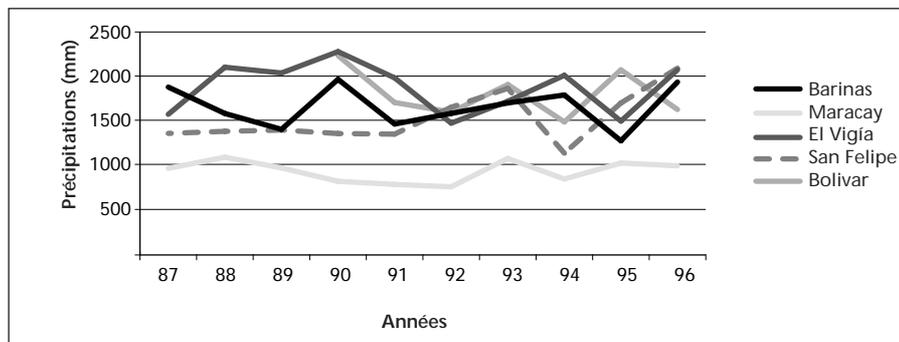


Figure 2. Niveaux de précipitations dans les zones de Barinas, Maracay, El Vigía, San Felipe et Bolivar (Source : FAV.MARNR, DANAC).

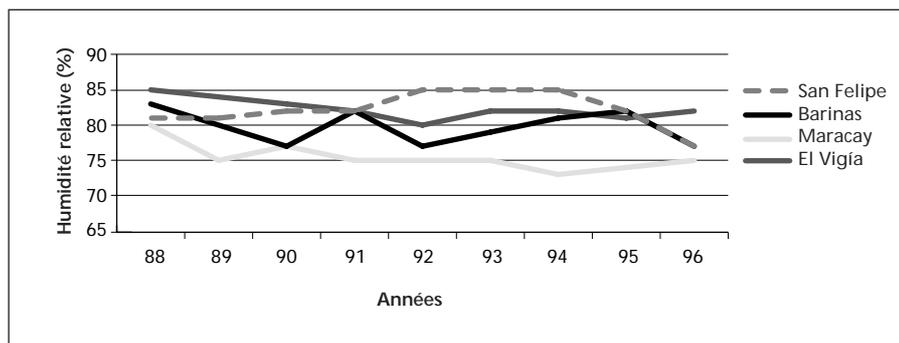


Figure 3. Niveaux d'humidité relative dans les zones de Barinas, Maracay, El Vigía et San Felipe. (Source: FAV.MARNR, DANAC).

die dans le pays porte sur la zone du lac de Maracaibo, où l'humidité relative élevée est peut-être due à la proximité du lac ainsi qu'à la topographie des paysages de la région. Ces conditions sont très semblables à celles régnant dans les environs du lac de Valencia (point d'entrée de la maladie dans l'Etat d'Aragua) et dans des secteurs proches des rives du fleuve Caroni, Hato Gil (Etat de Bolivar). De la même façon, la présence de la cordillère des Andes et de la chaîne montagneuse intérieure, qui constituent une barrière naturelle au passage des spores du champignon vers les régions adjacentes, aurait dû restreindre la diffusion de la maladie dans ces zones. Or, ce n'est pas le cas ; son apparition dans ces secteurs ne peut donc être due qu'au transport de matériel contaminé.

Impact de la maladie sur la gestion des plantations

Les enquêtes auprès des producteurs et les visites aux différentes zones du pays nous ont révélé que les plus grandes pertes sont survenues dans les parcelles où aucun contrôle des mauvaises herbes, des nématodes ou des insectes n'était effectué. Les feuilles sèches pendantes n'étaient pas éliminées et aucune fertilisation n'était pratiquée. A cela s'ajoutaient des problèmes d'arrosage et de drainage ainsi qu'une distribution inadéquate des plantes au champ. Les producteurs n'ont pas l'habitude d'éliminer les rejets ni d'utiliser des produits chimiques pour lutter contre les maladies.

Ils manquent d'assistance technique et de ressources pour acheter des intrants et des équipements. Enfin, il n'y a pas d'organisations de producteurs. Avec un rendement limité et consacré à la subsistance du noyau familial, les alternatives du petit producteur sont la vente de la plantation, le changement de culture ou l'abandon pur et simple de l'exploitation (Martinez *et al.* 2000).

Les producteurs de moyenne importance ont tendance à ajuster la superficie de leur plantation en fonction de l'augmentation des coûts de production, ce qui leur permet d'obtenir des rendements pondérés en accord avec l'investissement. Les gros producteurs réussissent à cohabiter avec la maladie comme on peut le constater au sud du lac de Maracaibo, où existent associations de producteurs et entreprises, qui améliorent la qualité du produit dans les plantations où il est destiné au marché international tandis que le rebut est écoulé sur le marché national et local, où il n'y a pas de contrôle de qualité (Martínez *et al.* 2000).

Changements observés dans la gestion des cultures en présence de la cercosporiose noire

La présence de la cercosporiose noire dans le pays a entraîné des changements radicaux dans la manière de conduire la culture des bananiers. Le point de vue traditionaliste qui consiste à gérer les plantations comme des cultures pérennes tend à être remplacé peu à peu par une gestion semi-pérenne, et dans

certain cas annuelle de la culture, avec des densités de plantation élevées en association ou non avec d'autres cultures de cycle court, ce qui permet d'augmenter aussi bien les rendements que la diversité des produits obtenus. Ceci a pu être mis en place grâce aux travaux de recherche menés par l'INIA, mais aussi grâce à l'importance grandissante de l'organisation entre les producteurs.

Au cours de tous les essais au champ, l'accent est mis sur une application efficace des pratiques culturales de base, telles que l'élimination des feuilles sèches pendantes et l'utilisation d'engrais, pratiques qui n'étaient pas effectuées couramment alors qu'il est démontré qu'elles contribuent à diminuer la quantité d'inoculum de l'agent pathogène sur la plantation et qu'elles mettent la plante en condition de moindre vulnérabilité face aux attaques du champignon (Gauhl 1994).

Bien évidemment, il faut s'efforcer de réduire les applications de produits chimiques et tendre vers la meilleure cohabitation possible avec le pathogène. En outre, on peut utiliser comme solution alternative des clones résistants que l'on place soit en lignes intercalaires dans les plantations commerciales de clones exploités traditionnellement dans le pays (afin de réduire la quantité d'inoculum disponible), soit comme plantation alternative à part entière ainsi que l'on peut le voir dans le secteur d'Occumare de la Costa, Etat d'Aragua. Là, on a choisi de cultiver le bananier plantain FHIA-21 dont le fruit possède une texture plus moelleuse que celle de "Hartón gigante", et qui permet la fabrication de "tostones" (ou chips) d'excellente qualité, très bien acceptés par les consommateurs, ce qui a facilité son introduction sur le marché. De la même façon, il faut noter qu'il existe d'autres possibilités de production telles que les hybrides FHIA-01, FHIA-02 et FHIA-03 qui possèdent un excellent niveau de productivité et un très bon comportement face à la maladie.

Conclusions

1. La vitesse de dissémination de l'agent pathogène dans le pays a subi une forte augmentation : son passage de la zone occidentale à la zone centrale a duré cinq ans alors que la dissémination de la zone centrale à la zone orientale et sud a demandé seulement un an. Il semble évident qu'une telle évolution a été favorisée par l'homme. Entraînant une augmentation de 40 à 45 % des coûts de production, la maladie a touché tout particulièrement les petits producteurs et mis en danger la survie de leur exploitation. L'avancée de la maladie sur le territoire national s'est poursuivie dans les états de Bolivar, Delta Amacuro et Amazonas entre 1997 et 2000.
2. Le cas de l'état d'Amazonas, frontalier avec le Brésil, est particulier. Le bananier

et le bananier plantain, cultivés par les communautés indigènes, constituent les éléments essentiels de leur régime alimentaire. L'écosystème de la région est fragile et il y existe une diversité génétique et biologique complexe. C'est pourquoi il y est contre-indiqué d'utiliser des produits chimiques de lutte et plutôt préconisé d'introduire des clones résistants ne nécessitant aucune application de fongicides et ce, même si ces cultivars ne sont pas totalement acceptés par les consommateurs autochtones.

3. Il est évident aujourd'hui que la présence de la cercosporiose noire dans le pays a entraîné des changements radicaux dans le mode de gestion agronomique des plantations. L'usage efficace, dans le cadre de la lutte intégrée, de pratiques culturales de base permet en effet une cohabitation avec l'agent pathogène, comme il a été démontré au cours des nombreux travaux de recherche menés par l'INIA.

Remerciements

Nous remercions tout particulièrement M. Daniel Muñoz pour sa précieuse collaboration dans la collecte des informations au champ, M. Marcos Sanoja, ingénieur à la *Corporación Venezolana de Guayana* (CVG), *Fundacite-Guayana* pour son appui logistique, le personnel du secteur climatologie de la Force Aérienne Vénézuélienne (FAV) à Maracay, le Ministère de l'environnement et des ressources naturelles renouvelables (MARNR) et la Fondation Polar, par l'intermédiaire de DANAC. ■

Références

Douglas M. & L. Ching. 1992. Monitoreo de sensibilidad de *Mycosphaerella fijiensis* al Benomil. Pp. 17-19 in Informe anual Corbana.

Escobar C. & M. Ramirez. 1995. Avance y establecimiento de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el occidente de Venezuela. Universidad Nacional Experimental del Táchira y Ministerio de Agricultura y Cria-SASA. VIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología. XIV Congreso Venezolano de Fitopatología. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Estévez M. 1992. Monitoreo sobre la resistencia de la Sigatoka Negra a fungicidas sistémicos, penetrantes, inhibidores de esteroides. Revista P.N.B. (Ecu) : 32-33.

Fouré E. 1994. Leaf spot diseases of banana and plantain caused by *Mycosphaerella fijiensis* and *M. musicola*. Pp. 37-46 in The improvement and testing of *Musa*: a global partnership. Proceedings of the first Global conference of the International *Musa* Testing Programme held at FHIA, Honduras (D. Jones, ed.). INIBAP, Montpellier, France.

Gauhl F. 1994. Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana in Costa Rica, Central America. PhD thesis originally presented in German. INIBAP, Montpellier, France. 120pp.

Guzmán M., A. Jiménez, R. Vargas & R. Romero. 2000. Caracterización de cepas de *M. fijiensis*, causante de la Sigatoka negra, con menor sensibilidad a fungicidas triazoles. P. 64 in Reunión ACORBAT 2000. Memorias.

Haddad O., M. Bosque, J. Osorio & L. Chávez. 1992. Aspectos fitosanitarios: Sigatoka negra medidas de prevención y control. FONAIAP Divulga 40 : 44-45.

Martínez G. 1997. Situation actuelle de la Sigatoka noire au Venezuela. *INFOMUSA* 6(1): 16-17.

Martínez G., R. Pargas, E. Manzanilla & D. Muñoz. 1998. La cercosporiose noire au Venezuela : Rapport 1997. *INFOMUSA* 7 (1) : 31-32.

Martínez G., J. Hernández & A. Aponte. 2000. Distribución y epidemiología de la Sigatoka negra

en Venezuela. Serie C 48. FONAIAP. Fundacite Guayana. 50 pp.

Mobambo K. 1995. Facteurs influant sur le développement de la cercosporiose noire chez le bananier plantain et les hybrides de plantain. *INFOMUSA* 4(1): 16-17.

Pérez L. 1996. Manual para el control integrado de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) en banano y plátano. Proyecto TCP/CUB/4454. 27pp.

Ploetz R. 2000. La enfermedad más importante del banano y el plátano: Una breve introducción a la historia, importancia y manejo de la Sigatoka negra. P. 117 in Reunión ACORBAT 2000. Memorias. Mesa redonda Sigatoka negra.

Romero R. 2000. Podemos evitar o disminuir el riesgo de desarrollo de resistencia a los fungicidas en las poblaciones de *M. fijiensis*? P. 118 in Reunión ACORBAT 2000. Memorias. Mesa redonda Sigatoka negra.

Rowe P. & Rosales F. 1993. Amélioration de diploïdes à la FHIA et création de la variété Goldfinger (FHIA-01). *INFOMUSA* 2(2): 9-11.

Stover R. 1984. Las manchas producidas por las Sigatokas en hojas de bananos y plátanos. Curso internacional de reconocimiento, diagnóstico y control de Sigatoka negra del plátano y banano. 14-18 mai, Tulenapa, Colombie. 15pp.

Stover R. 1993. Cambios en la sensibilidad de *Mycosphaerella fijiensis* al tilt. Informe UPEB 16(97): 41-44.

Les auteurs travaillent dans différents centres de l'Institut National de Investigations Agricola, INIA (anciennement FONAIAP), Venezuela. **Gustavo Martínez, Rafael Pargas** et **Edward Manzanilla** au CENIAP-Maracay, apartado postal 4653, Maracay. E-mail: martinezgve@yahoo.es/recfitog@reacciun.ve, **Julitt Hernández** au CIAE-Yaracuy et **Omar Tremont** au CIAE-Amazonas.

Fréquence de *Paracercospora fijiensis* et de *Pseudocercospora musae* chez le bananier plantain cv. "Dominico hartón"

C. Lorena Cardona -Sanchez
et J. Castaño-Zapata

La banane plantain (*Musa* sp.) est une culture de subsistance en Colombie où elle est, dans bien des régions, la base de l'alimentation de la population, surtout rurale, avec une consommation nationale *per capita* estimée à 68,5 kg/an. En règle générale, le bananier plantain est cultivé avec un minimum de pratiques agrono-

miques, ce qui a entraîné l'augmentation de l'intensité et de la dissémination de la cercosporiose noire (ou maladie des raies noires) et de la cercosporiose jaune (Merchán 1998), d'où une réduction de la production de près de 50 % (Burt *et al.* 1997).

Environ 384 957 ha sont cultivés dans le pays dont 75 % en bananier plantain "Hartón" et "Dominico hartón". Cette dernière variété est largement représentée dans les bananeraies colombiennes car elle est très bien acceptée sur le marché local en raison de la

taille de ses fruits et de leurs caractéristiques organoleptiques et ce, bien qu'elle soit extrêmement sensible aux cercosporioses noire et jaune dans la zone caféière marginale située à basse altitude (Merchán 1992).

Ces deux maladies sont aujourd'hui en compétition au-dessus de 1000 m d'altitude. Selon certains rapports cependant, la cercosporiose noire provoquée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet affecte actuellement les bananiers plantain "Dominico hartón" dans la municipalité de Victoria (Caldas) située à

1100 m d'altitude, en se montrant plus agressive que la cercosporiose jaune provoquée par *Mycosphaerella musicola* Leach, à laquelle elle s'est substituée en moins de six mois (Merchán 1992). Un comportement identique a été rapporté dans la municipalité de Pueblo Rico (Risaralda), située elle à 1560 m d'altitude (Merchán 1992). D'après les derniers rapports, la cercosporiose noire peut affecter le bananier plantain du niveau de la mer jusqu'à 1940 m d'altitude (Belalcázar *et al.* 1994).

Il est difficile de distinguer ces maladies au champ en observant seulement les symptômes externes. Ceux-ci ne permettent pas d'établir clairement quelle est celle qui a la plus forte incidence quand les deux coexistent (Aguirre *et al.* 1998b). Au microscope, *M. fijiensis* et *M. musicola* se distinguent principalement par les caractéristiques morphologiques différentes de leurs stades anamorphes, en particulier au niveau des conidiophores et des conidies. *Paracercospora fijiensis* possède sur ses conidiophores et ses conidies des cicatrices qui sont absentes chez *Pseudocercospora musae* (Aguirre *et al.* 1998b).

On pourrait avoir recours aux produits chimiques pour contrôler ces maladies mais cette pratique est peu adaptée au système de culture traditionnel. Aussi est-on à la recherche de solutions de rechange plus économiques, comme l'utilisation de matériel végétal résistant aux deux maladies pour diminuer la sporulation des agents pathogènes.

Le travail présenté ici a été entrepris dans le but de déterminer la fréquence du nombre de spores de *P. fijiensis* et de *P. musae* sur le bananier plantain "Dominico hartón", sensible à la cercosporiose noire et à la cercosporiose jaune.

Matériels et méthodes

Les recherches ont été menées dans le département de Tolima, à 7 km de la municipalité de Fresno, sur la route de Manizales (Caldas) qui conduit à Mariquita (Tolima), au lieu-dit La Ceiba, sur la plantation Campoalegre, située à 1250 m d'altitude, où la température oscille entre 18 et 25 °C, l'humidité relative varie de 65 à 100 % et les précipitations annuelles atteignent 1800 mm.

Le matériel végétal consistait en 1 600 plants du clone "Dominico hartón", issus de culture *in vitro* et multipliés au laboratoire de culture de tissus du Département de Phytotechnologie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Caldas. Ces plants ont été transplantés puis sevrés à la ferme Montelindo de l'Université.

Les évaluations hebdomadaires ont été effectuées sur 53 clones choisis au hasard. Les données ont été enregistrées à partir du 13 septembre 1998, date de début de la floraison, jusqu'à la récolte, réalisée le 13 mars 1999. Chaque semaine, on a prélevé des

empreintes des feuilles affectées par les cercosporioses afin de dénombrer la quantité de spores des stades anamorphes de *M. fijiensis* (figure 1) et de *M. musicola* (figure 2).

On réalise une empreinte en utilisant des seringues remplies d'agar solidifié en forme du réservoir, fabriqué avec une seringue jetable de 5 cm³ à laquelle on enlève l'extrémité antérieure pour former un cylindre de 1,26 cm de diamètre. Le réservoir est alors rempli d'agar cristal violet préparé en mélangeant 1 g d'agar bactériologique avec 15 ml de solution de cristal violet à 1 % et 100 ml d'eau distillée. Le mélange est autoclavé à 121 °C durant 15 mn. On y ajoute ensuite 1 mg de bénomyl et deux antibiotiques de streptomycine de 10 mg (Aguirre *et al.* 1998b).

Pour compter le nombre de conidies, on prend toutes les semaines une empreinte en pressant la surface de l'agar contre les

lésions de stade 4 ou 5 de la plus jeune feuille nécrosée de chaque matériel évalué. Le cylindre d'agar cristal violet ainsi incrusté de conidies est placé sur une lame porte-objets que l'on dépose dans un bac dont le fond est tapissé de papier absorbant imbibé d'eau stérile. Les bacs sont recouverts de film plastique et déposés dans une boîte hermétique en polystyrène ("icopor").

L'identification et le comptage du nombre de conidies par cm² de chacun des champignons sont réalisés au microscope composé *Olympus* au grossissement de x 40.

Les variables analysées sont : le nombre au cm² de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae*, la température (maximum, moyenne et minimum), l'humidité relative et les précipitations.

Pour chacune de ces variables on a procédé à une analyse de variance, aux descriptions des valeurs maximum, moyenne et minimum, à des régressions, à des corréla-



Figure 1. Conidies de *Paracercospora fijiensis*, anamorphe de *Mycosphaerella fijiensis*.

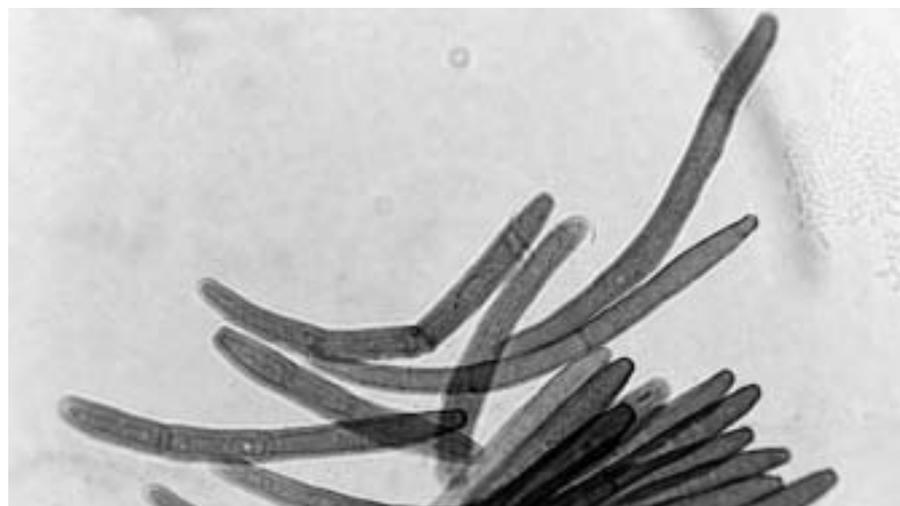


Figure 2. Conidies de *Pseudocercospora musae*, anamorphe de *Mycosphaerella musicola*.

tions de Pearson et à des tests du Chi-2. Les résultats ont été traités à l'aide du programme statistique SAS (*Statistical Analysis System*, SAS Institute 1980). Le nombre de conidies a été transformé par la fonction s'ajustant le mieux au comportement des données, soit $\text{Ln}x + 1$, où x égale le nombre de conidies par cm^2 .

Résultats et discussion

Les analyses de variance du comptage des conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* révèlent des différences très significatives entre les clones et les dates d'évaluation. En ce qui concerne l'interaction de ces deux facteurs, il apparaît des différences significatives pour *P. fijiensis* et très significatives pour *P. musae*. Ceci indique que la quantité d'inoculum produite dépend du matériel de plantation et de l'influence des conditions environnementales sur le développement de celui-ci (tableau 1).

Les processus d'infection et de production d'inoculum sont favorisés par les époques pluvieuses: au fur et à mesure que les précipitations s'accroissent, le nombre de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* augmente. On observe deux pics de production, l'un au 334^e jour après la plantation (JAP) et l'autre au 424^e JAP, pics qui coïncident avec les niveaux de précipitations cumulées les plus hauts atteints au cours de cette étude, soit respectivement 211,8 et 296,2 mm (figure 3A). Ceci est conforme aux observations faites par Aguirre *et al.* (1998a) qui remarquent que les précipitations cumulées varient de façon inversement proportionnelle à la période d'incubation et d'évolution des cercosporioses noire et jaune, alors qu'elle est directement proportionnelle à la sporulation. Cela signifie que si le volume de pluies cumulé par semaine augmente, les périodes d'incubation et d'évolution diminuent, entraînant donc une sévérité accrue des maladies et, par conséquent, une plus forte production d'inoculum des agents pathogènes. A partir du 424^e JAP, la relation établie entre le nombre de conidies et les précipitations commence à s'estomper. Il apparaît clairement au 473^e JAP que la production de conidies devient très faible bien qu'il y ait une augmentation des précipitations (192,5 mm), car le feuillage des plantes est alors sévèrement nécrosé: il n'y a plus de tissu sain à infecter.

La température et l'humidité relative restent relativement stables: autour de 21,5°C (figure 3B) et de 81% (figure 3C) en moyenne, conditions optimales pour la production de conidies. D'après Mouliom Pefoura et Mourichon (1990) et Tapia (1993), cités par Porras et Pérez (1997), des températures supérieures à 20°C favorisent le développement des conidies de *P. fijiensis*. Selon Stover (1965), des températures supérieures à 22°C favorisent la production de conidies de *P. fijiensis*, avec

Tableau 1. Composantes de l'analyse de variance (ANOVA) pour le nombre de conidies de *Paracercospora fijiensis* et de *Pseudocercospora musae*.

ANOVA	<i>P. fijiensis</i>					
	G.L.	C.M.	F	Pr > F	R ²	C.V. (%)
Modèle	985	6,83	3,74	0,0237*	0,99**	35,8
Erreur	8	183				
Clones	53	10,67	5,84	0,0061**		
Dates d'évaluation	18	56,59	30,97	0,0001**		
Interaction clone-date	859	5,53	3,03	0,0456*		
Total	943					

ANOVA	<i>P. musae</i>					
	G.L.	C.M.	F	Pr > F	R ²	C.V. (%)
Modèle	936	3,79	11,93	0,0004**	0,99**	23,31
Erreur	8	0,32				
Clones	53	3,39	10,67	0,0007**		
Dates d'évaluation	18	40,5	127,67	0,0001**		
Interaction clone-date	860	3,04	9,59	0,0009**		
Total	944					

* : Dénote des différences significatives, $p = 5\%$

** : Dénote des différences très significatives, $p = 1\%$

Note : Variables transformées par racine carrée du nombre de conidies.

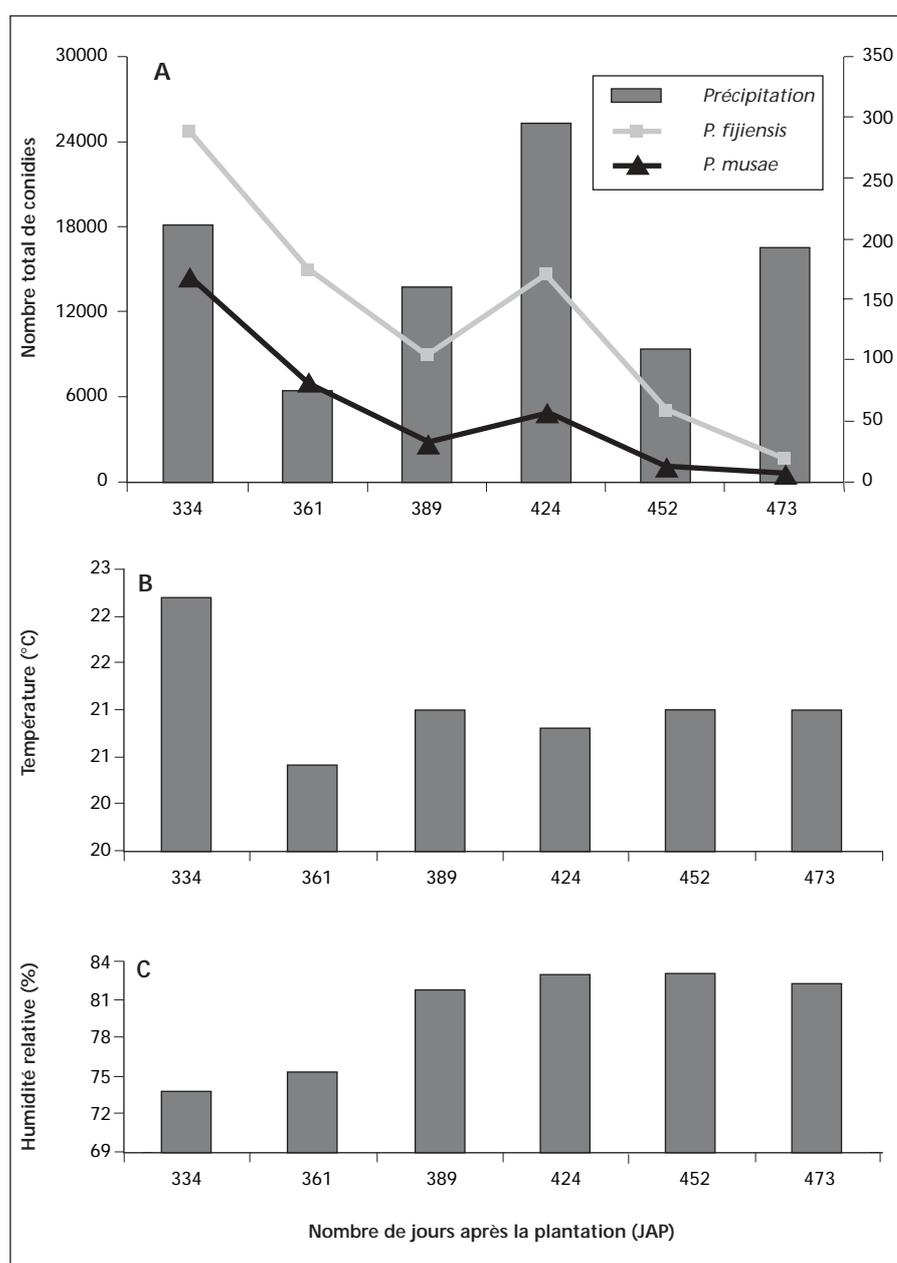


Figure 3. Nombre total de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* échantillonnées au cours du temps sur les 53 clones évalués et corrélation avec les conditions climatiques. A. Précipitations, B. Température et C. Humidité relative.

Tableau 2. Evolution dans le temps du nombre moyen de conidies échantillonnées de *P. fijiensis* et de *P. musae* par cm² de surface foliaire et leur écart-type en fonction des précipitations (septembre 1998 – mars 1999).

Jours (JAP)	Corrélation (r)	Conidies de <i>P. fijiensis</i>	Ecart-type	Conidies de <i>P. musae</i>	Ecart-type	Précipitations hebdomadaires (mm)
319	0,7782 **	45	65,96	37	58,55	81,60
326	0,7466 **	42	55,10	16	25,65	34,40
334	0,8464 **	26	46,98	12	24,87	95,80
340	0,8115 **	32	58,84	13	20,71	9,70
347	0,6622 **	23	29,70	12	27,17	21,00
361	0,8557 **	13	11,35	7	8,61	44,00
375	0,6407 **	31	37,79	9	14,34	51,80
389	0,7373 **	11	22,61	3	4,80	109,10
404	0,8552 **	22	41,92	8	14,96	173,70
411	0,6903 **	15	20,72	5	8,69	42,20
418	0,7697 **	16	18,44	4	6,55	25,30
424	0,6966 **	14	19,26	5	11,66	55,00
438	0,8575 **	14	21,65	2	3,78	51,90
452	0,6361 **	10	13,14	2	4,78	57,60
466	0,6028 **	5	6,05	2	3,68	103,20
473	0,8074 **	4	6,08	2	4,35	89,30
493	0,5474 **	3	3,62	1	2,50	220,80
Moyenne		19		8		81,32

** Corrélations très significatives entre la variation dans le temps du nombre de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* en fonction des précipitations.

Tableau 3. Comparaison du nombre moyen de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* par cm² de superficie foliaire des clones évalués en fonction des précipitations.

Jours (JAP)	Nombre moyen de conidies de <i>P. fijiensis</i>	Nombre moyen de conidies de <i>P. musae</i>	Précipitations (mm)
319	45 ^a	37	81,60
326	42	17	34,40
334	26	12	95,80
340	32	13	9,70
347	23	13	21,00
361	13	6	44,00
375	31	9	51,80
389	11	3	109,10
404	22	8	173,70
411	15	5	42,20
418	16	4	25,30
424	14	5	55,00
438	14	2	51,90
452	10	2	57,60
466	5	2	103,20
473	4	1	89,30
493	3	0	220,80
Total	281	139	1266,00

un optimum à 26°C (Stover 1965). Une humidité relative proche des 100 % favorise la reproduction et la viabilité des spores, surtout lorsqu'il persiste un film d'eau sur la feuille (Jacome et Schuh 1992).

La quantité de conidies de *P. fijiensis* reste toujours 2,3 fois supérieure au nombre de conidies de *P. musae* (tableau 2), ce qui permet d'affirmer que la cercosporiose noire tend à remplacer la cercosporiose jaune à cause de sa plus grande agressivité, conformément aux études réalisées par Aguirre *et al.* (1998a) dans la même zone et

qui ont démontré que la cercosporiose noire y était plus agressive : à certaines périodes de l'année, la cercosporiose jaune en venait même à disparaître, déplacée par la noire. En règle générale, on note une corrélation directe très significative entre le nombre de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* et le volume des précipitations, conformément aux études réalisées également par Aguirre *et al.* (1998a), qui ont constaté que la variation du nombre de conidies récoltées par semaine était fortement liée aux variations du volume des pluies.

A l'époque de la floraison, correspondant au début de l'étude, l'écart-type est élevé et le reste jusqu'au 452^e JAP, date à laquelle la majeure partie du matériel a développé une popotte. Cet écart-type élevé est dû principalement à l'influence des précipitations sur la production de conidies, comme on l'a déjà noté pour les résultats du tableau 2 où *P. fijiensis* présente une fréquence plus élevée que celle de *P. musae*.

Du 319^e au 347^e JAP, on note des précipitations cumulées de 242,5 mm correspondant à une fréquence élevée du nombre de conidies de chacun des deux champignons. Cependant, entre le 361^e et le 404^e JAP, les précipitations très importantes (378,6 mm) entraînent une diminution du nombre moyen des conidies de chaque pathogène. Il faut souligner qu'au 438^e JAP, on atteint la plus forte corrélation ($r = 0,8575$) entre le nombre de conidies et les précipitations (tableau 2).

Entre le 411^e et le 452^e JAP, on commence à voir une grande partie du tissu foliaire nécrosé. Cette période correspond à 232 mm de précipitations et à une moyenne de 14 conidies/cm²/clone de *P. fijiensis* et de 4 conidies/cm²/clone de *P. musae*.

A partir du 466^e JAP, en fin de cycle, les écarts-types sont faibles puisque la majorité des clones est alors très sévèrement affectée et qu'il n'y a plus de feuilles susceptibles de propager l'infection: d'où une population réduite de conidies de chacun des deux champignons et par conséquent un écart-type peu élevé. Au moment de la récolte, la quantité moyenne de conidies de *P. fijiensis* et de *P. musae* est respectivement de 4 et de 2 conidies/cm²/clone.

La population de conidies de *P. fijiensis* reste toujours supérieure en nombre à celle de *P. musae*, mais les deux populations diminuent au fur et à mesure que le tissu sensible sain se fait de plus en plus rare (figure 4).

Afin d'observer une éventuelle relation entre les deux pathogènes, on a effectué une régression entre le nombre de conidies par cm² de *P. fijiensis* et de *P. musae* sur tous les clones évalués. Le coefficient de corrélation très bas obtenu ($r = 0,40656$) (figure 5) indique que le nombre de conidies par cm² de *P. musae* ne dépend pas du comportement du nombre de conidies de *P. fijiensis* et vice-versa. La production de conidies chez chacun des clones dépend de la sensibilité du matériel végétal et des conditions climatiques, en particulier des précipitations. Et même si les conidies de *P. fijiensis* restent toujours supérieures en nombre, les conidies de *P. musae* ne suivent pas forcément leur comportement à la hausse ou à la baisse puisqu'il n'existe pas de relation étroite et directe entre les productions d'inoculum chez ces deux pathogènes.

En général, les clones évalués portent au total un plus grand nombre de conidies de

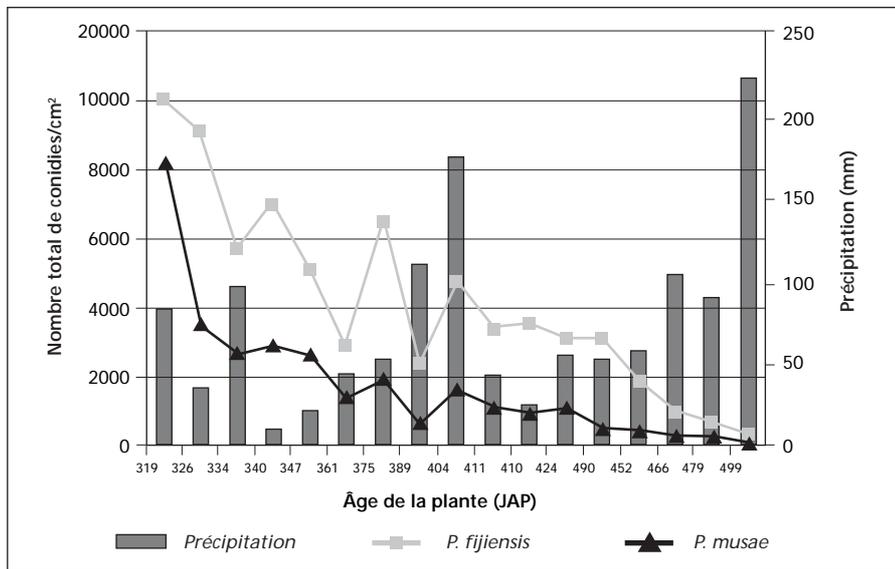


Figure 4. Evolution dans le temps de la fréquence de *P. fijiensis* et de *P. musae* et relation avec les précipitations.

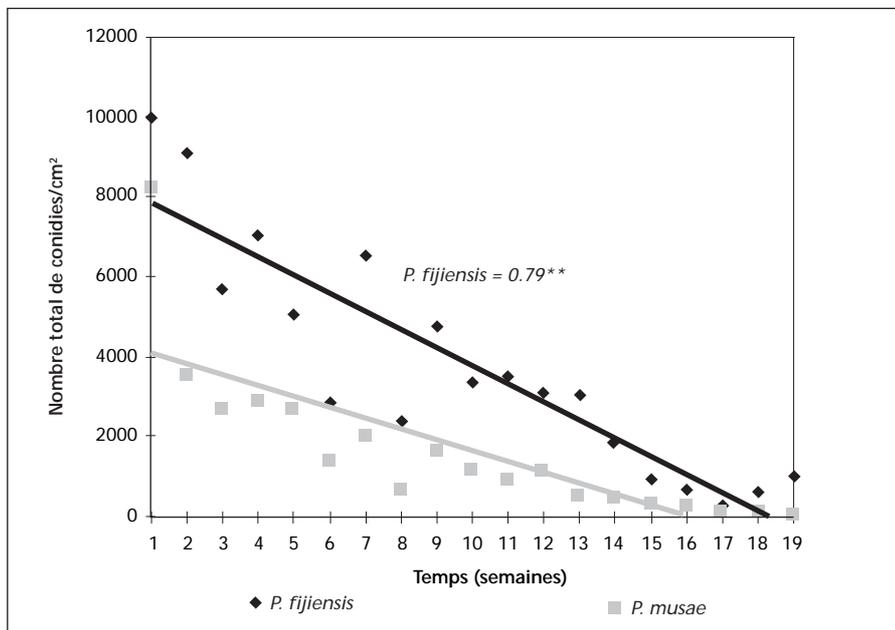


Figure 5. Relation dans le temps entre le nombre de conidies de *P. musae* et de *P. fijiensis*.

P. fijiensis, ce qui confirme que la cercosporiose noire a tendance à déplacer la cercosporiose jaune (tableau 3). ■

Références

Aguirre M.C., J. Castaño-Zapata, J.A. Valencia, L.E. Zuluaga & C. Arce. 1988a. Interacción de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y *M. musicola* Leach en siete genotipos de *Musa* sp. en un área límite de expansión de la Sigatoka negra en la zona cafetera colombiana. Pp.192-220 in Memorias del Seminario Internacional sobre Producción de Plátano. Universidad del Quindío – Comité de Cafeteros del Quindío – SENA – INABAP – CORPOICA.

Aguirre M.C., J.Castaño-Zapata & L.E. Zuluaga. 1998b. Método rápido de diagnóstico de *Mycosphaerella musicola* Leach y *M. fijiensis*

Morelet, agentes causales de la Sigatoka amarilla y Sigatoka negra. Agronomía 8(2) : 26-30.

Belalcázar C.S., V.F. Salazar, M.J.A. Valencia, S.C.H. Silva, P.M.I. Arcila & R. Jaramillo. 1994. Reacción de variedades mejoradas de plátano al ataque de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). Pp. 192-214 in Mejoramiento de la producción del cultivo del plátano. Segundo informe técnico 1984-1994. Región 9 ICA-CORPOICA. Creced-Quindio, Armenia, Colombia.

Burt J.A., J. Rutter & H. González. 1997. Short distance wind dispersal of the fungal pathogens causing Sigatoka diseases in banana and plantain. Plant Pathology 46(4) : 451-458.

Hernández G.J.C., J.A.C. Gómez & P.M.I. Arcila. 1994. Comportamiento agroeconómico de plántulas de plátano clon Dominico hartón *Musa* AAB

Simmonds, manejados bajo condiciones de almá-cigo. Pp. 41-54 in Mejoramiento de la producción del cultivo del plátano. Segundo informe técnico 1984-1994. Región 9 ICA-CORPOICA. Creced-Quindio, Armenia, Colombia.

Jacome L.H. & W. Schuh. 1992. Effects of leaf wetness duration and temperature on development of black Sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. Phytopathology 82(5) : 515-520.

Merchán V.V.M. 1992. Informe de actividades convenio ICA-IRFA. Subdirección Investigación Estratégica. CORPOICA Regional 9. Pp. 5-10.

Merchán V.V. M. 1998. Manejo de problemas fitosanitarios del cultivo del plátano en la zona central cafetera. Pp. 177-191 in Memorias del Seminario Internacional sobre Producción de Plátano. Universidad del Quindío – Comité de Cafeteros del Quindío – SENA – INIBAP – CORPOICA.

Porras A. & L. Pérez. 1997. Rôle de la température sur la croissance des tubes germinatifs des ascospores de *Mycosphaerella* spp., responsables des cercosporioses chez le bananier. *INFOMUSA* 6(2) : 27-31.

SAS Institute Inc. 1980. The SAS applications guide. (K.A. Council, ed.). SAS Inst., North Carolina. 195pp.

Stover R.H. 1965. Leaf spot of bananas caused by *Mycosphaerella musicola*: Effect of temperature on germination, hyphal growth, and conidia production. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 42(4) : 351-360.

Claudia Lorena Cardona-Sánchez est étudiante de premier cycle dans le cadre du Programa de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas et Jairo Castaño-Zapata est Professeur titulaire au Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Apartado aéreo 275, Manizales (Caldas), Colombie. Email: fitotec@cumanday.ucaldas.edu.co

Action du fongicide naturel F20 contre la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) chez le bananier plantain (AAB) et le bananier (AAA)

R. Sánchez Rodríguez,
J.A. Pino Algora, C. Vallin Plous,
M.E. Pérez Rodríguez, Y. Iznaga Sosa
et F. Malpartida Romero

La présence de la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis*) à Cuba depuis 1990 a eu pour conséquence l'augmentation des coûts de production des bananes et des bananes plantain en raison de l'accélération de la fréquence des aspersions phytosanitaires aériennes et terrestres destinées à combattre l'agent pathogène. Il est donc urgent de trouver des solutions de rechange en utilisant des produits fabriqués sur place afin de diminuer les coûts du contrôle de la maladie.

L'usage inconsidéré des produits chimiques entraîne des effets secondaires tels que l'induction de résistance aux fongicides de la part des agents pathogènes, la formation de souches plus virulentes que les souches locales, et une pollution environnementale (Rodríguez et Jiménez 1985, Fullerton et Olsen 1991, Mouliom Pefoura 1999).

L'emploi de produits naturels obtenus à partir de microorganismes présente de grands avantages par rapport aux produits du commerce : leur production est beaucoup moins dommageable pour l'écosystème et leur biodégradation *in situ* donne des composés qui ne sont pas toxiques pour la microflore locale. La recherche de divers produits nouveaux, d'origine naturelle et non polluants, destinés à la lutte contre les ravageurs et les maladies, constitue une alternative importante pour l'agriculture durable.

Le produit F20 est composé de deux antibiotiques : les streptothricines B et F. Ces antibiotiques sont, pour la plupart, produits par des microorganismes du genre *Streptomyces*. Ils possèdent un sucre aminé (glucosamine) auquel est liée une chaîne peptidique de β -lysine. La distinction entre les différentes streptothricines (de F à A) dépend du nombre de radicaux de la β -lysine sur la chaîne peptidique : de 1- β -lysine pour la F à 6- β -lysine pour la A.

Les propriétés physicochimiques des streptothricines, leur spectre d'activité antimicrobienne et leur toxicité sont bien connus (Wienstein et Wagmans 1978).

La littérature ne fournit pas d'exemples d'utilisation des streptothricines pour le contrôle des phytopathogènes et, en parti-

culier, il n'existe pas d'étude portant sur l'utilisation d'un antibiotique produit par des microorganismes pour la lutte contre les maladies du bananier ou du bananier plantain.

L'étude présentée ici montre la possibilité d'utiliser ces streptothricines dans le contrôle de la cercosporiose noire chez des clones de bananier (*Musa* AAB cv. "CEMSA 3/4") et de bananier plantain (*Musa* AAA cv. "Parecido al Rey").

Matériel et méthodes

La recherche s'est déroulée à l'*Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales* (INIVIT). Le produit F20, dont les principes actifs sont constitués principalement par les streptothricines B et F, a été obtenu par le *Centro de Química Farmacéutica* (CQF) en collaboration avec le *Centro Nacional de Biotecnología* de l'Université Nationale Autonome de Canto Blanco, Madrid, Espagne, par fermentation de souches de *Streptomyces lavendofoliae* var. 383 (productrice de streptothricine B) et de *Streptomyces rochei* var. f20 (productrice de streptothricine F) isolées de sols cubains. Le bouillon de fermentation une fois centrifugé, le surnageant a été chromatographié sur une résine échangeuse d'ions IRC-50 pour obtenir une solution saturée en acétate de sodium après élution à l'acide acétique.

La solution antibiotique saturée en acétate de sodium a été dissoute dans une solution aqueuse additionnée de 0,2 g/L de détergent du commerce (émulsifiant) et de 60 ml d'huile minérale de façon à obtenir une concentration finale de 5 à 13 g de streptothricine par litre, soit une dose de 80 à 200 g d'antibiotique par hectare. Le produit ainsi obtenu est appliqué par aspersions foliaires de 12 L/ha à l'aide d'un pulvérisateur dorsal motorisé dont le bras asperseur a été modifié de manière à reproduire les conditions d'une asperion aérienne. Les applications ont eu lieu les 8^e, 13^e, 17^e et 22^e semaines sur les bananiers et les 5^e, 11^e et 16^e semaines sur les bananiers plantain. Les feuilles atteintes par la maladie ont été éliminées tous les quinze jours pour tous les traitements et on a appliqué de l'huile minérale additionnée de 0,2 g/L du détergent commercial (émulsifiant) sur les plantes témoins afin de leur permettre de se maintenir tout au long du cycle biologique.

Chaque clone (bananier plantain "CEMSA 3/4" et bananier "Parecido al Rey") a été planté selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires comprenant 6 plantes par parcelle, avec 4 répétitions.

L'effet du produit F20 contre la cercosporiose noire a été comparé avec le témoin sans traitement phytosanitaire et avec les parcelles sous traitement chimique de propiconazol (Tilt 250 EC) appliqué aux doses de 400 ml/ha. Le F20 a été employé à des doses similaires à celles du propiconazol.

L'effet des fongicides a été évalué toutes les semaines en observant le stade d'évolution (SE) de la maladie, la plus jeune feuille présentant des symptômes ou des rayures (PJFS) et la plus jeune feuille tachée (PJFT) (Fouré 1982, Pérez 1996, Orjeda 1998).

Résultats et discussion

Les aspersions de F20 et de propiconazol (Tilt) avec de l'huile minérale ont entraîné la diminution de l'indice SE par rapport aux parcelles des clones "Parecido al Rey" et "CEMSA 3/4" n'ayant pas reçu de traitement (ST).

Sur la figure 1, on peut observer les résultats des applications phytosanitaires chez les deux clones. Les graphiques A et B montrent un comportement similaire pour les applications de F20 ou de Tilt. Ces réactions sont illustrées par des valeurs de SE n'ayant pas de différences significatives entre elles ($p > 0,05$) alors que chaque clone présente individuellement des différences significatives par rapport au témoin ($p < 0,01$).

L'effet de contrôle des produits appliqués se distingue en outre par la diminution du nombre d'oscillations des valeurs de SE sur les graphes et par l'amplitude de ces fluctuations pour chacun des clones. Par exemple, à la suite de l'application des produits à la 5^e semaine, les valeurs de SE diminuent régulièrement de 3000 à 50 pour le clone "CEMSA 3/4" jusqu'à la 10^e semaine, montrant que la vitesse de développement de la maladie est ralentie, alors que les valeurs de SE des plantes témoins oscillent pendant ce même laps de temps entre 1500 et 2500.

L'analyse de la variable PJFS (figure 2) montre qu'il n'y a pas de différences significatives ($p > 0,05$) entre les traitements de F20 et de Tilt. Cependant, chez le clone "Parecido al Rey", l'action de F20 est remarquable : le symptôme le plus faible de la

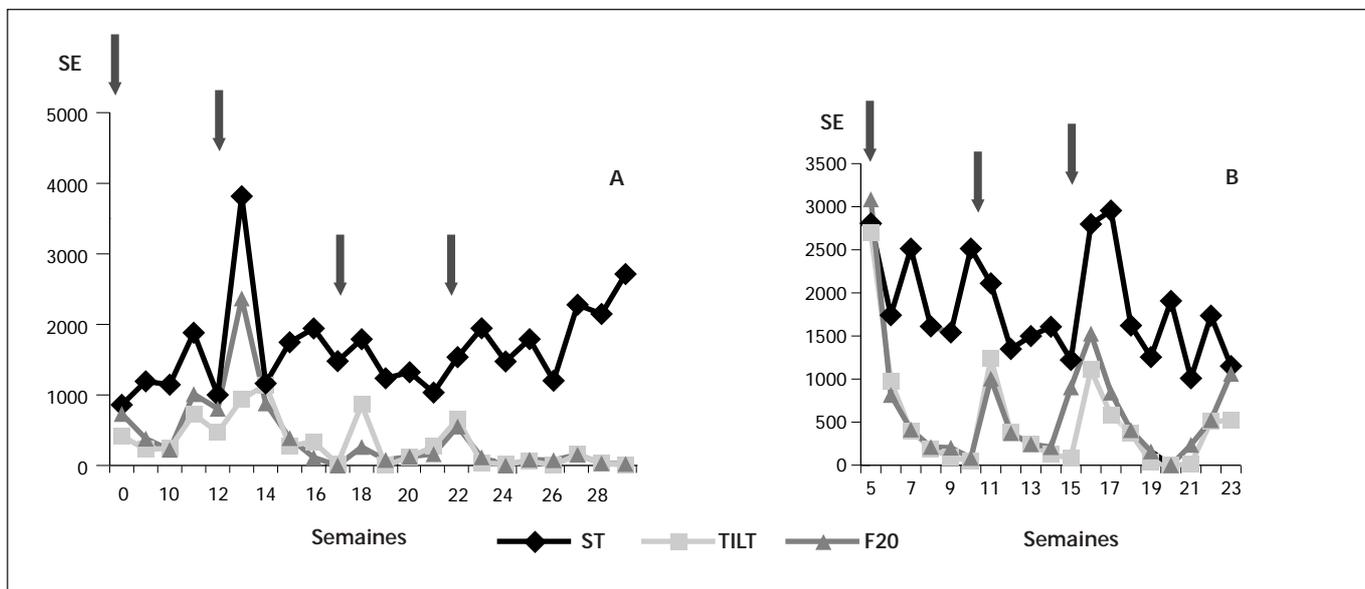


Figure 1. Effet des traitements F20 et Tilt sur le stade d'évolution (SE) de la cercosporiose noire chez les clones : A : "Parecido al Rey" (AAA) y B : "CEMSA ^{3/4}" (AAB). Les flèches indiquent les moments d'application. ST : témoin (sans traitement).

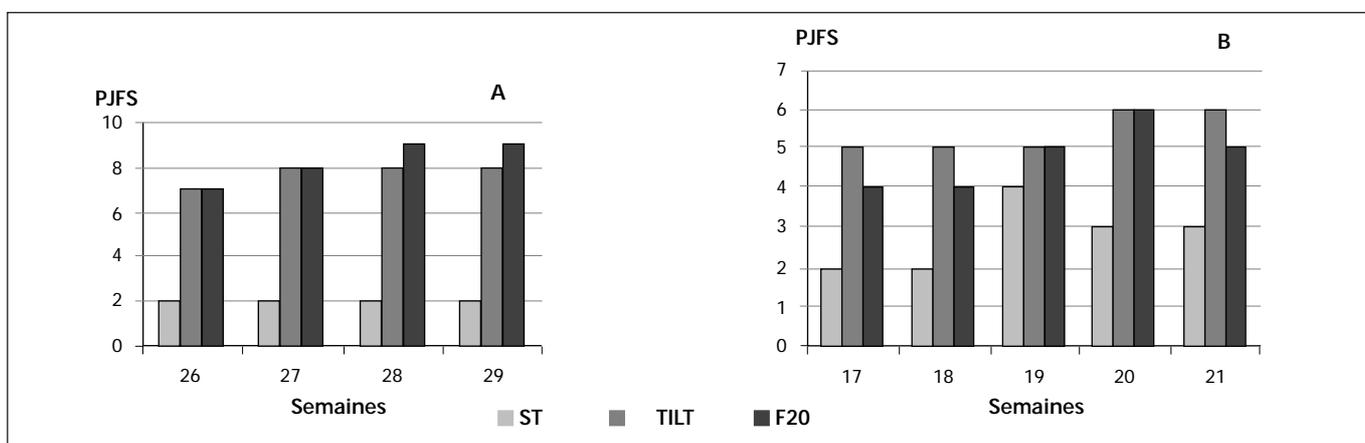


Figure 2. Plus jeune feuille présentant des symptômes ou des rayures (PJFS), semaines précédant la floraison, après application du produit sur les clones, A : "Parecido al Rey" (AAA) et B : "CEMSA ^{3/4}" (AAB) ; ST : témoin (sans traitement).

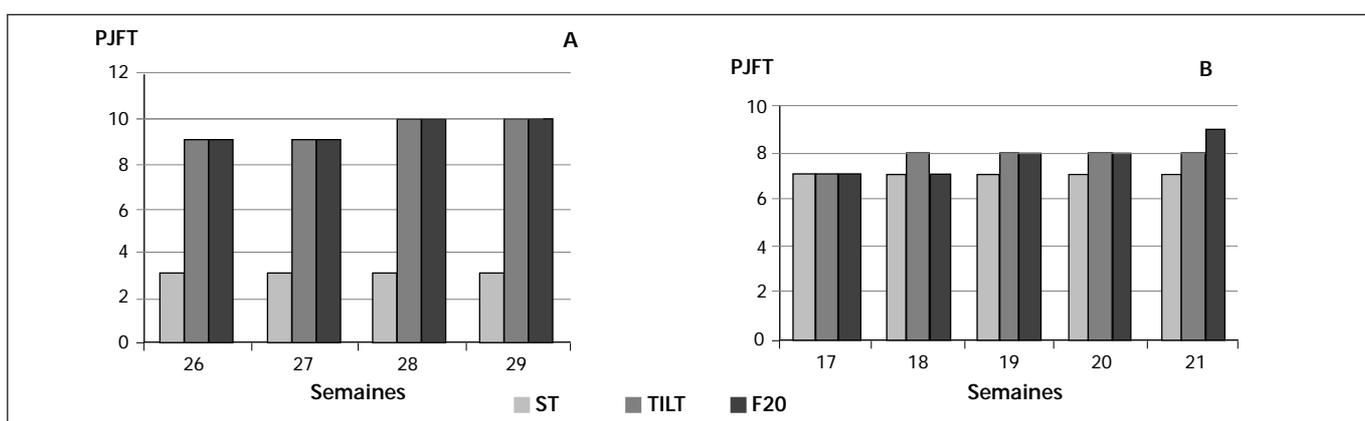


Figure 3. Plus jeune feuille tachée (PJFT), semaines précédant la floraison, après application du produit sur les clones, A : "Parecido al Rey" (AAA) et B : "CEMSA ^{3/4}" (AAB) ; ST : témoin (sans traitement).

maladie (stade 1) est relevé sur la feuille 9 (Pérez 1996).

La figure 3 montre qu'il est possible d'atteindre une valeur de la PJFT égale ou supérieure à 9 avant le début de la floraison, ce qui confirme qu'il n'y a pas de

répercussions sur le poids ou sur la maturité précoce des fruits de chacun des deux clones. En effet, on a noté à Cuba une forte corrélation négative entre la surface foliaire affectée et la PJFT (Pérez *et al.* 1993, Pérez 1996).

Les données analysées ci-dessus incitent donc à utiliser le produit naturel F20, en mélange avec de l'huile minérale et du détergent commercial comme émulsifiant, pour lutter contre la cercosporiose noire chez les bananiers et les bananiers plantain.

Le F20 est supérieur aux produits chimiques synthétiques sur le plan environnemental. Il faut enfin préciser que les deux clones ont un comportement différent car "CEMSA 3/4" présente des valeurs d'infection plus élevées. Pourtant, et pour éviter une résistance possible de la part du champignon, il est important que ce produit soit inclus dans les programmes de lutte intégrée en association avec d'autres produits antifongiques (Pérez 1996, Romero 1997).

Conclusions

- Le produit F20 ne présente pas de différences significatives par rapport au produit commercial Tilt pour ce qui est de l'efficacité du contrôle de la cercosporiose noire.
- L'efficacité maximum du F20 est obtenue en mélange avec de l'huile minérale et du détergent commercial comme émulsifiant et se maintient pendant les trois ou quatre semaines suivant l'application.
- L'application de doses allant de 80 à 200 g de streptothricine/ha permet de contrôler la cercosporiose noire au champ à n'importe quelle époque de l'année. Ce type de produit présente des avantages par rapport aux produits chimiques synthétiques en raison de sa biodégradabilité *in situ* qui donne des composés non toxiques pour la microflore du milieu et de sa toxicité moindre. ■

Références

- Fouré E. 1982. Les cercosporioses du bananier et leurs traitements : Etude de la sensibilité variétale des bananiers et des plantains à *M. fijiensis* Morelet au Gabon. *Fruits* 37(12) : 749-771.
- Fullerton R.A. & T. Olsen. 1991. Pathogenic variability in *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Pp. 105-114 in *Banana diseases in Asia and the Pacific*. Proceedings of a Regional technical meeting on diseases affecting banana and plantain in Asia and Pacific. (R.V. Valmayor, B.E. Umali and C.P. Bejosano, eds). INIBAP-ASPNET Book Series No. 3.
- Mouliom-Pefoura A. 1999. First observation of the breakdown of high resistance in "Yangambi km 5" (*Musa* sp.) to the black leaf streak disease in Cameroon. *Plant Disease* 83(1): 78.
- Orjeda G. 1998. Evaluation of *Musa* germplasm for resistance to Sigatoka diseases and *Fusarium* wilt. INIBAP Technical Guidelines No. 3. INIBAP, Montpellier, France.
- Pérez L., A. Hernández & F. Mauri. 1993. Efficacy of a biological warning system for timing fungicide treatments for the control of black Sigatoka disease *Mycosphaerella fijiensis* Morelet in banana plantations in Cuba. in *Proceedings VI International Congress of Plant Pathology*, 28/07-06/08/1993, Montreal, Canada.
- Pérez L. 1996. Manual para manejo integrado de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola* Leach ex Mulder) en banano y plátano. FAO, Representación de la FAO en Cuba, La Habana. 54 pp.

- Romero R.A. 1997. Avances en epidemiología y manejo de la Sigatoka negra del banano. *Agronomía Costarricense* 21(1): 77-81.
- Rodríguez R. & L. Jiménez. 1985. El problema de la tolerancia de *Mycosphaerella fijiensis* al fungicida Benomil en plantaciones bananeras de Costa Rica. ASBANA. 16 pp.
- Wienstein M.J. & G.H. Wagman. 1978. Antibiotics. Isolation, separation and purification. *Journal of Chromatography Library* 15: 625-680.

R. Sánchez Rodríguez et J.A. Pino Algora travaillent à l'Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), Apdo. 6, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba, CP 53000; C. Vallin Plous, M.E. Pérez Rodríguez et Y. Iznaga Sosa au Centro de Química Farmacéutica, (COF), Calle 2000 et 21, Atabey 16042, Playa, Ciudad Habana, Cuba et F. Malpartida Romero au Centro Nacional de Biotecnología, Campus de la Universidad Nacional Autónoma, 28049 Canto Blanco, Madrid, España.
 Adresser la correspondance à: Robersy Sánchez,
 E-mail: inivit@ip.etcscu

Variations saisonnières de *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* chez certains cultivars de bananier

P. Sundararaju

Les nématodes qui produisent des lésions tels que *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* sont considérés comme les ravageurs causant les pertes économiques les plus importantes chez le bananier, et sont largement représentés dans l'Inde du sud (Koshy *et al.* 1978, Rajendran *et al.* 1979). La distribution géographique du nématode du bananier *R. similis* couvre l'ensemble des zones de culture du bananier dans les régions tropicales et subtropicales du monde entier. En Inde, la première apparition de ce nématode a été rapportée au Kerala, dans le district de Palghat (Nair *et al.* 1966), causant des pertes de rendement atteignant jusqu'à 41 %. Par la suite, la présence de ce nématode a été signalée chez le bananier en Inde du sud (Koshy *et al.* 1978), au Gujarat

(Sethi *et al.* 1981), au Maharashtra (Darekar *et al.* 1981), au Madhya Pradesh (Tiwari *et al.* 2000), à Goa (Koshy et Sosamma 1988), dans les îles Lakshadweep (Sundararaju 1990), à Manipur (Anandi et Dhanchand 1992), à Orissa (Mohanty *et al.* 1992), à Tripura (Mukherjee *et al.* 1994), au Bihar, dans l'Uttar Pradesh et au Nagaland (Khan 1999).

Il a été rapporté que *Pratylenchus coffeae*, nématode des lésions racinaires, s'est répandu dans différentes régions de culture du bananier par l'intermédiaire de cormes infestés. En Inde, ce nématode a été trouvé chez les bananiers plantain (AAB) en Inde du sud, au Gujarat, à Orissa, au Bihar et à Assam (Sundararaju 1996). *P. thornei*, l'autre espèce importante, n'a été identifiée chez le bananier qu'à Assam (Choudhury et Phukan 1990).

Chez les bananiers, les pertes de production causées par les nématodes sont très éle-

vées, avec des baisses de rendement annuel de l'ordre de 20 % en moyenne au niveau mondial (Sasser et Freckman 1987). La température du sol à une profondeur de 30 cm n'influence pas la taille des populations (Jimenez 1972). Les populations fluctuent selon l'échantillon, la plante, le mois et l'année. Cependant, l'apparition de populations minimales et maximales se fait à des moments bien déterminés de l'année. Une étude détaillée réalisée par Sundararaju (1996) dans différentes régions de culture du bananier en Inde a révélé la présence de 17 genres de nématodes phytoparasites. Parmi eux, les nématodes des lésions, *R. similis* et *P. coffeae* sont les espèces prédominantes, présentes en quantités variables chez différents cultivars de bananiers. Dans les champs infestés par les nématodes du bananier, on observe un pourrissement important des racines, qui cause des pertes économiques importantes. Une baisse

de rendement de 25 à 35 % a été observée dans un champ infesté par les nématodes, par comparaison avec des champs non infestés. Des pertes de production de 25,4 % dues au nématode des lésions racinaires *P. coffeae* ont été rapportées sur le cultivar de bananier Nendran (Sundararaju *et al.* 1999). Des études ont donc été entreprises pour déterminer les fluctuations saisonnières des populations de ces nématodes chez différents cultivars de bananier, en effectuant des prélèvements périodiques sur des bananiers infestés par les nématodes dans la ferme du *National Research Centre for Banana* (NRCB). L'objectif principal de cette étude était de déterminer les pics d'activité, c.-à-d. les valeurs maximales et minimales des populations de ces nématodes parasites dans la rhizosphère, de sorte que les résultats de ce travail puissent être pris en compte lors de la mise en place de programmes de gestion des cultures.

Matériel et méthodes

Afin d'étudier les fluctuations des populations des nématodes des lésions, on a choisi les trois cultivars de bananier Kalyan bale (AB), Alukkal (ABB) et Kalibow (AAB), extrêmement sensibles à *R. similis*, et la variété Nendran (ABB), extrêmement sensible à *P. coffeae*, à la ferme du NRCB, Podhavur, Trichy, Tamil Nadu. Le champ infesté de nématodes a été sélectionné pour cette étude et les cultivars de bananier testés ont été cultivés dans ce champ, sur sol alluvial. Des échantillons de sol (250 cc) et de racines (10 g) ont été récoltés à la base des plantes-mères à intervalles d'un mois à partir du 5^e mois jusqu'au stade récolte en 1997-98. Des racines nourricières de couleur blanche à blanc-crème, présentant des lésions corticales brun-rougeâtre ont été récoltées à la base des plantes. On a pris soin de ne récolter que ce type de racines, qui sont celles abritant le plus grand nombre de nématodes. Pour effectuer l'extraction des nématodes, les échantillons de racines, soigneusement lavés et coupés en morceaux de 2 à 2,5 cm, puis en 8 fragments longitudinaux, ont été placés dans des boîtes de Pétri de 15 cm contenant 150 ml d'eau pendant 72 heures à 10-14 °C dans un réfrigérateur (Koshy *et al.* 1975). Pour l'estimation des populations de nématodes, les échantillons de sol ont été traités suivant la méthode de tamisage de Cobb, suivie par la méthode de l'entonnoir de Baermann modifiée. La température du sol à 15 cm de profondeur a été enregistrée au champ tous les jours à 7 heures. La température moyenne, l'humidité du sol et les données de précipitations cumulées ont été corrélées avec la densité des populations de nématodes dans les échantillons.

Résultats et discussion

La figure 1 montre une augmentation considérable de la population de *R. similis* chez

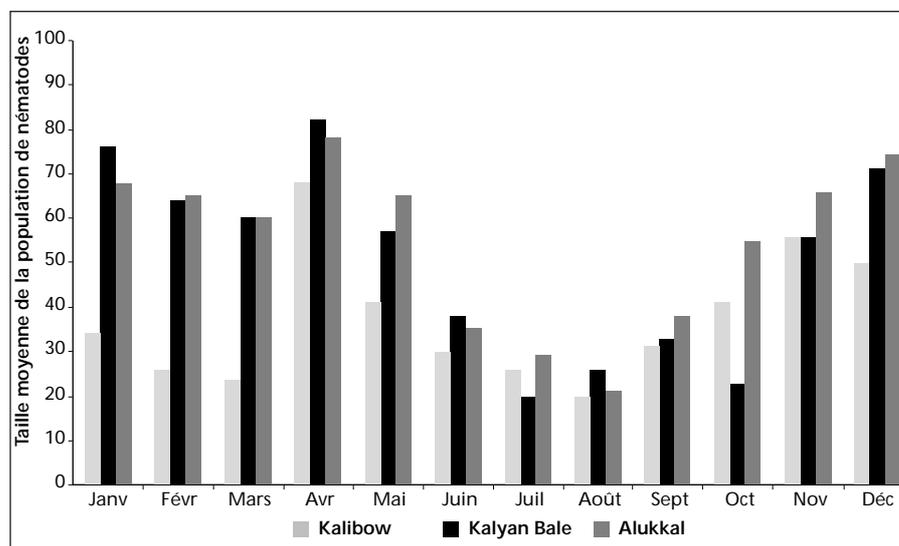


Figure 1. Fluctuations de la population de *Radopholus similis* dans les racines de bananier.

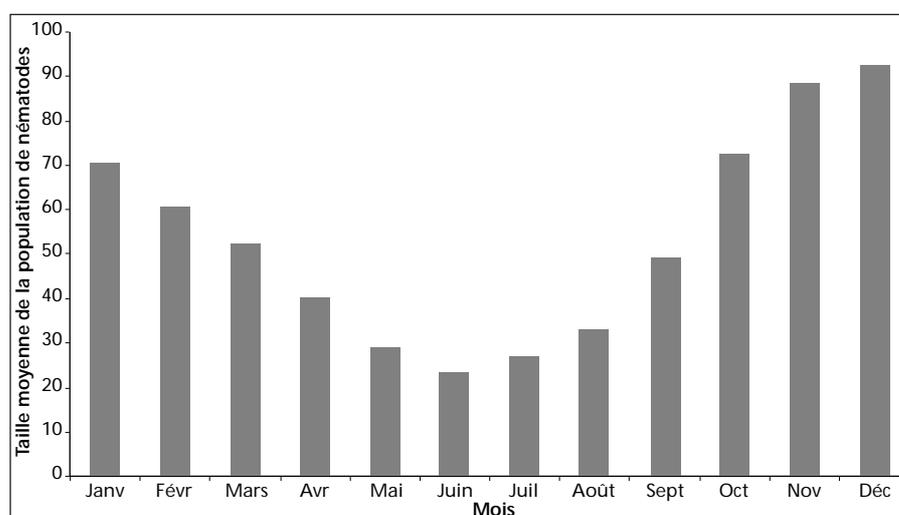


Figure 2. Fluctuations de la population de *Pratylenchus coffeae* dans les racines de bananier (cv. Nendran).

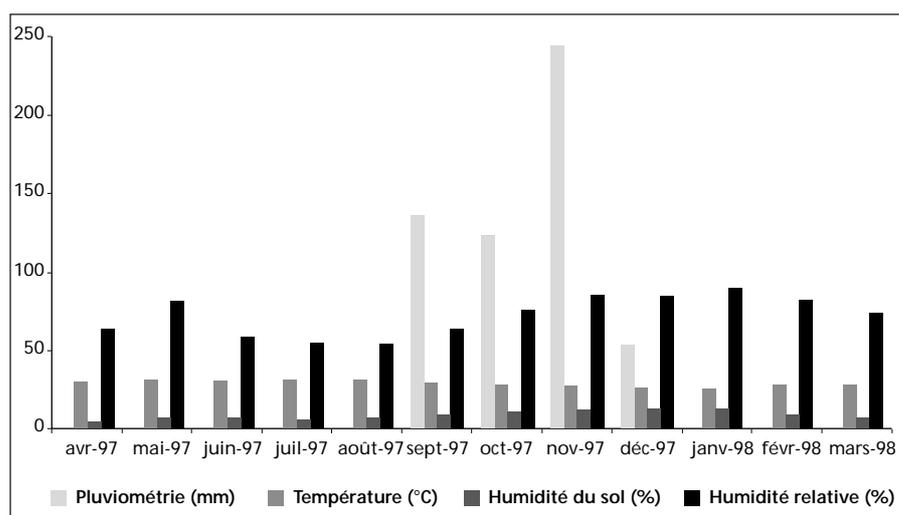


Figure 3. Pluviométrie mensuelle totale, température moyenne, humidité du sol et humidité relative à la ferme du NRCB, Podhavur, pendant la période expérimentale.

les trois cultivars au cours des mois de novembre à avril, suivie par une diminution jusqu'à un niveau négligeable de mai à octobre. Ceci est en accord avec les résultats de Shafice et Mendez (1975). Il est

intéressant d'observer que la population maximale de nématodes a été enregistrée en avril chez tous les cultivars, Kalayan bale (86/g de racines), Alukkal (78/g de racines) et Kalibow (68/g de racines), et la popula-

tion minimale en juillet chez le cultivar Kalyan bale (20/g de racines). L'analyse des échantillons de sol a également révélé la même tendance que dans le cas des échantillons de racines, la population maximale ayant été observée pendant les mois de novembre à avril, la pluviométrie et l'humidité du sol étant maximales pendant cette période. Dans le cas de *P. coffeae* chez la variété Nendran, la population maximale a été enregistrée d'octobre à décembre, et la population minimale de mai à août (figure 2). En ce qui concerne la population moyenne mensuelle, un maximum de 92 nématodes par gramme de racines a été enregistré en décembre, pour seulement 23 par gramme en juin. La population de nématodes des échantillons de sol a montré la même tendance que les échantillons de racines, avec une population maximale d'octobre à décembre et une population minimale de mai à août. Le pic de précipitations a eu lieu pendant la mousson du Nord-Est (septembre à décembre), avec une pluviométrie moyenne de 140 mm. La température du sol à 15 cm de profondeur a varié de 18 à 37,5 °C. L'analyse de la teneur en eau du sol a révélé qu'elle était maximale au cours des mois pendant lesquels les populations de nématodes les plus élevées étaient enregistrées (figure 3). La pluviométrie influence également la croissance des racines. Ainsi, avec l'augmentation de la disponibilité du système racinaire, on a noté une augmentation de l'activité de *R. similis* de novembre à avril et de celle de *P. coffeae* d'octobre à décembre.

Les fluctuations des populations de *Pratylenchus* sp. sont corrélées avec la pluviométrie (Cooke et Draycott 1971). Le comportement de *P. coffeae* en relation avec la température du sol et la pluviométrie est semblable à celle de *P. crenatus* et *P. penetrans* chez le maïs (Miller *et al.* 1972). La faible humidité du sol, associée aux températures estivales élevées d'avril à août, s'est révélée défavorable à *P. coffeae* chez le palmier à huile (Sundararaju et Ratnakaran 2000). Ces résultats sont en accord avec ceux de Kumar (1984) qui a rapporté que des populations plus importantes de *P. coffeae* étaient enregistrées pendant les mois d'octobre à décembre, période de forte pluviométrie et d'activité racinaire maximale chez les caféiers.

Des observations similaires ont été rapportées pour le nématode *R. similis* chez les agrumes (DuCharme et Suit 1967), le bananier (Vilardedo 1976), le cocotier et l'aréquier (Koshy et Sosamma 1978).

La figure 1 montre que la population de *R. similis* fluctue selon le mois. Une augmentation régulière de la population de *R. similis* a été enregistrée pendant les mois de novembre à janvier, suivie d'une diminution progressive en février-mars, alors qu'une augmentation très forte de la population de nématodes était enregistrée en avril

chez le cv. Kalyan bale (figure 1). Une tendance similaire a été observée chez les cvs. Alukkal et Kalibow (figure 1).

Dans le cas de *P. coffeae*, une augmentation régulière de la population de nématodes a été enregistrée de septembre à décembre, suivie d'une diminution progressive de janvier à juin (figure 2).

Ceci montre clairement que l'accroissement de la population de *R. similis* et *P. coffeae* varie fortement en fonction de la saison et d'autres conditions écologiques telles que la pluviométrie, la température du sol, l'humidité du sol et la disponibilité en racines sensibles, qui ont également un rôle dans l'augmentation de la population.

Remerciements

L'auteur remercie le Dr H.P. Singh, ex-Directeur du NRCB, Trichy, pour avoir fourni les infrastructures nécessaires à ce travail. L'assistance technique apportée par M.T. Sekhar a été appréciée. Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre des programmes de recherche du NRCB. ■

Références

- Anandi Y. & D. Dhandachand. 1992. Nematodes of banana plantation in Imphal district, Manipur. *Curr. Nematol.* 3 : 153-58.
- Choudhury B.N. & P.N. Phukan. 1990. Distribution and occurrence of certain plant parasitic nematodes in different cultivars of banana. *Curr. Nematol.* 1 : 153-156.
- Cooke D.A. & A.P. Draycott. 1971. The effect of soil fumigation and nitrogen fertilization on nematodes in sugar-beet in sandy soils. *Ann. Appl. Biol.* 65 : 253-254.
- DuCharme E.P. & R.F. Suit. 1967. Population fluctuation of burrowing nematodes in Florida citrus groves. *Proc. Fla. St. Hort. Soc.* 80 : 63-67.
- Jiménez M.F. 1972. Seasonal fluctuations of *Radopholus similis* in the banana growing area of Pocco, Costa Rica. *Nematotropa* 2 : 6.
- Khan R.M. 1999. Distribution of *Radopholus similis* in India, its spread in new regions and an analysis of the nematofauna of banana crop pathosystem. *Nematol. Medit.* 27 : 239-245.
- Koshy P.K. & V.K. Sosamma. 1978. Studies on the population fluctuations of *Radopholus similis* in coconut and arecanut roots. *Indian Phytopath.* 31 : 180-183.
- Koshy P.K. & V.K. Sosamma. 1988. Occurrence of the burrowing nematode *Radopholus similis* in the state of Goa. *Indian J. Nematol.* 18 : 130.
- Koshy P.K., V.K. Sosamma & C.P. Radhakrishnan Nair. 1975. Preliminary studies on *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949 infesting coconut and arecanut palms in South India. *Indian J. Nematol.* 5 : 26-35.
- Koshy P.K., P. Sundararaju & V.K. Sosamma. 1978. Occurrence and distribution of *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949 in South India. *Indian J. Nematol.* 8 : 49-58.
- Kumar A.C. 1984. Investigations on Cannoncado die-back in coffee. *J. Coffee Res.* 14 : 85-103.

- Miller R.E., C.W. Bothroyd & W.F. Mai. 1972. Plant parasitic nematodes associated with corn roots in New York. *Phytopath.* 52 : 22 (Résumé).
- Mohanty K., N.K. Sahoo & S. Ray. 1992. Occurrence of *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Tgirbe 1949 on banana and pepper in wide areas of Orissa, India. *Afro Asian Nematol. Network.* 1 : 25-26.
- Mukherjee B., R.C. Nath & M.K. Dasgupta. 1994. New record on the occurrence of burrowing nematode, *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949 on banana in Tripura. *Indian J. Ent.* 28 : 553-554.
- Nair M.R.G.K., M.N. Das & M.R. Menon. 1966. On the occurrence of the burrowing nematode *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949 on banana in Kerala. *Indian J. Ent.* 28 : 553-554.
- Rajendran G., T.N. Naganathan & S. Vadivelu. 1979. Studies on banana nematodes. *Indian J. Nematol.* 9 : 54.
- Sasser J. N & D.W. Freckman. 1987. A world perspective on nematology: the role of the society. Pp. 7-14 *in* Vistas on Nematology (J.A. Veech and D.W. Dickson, eds). Society of Nematologist Inc., Hyattsville, USA.
- Sethi C.L., Siyandand & N. Srivastava. 1981. Occurrence of *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949 in Gujarat. *Indian J. Nematol.* 11 : 116.
- Shafice M. F. & J.M. Mendez. 1975. Seasonal fluctuations in *Radopholus similis* on three varieties of *Musa* species. *Universidad de la Habana, Serie 11, Sanidad vegetal No. 12.* 12pp.
- Sundararaju P. 1990. Occurrence of the burrowing nematode, *Radopholus similis* in the Union Territory of Lakshadweep Island. *Indian J. Nematol.* 18:112.
- Sundararaju P. 1996. Nematode pests of banana and their management. Pp. 17-19 *in* Souvenir, "Conference on challenges for banana production and utilisation in 21st Century" held at Trichy on 24-25 September 1996.
- Sundararaju P. & K. Ratnakaran. *In press.* Factors influencing the prevalence of the root-lesion nematode *Pratylenchus coffeae* on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Indian J. Nematol.*
- Sundararaju P., B. Padmanaban & S. Sathiamoorthy. 1999. Control of root-lesion nematode *Pratylenchus coffeae* in certain cultivars of banana. Pp. 46-47 *in* National Seminar on Nematological Research in India held at C.S. Azad University of Agri. & Tech. 17 December 1999 (Résumé).
- Tiwari S.P., I. Vadhera & G.S. Dave. 2000. Burrowing nematode *Radopholus similis* associated with banana crop in Madhya Pradesh. *Indian J. Nematol.* 30(1)38 : 41.
- Vilardebo A. 1976. Population dynamics of *Radopholus similis* in relation to climate factors and the physiology of the plant. *Nematotropa* 6 : 54-55.

L'auteur travaille au *Crop Protection National Research Centre for Banana*, 44 Ramalinga Nagar South Vayalur Road, Tiruchirappalli – 620 017, Inde.

Réponse de plantes-hôtes de bananiers Pisang jari buaya et Mysore à *Radopholus similis*

Duong Thi Minh Nguyet, A. Elsen,
Nguyen Thi Tuyet et D. De Waele

Les nématodes parasites des plantes sont une contrainte majeure à la production bananière dans le monde entier (Gowen et Quénehervé 1990). L'infection par les nématodes peut interférer avec l'absorption et le transport des nutriments et de l'eau, ce qui résulte en une croissance ralentie, un remplissage des fruits réduit et une sensibilité à la verse. Parmi les nématodes qui attaquent le bananier, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne est considéré comme l'espèce la plus destructrice (Sarah *et al.* 1996).

Les possibilités de contrôle des nématodes chez les bananiers sont limitées parce que les bananiers sont habituellement cultivés de manière continue par les petits agriculteurs et que des sources de résistance se sont avérées difficiles à trouver. La résistance à *R. similis* a été rapportée chez "Pisang jari buaya" (*Musa* AA – groupe Pisang jari buaya) et chez "Yangambi Km5" (*Musa* AAA – groupe Ibota) (Pinochet 1988, Víaen *et al.* 1998, Fogain et Gowen 1998, Stoffelen 2000). Le clone SH-3142, dérivé d'un génotype appartenant au groupe Pisang jari buaya, ainsi que le clone SH-1734 ont été identifiés comme très résistants à *R. similis* (Pinochet et Rowe 1979, Pinochet 1988). De plus, certains individus de Pisang jari buaya expriment des caractères agronomiques favorables, semblables à ceux des bananiers commerciaux.

La banane Mysore (*Musa* AAB) est un dessert très apprécié et délicieux. On dispose de peu d'informations sur la résistance et/ou la tolérance des bananiers Mysore à *R. similis*. Au cours d'un test concernant 17 génotypes de *Musa* AAB, Fogain (1996) a rapporté qu'aucun des génotypes n'était exempt d'infection, y compris "Pisang ceylan", le seul cultivar appartenant au groupe Mysore. L'objectif de notre étude était de mieux comprendre la réponse des génotypes appartenant aux groupes Pisang jari buaya et Mysore, en tant que plantes-hôtes d'une population de *R. similis* du Costa Rica, afin de trouver des sources supplémentaires de résistance à ce nématode fousseur.

Tout au long de l'étude, nous avons utilisé la terminologie de Bos et Parlevliet (1995) concernant la résistance et la sensibilité des plantes-hôtes aux pathogènes, et la méthodologie d'évaluation de la résistance aux nématodes chez *Musa* décrite par Speijer et De Waele (1997).

Matériels et méthodes

Préparation des plants de bananier

Treize génotypes de bananiers diploïdes (AA) appartenant au groupe Pisang jari buaya (essais 1 et 2, voir tableaux 1 et 2) et cinq génotypes triploïdes (AAB) du groupe Mysore (essai 3, voir tableau 3) ont été inclus dans cette étude. Deux bananiers triploïdes (*Musa* AAA), "Grande naine" et "Yangambi Km5", ont été inclus comme génotypes de référence en raison, respectivement, de leur sensibilité et de leur résistance élevées à *R. similis*. Les génotypes de *Musa* utilisés dans les essais ont été fournis par le Centre de transit de l'INIBAP (ITC), situé à l'Université catholique de Louvain. Après prolifération, régénération et enracinement (Banerjee et De Langhe 1985), chaque plant de bananier obtenu *in vitro* et muni de 3-4 feuilles et de 5-6 racines a été transplanté dans un pot en plastique d'un litre, de 12 cm de diamètre, contenant environ 1000 cm³ d'un substrat autoclavé de tourbe et de quartz (2:1). Pour maintenir une humidité élevée, les pots ont été placés sous un couvercle en plastique, qui a été entrouvert au bout de 2 semaines et retiré au bout de 4 semaines. La serre était maintenue à 25-30 °C et 70-80 % d'humidité avec une photopériode de 12 h d'éclairage/12 h d'obscurité. Les pots étaient arrosés selon les besoins et de l'engrais fourni en solution hydroponique (Swennen *et al.* 1986) toutes les 3 semaines après l'inoculation avec les nématodes. Les plants ont été inoculés avec les nématodes, soit 4 semaines après la plantation pour le groupe Pisang jari buaya, soit 8 semaines après la plantation pour le groupe Mysore, le nombre de nématodes étant trop faible dans l'essai avec les génotypes "Mysore".

Préparation de l'inoculum de nématodes

La population de *R. similis* utilisée dans les essais a été obtenue à partir de racines du cultivar "Valery" (*Musa* AAA) à Talamanca au Costa Rica. Cette population a été élevée en conditions monoaxéniques sur des disques de carotte et incubée à 28°C à l'obscurité pendant plusieurs générations (Moody *et al.* 1973, Pinochet *et al.* 1995). Les disques de carotte ont été passés au mixeur deux fois pendant 10 s (avec un intervalle de 5 s) et passés à travers des tamis à mailles de 106 et 25 µm. Les tissus de carotte collectés sur le tamis à mailles de 106 µm ont été rejetés, et les nématodes ont été récoltés sur le tamis à mailles de 25 µm.

Une suspension de 1000 nématodes vermiformes vivants a été introduite dans trois trous faits dans le substrat à la base de chaque plant. Les trous ont été rebouchés après inoculation.

Observation de la réponse des plantes-hôtes

Huit semaines après l'inoculation, les plants ont été récoltés pour observer la réponse des différents génotypes de bananier à *R. similis*. Les données suivantes ont été enregistrées :

Pourcentage de nécrose racinaire

La procédure suivie était celle décrite par Speijer et De Waele (1997). Cinq fragments de 10 cm de racines primaires fonctionnelles ont été récoltés et coupés longitudinalement. Le pourcentage de cortex racinaire montrant des nécroses a été noté pour chaque moitié de racine. Le maximum de nécrose par moitié de racine était de 20 %, soit une nécrose racinaire maximale de 100 % pour chaque groupe de cinq moitiés de racine.

Densité de la population de nématodes

Le système racinaire entier, incluant les cinq segments de racines observés pour évaluer la nécrose, a été pesé et coupé en fragments de 2 cm. Quinze grammes de racines fraîches ont été prélevés au hasard et macérés trois fois 10 s avec des intervalles de 5 s. La mixture a été versée à travers une série de tamis à mailles de 250, 106 et 40 µm, puis les tamis ont été rincés à l'eau courante. Les nématodes restant sur le tamis à mailles de 40 µm ont été récoltés dans un bécher avec de l'eau distillée. Les nématodes ont été comptés sous la loupe binoculaire dans des aliquotes de 6 ml pour chaque échantillon.

Dispositif expérimental et analyse des données

Trois essais ont été conduits, basés sur un dispositif complètement randomisé, avec soit huit répétitions par génotype (groupe Pisang jari buaya, essai 1, tableau 1 ; groupe Mysore, essai 3, tableau 3), soit neuf répétitions (groupe Pisang jari buaya, essai 2, tableau 2). Avant l'analyse statistique, le pourcentage de nécrose racinaire a été transformé par arcsin (x/100) et le nombre de nématodes converti en log₁₀(x + 1). Toutes les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) et les moyennes des paramètres comparées en utilisant le test HSD de Tukey avec P ≤ 0.05.

Tableau 1. Reproduction de *Radopholus similis* (population du Costa Rica) sur huit géotypes de bananiers diploïdes (*Musa* AA) appartenant au groupe Pisang jari buaya et sur le géotype de référence "Grande naine", mesurée huit semaines après inoculation avec 1000 nématodes vermiformes par plant.

Géotype de <i>Musa</i>	Génome	Numéro ITC	Poids frais des racines (g)	Nécrose racinaire (%)	Nématodes par g de racines fraîches	Nématodes par système racinaire
Huwundu	AA	0308	35,3	22,4	ab	1050 a
Morong datu	AA	0309	41,0	14,5	ab	851 a
Morong princessa	AA	0310	29,9	30,5	b	972 a
Pisang rotan	AA	0313	41,1	16,6	ab	794 a
Pisang tunjiuk	AA	0315	44,2	7,9	a	255 a
Saing toddloh	AA	0316	36,0	6,8	a	297 a
Sans nom	AA	0318	43,2	11,3	ab	442 a
Umbarin	AA	0317	32,6	17,1	ab	495 a
Grande naine	AAA	1256	52,0	9,3	ab	528 a

ITC = Centre de transit de l'INIBAP.

Les données originales sont présentées, mais, pour l'analyse statistique, les données concernant le nombre de nématodes ont été transformées en $\log_{10}(x+1)$ et les données concernant le pourcentage de nécrose racinaire ont été converties par arcsin ($x/100$). Les moyennes dans une même colonne suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P \leq 0,05$) selon le test HSD de Tukey.

Tableau 2. Reproduction de *Radopholus similis* (population du Costa Rica) sur cinq géotypes Pisang jari buaya, sur "Yangambi Km5" et sur le géotype de référence "Grande naine", mesurée huit semaines après inoculation avec 1000 nématodes vermiformes par plant.

Géotype de <i>Musa</i>	Génome	Numéro ITC	Poids frais des racines (g)	Nécrose racinaire (%)	Nématodes par g de racines fraîches	Nématodes par système racinaire
Gabah gabah	AA	0307	74,4	11,0	a	588 c
Pisang gigi buaya	AA	0310	64,0	8,4	a	741 c
Pisang jari buaya	AA	0312	54,9	11,9	a	1053 c
SH-3142	AA	0425	52,7	8,9	a	108 a
Pisang sipulu	AA	1308	60,6	8,9	a	579 bc
Yangambi Km5	AAA	1123	57,2	7,8	a	120 ab
Grande naine	AAA	1256	43,9	25,0	b	2041 c

ITC = Centre de transit de l'INIBAP.

Voir note tableau 1.

Tableau 3. Reproduction de *Radopholus similis* (population du Costa Rica) sur cinq géotypes de bananiers triploïdes (*Musa* AAB) appartenant au groupe Mysore et sur le géotype de référence "Grande naine", mesurée huit semaines après inoculation avec 1000 nématodes vermiformes par plant.

Géotype de <i>Musa</i>	Génome	Numéro ITC	Poids frais des racines (g)	Nécrose racinaire (%)	Nématodes par g de racines fraîches	Nématodes par système racinaire
Thap maeo	AAB	1301	101,3	17,3	a	852 ab
Gorolo	AAB	0723	45,6	22,8	ab	579 a
Pisang ceylan	AAB	0650	58,3	29,6	abc	804 ab
Lady finger (South Johnstone)	AAB	0583	51,8	36,9	c	679 a
Lady finger (Nelson)	AAB	0582	87,8	33,1	bc	1128 ab
Grande naine	AAA	1256	83,9	42,5	c	1552 b

ITC = Centre de transit de l'INIBAP.

Voir note tableau 1.

Résultats et discussion

Les résultats obtenus avec le groupe Pisang jari buaya sont présentés dans les tableaux 1 et 2. Dans le tableau 1, aucune différence significative n'a été observée dans le nombre de nématodes par système racinaire ou par gramme de racines fraîches, et le pourcentage de nécrose racinaire entre les géotypes de "Pisang jari buaya" et "Grande naine". Parmi les géotypes de "Pisang jari buaya", le pourcentage de nécrose racinaire était significativement plus élevé chez "Morong princessa" que chez "Pisang tunjiuk" et "Saing toddloh". Dans le tableau 2, la reproduction de

R. similis a été observée chez tous les géotypes étudiés. En général, les populations de nématodes récoltées dans les racines des géotypes de "Pisang jari buaya", y compris l'accession ITC0312 de "Pisang jari buaya", n'étaient pas significativement différentes de celles récoltées chez "Grande naine", mais significativement plus élevées que chez "Yangambi Km5" et SH-3142. Ce n'est que chez "Pisang sipulu" que le nombre de nématodes par gramme de racines fraîches s'est avéré non significativement différent de "Yangambi Km5". Les nombres de nématodes les plus bas ont été enregistrés chez SH-3142

et "Yangambi Km5". Le pourcentage de nécrose racinaire de tous les géotypes de "Pisang jari buaya", de "Yangambi Km5" et de SH-3142 était significativement inférieur à celui de "Grande naine".

Ces résultats montrent que tous les géotypes de "Pisang jari buaya" testés sont aussi sensibles à *R. similis* que "Grande naine". Ils confirment un rapport antérieur (Wehunt *et al.* 1978) qui indiquait que "Pisang jari buaya", "Gabah gabah", "Pisang sipulu" et "Pisang gigi buaya" sont significativement moins sensibles aux dommages racinaires (exprimés en pourcentage de nécrose racinaire) que "Grande naine". De manière surprenante, "Pisang jari buaya", qui avait été confirmé auparavant comme résistant à *R. similis* (Pinochet 1988, Viaene *et al.* 1998, Fogain et Gowen 1998, Stoffelen 2000) n'est pas apparu résistant dans notre étude. De plus, "Pisang sipulu", qui est considéré comme un géotype de bananier prometteur du fait de sa moindre sensibilité à *R. similis* (Wehunt *et al.* 1978, Binks et Gowen 1996) n'a pas non plus montré de résistance à *R. similis* dans notre étude.

Les résultats obtenus avec le groupe Mysore sont présentés dans le tableau 3. Le nombre de nématodes par système racinaire et par gramme de racines fraîches de "Gorolo" et "Lady finger" (South Johnstone) était significativement plus bas que chez "Grande naine", alors que ceux des autres géotypes "Mysore" n'étaient pas significativement différents du géotype de référence. Le pourcentage de nécrose observé chez "Thap maeo" et "Gorolo" était significativement plus bas que chez "Grande naine". En revanche, les pourcentages de nécrose racinaire de "Pisang ceylan", "Lady finger" (South Johnstone) et "Lady finger" (Nelson) n'étaient pas significativement différents de celui de "Grande naine".

Selon Price (1994) et Price et Mc Laren (1995), les géotypes de *Musa* AAB sont sensibles à *R. similis* lorsqu'ils sont observés dans des essais en champ. Malheureusement, des géotypes du groupe Mysore n'étaient pas inclus dans leurs essais. Notre étude confirme des rapports antérieurs (Stanton 1994, Fogain *et al.* 1996) qui indiquaient que "Lady finger" (Nelson), "Lady finger" (South Johnson) et Pisang ceylan sont sensibles à *R. similis*.

Remerciements

Les auteurs remercient le Centre de transit (ITC) de l'INIBAP à l'Université catholique de Louvain pour la fourniture des géotypes de *Musa* et de l'équipement nécessaires à cette étude. Le Conseil interuniversitaire flamand (V.L.I.R) est vivement remercié pour avoir financé les bourses de Mme Duong Thi Minh Nguyet et de Mme Nguyen Thi Tuyet, qui leur ont permis de réaliser cette étude dans le cadre de leur thèse de MSc dans le Cours international de troisième cycle de nématologie. ■

Références

- Banerjee N. & E. De Langhe. 1985. A tissue culture technique for rapid clonal propagation and storage under minimal growth conditions of *Musa* (banana and plantain). *Plant Cell Reports* 4 : 351-354.
- Binks R.H. & S.R. Gowen. 1996. Evaluation au champ de l'infestation de matériel génétique de *Musa* par les nématodes. *INFOMUSA* 5(2) : 15-17.
- Bos L. & J.E. Parlevliet. 1995. Concept and terminology on plant/pest relationships: toward consensus in plant pathology and crop protection. *Annual Review of Phytopathology* 33 : 69-102.
- Fogain R. 1996. Screenhouse evaluation of *Musa* for susceptibility to *Radopholus similis*: evaluation of plantains AAB and diploid AA, AB and BB. Pp. 79-86 in *Proceedings of a workshop on New frontiers in resistance breeding for nematode, Fusarium and Sigatoka*, 2-5 oct. 1995, Kuala Lumpur, Malaisie (E.A. Frison, J.P. Horry & D. De Waele, eds). INIBAP, Montpellier, France.
- Fogain R. & S.R. Gowen. 1998. "Yangambi Km5" (*Musa* AAA, Ibota subgroup): a possible source of resistance to *Radopholus similis* and *Pratylenchus goodeyi*. *Fundamental and Applied Nematology* 21 : 75-80.
- Fogain R., S.R. Gowen & F. Mekemda. 1996. Screening for susceptibility to *Radopholus similis*: evaluation of plantain AAB and diploid AA, AB and BB. *Tropical Agriculture, Trinidad* 73 : 281-285.
- Gowen S.R. & P. Quénehervé. 1990. Nematode parasites of bananas, plantain and abaca. Pp. 431-460 in *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (M. Luc, R.A. Sikora & J. Bridge, eds.). CAB International, Wallingford, Grande-Bretagne.
- Moody E.H., B.F. Lownsberry & J.M. Ahmed. 1973. Culture of the root-lesion nematode *Pratylenchus vulnus* on carrot disks. *Journal of Nematology* 5 : 225-226.
- Pinochet J. 1988. Nematodes problem in *Musa* spp.: pathotypes of *R. similis* and breeding for resistance. Pp. 66-70 in *Proceeding of a workshop on Nematodes and the borer weevil in bananas: present status of research and outlook*, 7-11 décembre 1987, Bujumbura, Burundi. INIBAP, Montpellier, France.
- Pinochet J. & P.R. Rowe. 1979. Progress in breeding for resistance to *Radopholus similis* on bananas. *Nematropica* 9 : 76-78.
- Pinochet J., C. Fernandez & J.L. Sarah. 1995. Influence of temperature on *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.
- Price N.S. & C.G. McLaren. 1995. Technique for field screening of *Musa* germplasm. Pp. 87-105 in *Proceedings of a workshop on New frontiers in resistance breeding for nematode, Fusarium and Sigatoka*, 2-5 oct. 1995, Kuala Lumpur, Malaisie (E.A. Frison, J.P. Horry & D. De Waele, eds). INIBAP, Montpellier, France.
- Sarah J.L., J. Pinochet & J. Stanton. 1996. *Radopholus similis* Cobb, nématode parasite des bananiers. Parasites et ravageurs des *Musa* - fiche technique n° 1. INIBAP, Montpellier, France. 2 pp.
- Stanton J.M. 1994. Status of nematode and weevil borer problems affecting banana in Australia. Pp. 48-56 in *Banana nematodes and weevil borers in Asia and the Pacific*. *Proceedings of a conference-workshop on Nematodes and weevil borers affecting bananas in Asia and the Pacific*, 18-22 avril 1994, Serdang, Selangor, Malaisie (R.V. Valmayor, R.G. Davide, J.M. Stanton, N.L. Treverrow & V.N. Roa, eds). INIBAP/ASPNET, Los Baños, Philippines. ASPNET Book Series N°5.
- Speijer P.R. & D. De Waele. 1997. Screening of *Musa* germplasm for resistance and tolerance to nematodes. INIBAP Technical Guidelines (1). INIBAP, Montpellier, France. 42 pp.
- Stoffelen R. 2000. Early screening of *Eumusa* and *Australimusa* bananas against root-lesion and root-knot nematodes. Doctoral thesis, Universiteit K.U. Leuven, Belgique.
- Swennen R., E. De Langhe, J. Janssen & D. Decoene. 1986. Study of the root development of some *Musa* cultivars in hydroponics. *Fruits* 41 : 515-524.
- Viaene N., J. Duenas & D. De Waele. 1998. Screening for resistance and tolerance to *Radopholus similis* and *Pratylenchus coffeae* in banana and plantain [Abstract]. P. 125 in *Programme and abstracts of the 24th International Symposium of the European Society of Nematologists*, 5-8 août 1998, Dundee, Ecosse (D. Brown, ed.).
- Wehnt E.J., D.J. Hutchinson & D.I. Edwards. 1978. Reaction of banana cultivars to the burrowing nematode (*Radopholus similis*). *Journal of Nematology* 10 : 368-370.

Duong Thi Minh Nguyet et Nguyen Thi Tuyet travaillent à l'Institut vietnamien des sciences de l'agriculture (VASI), Van Dien, Thanh Tri, Hanoi, Vietnam. Tél : (84) 4 861 43 25, Fax : (84) 4 861 71 67. Annemie Elsen et Dirk De Waele travaillent au Laboratoire d'amélioration des plantes tropicales, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, 3001 Leuven, Belgique. Tél : (32) 16 32 96 03, Fax : (32) 16 32 19 93. Auteur pour la correspondance : Email : nhbiovasi@fpt.vn ou anhnguyet1@hotmail.com

Effet de trois champignons mycorrhiziens arbusculaires sur l'infection du bananier par le nématode à galle des racines (*Meloidogyne* spp.)

A. Elsen, S. Declerck et D. De Waele

Les champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) sont des symbiotes obligatoires des plantes, biotrophes, qui colonisent le cortex racinaire et développent un mycélium extramatriciel qui aide la plante à capter l'eau et les nutriments minéraux du sol. Les CMA protégeraient également les plantes contre les pathogènes du sol, y compris les nématodes. Plusieurs études se sont intéressées aux associations entre les CMA et les nématodes à galle des

racines, qui sont considérés comme les nématodes les plus importants dans l'hémisphère occidental chez les plantes cultivées tempérées. Il a été rapporté que de nombreuses associations mycorrhiziennes ont un effet suppressif sur les nématodes endoparasites sédentaires. Chez certaines plantes cultivées, cet effet est suffisamment important pour que l'infection mycorrhizienne soit considérée comme un moyen de contrôle biologique plus ou moins efficace (Pinochet *et al.* 1996).

Chez les bananiers, les effets des CMA sur le développement des nématodes ont été

assez peu étudiés. Des populations de *Radopholus similis* dans les racines et dans le sol ont été supprimées chez des plantes mycorrhizées, par comparaison avec des plantes non mycorrhizées (Umesh *et al.* 1988). En conditions *in vitro*, en utilisant des racines de *Daucus carota* transformées par de l'ADN-T Ri, une population de *R. similis* a été supprimée à 50 % en présence de CMA (Elsen *et al.* 2001). Pinochet *et al.* (1997) ont rapporté que la colonisation mycorrhizienne n'avait pas d'effet sur l'accumulation des nématodes dans les racines, bien que les plantes infectées à la

fois par *Meloidogyne javanica* et *Glomus intraradices* présentent des galles plus nombreuses.

Dans l'étude présentée ici, trois espèces de *Glomus* (*G. mosseae*, *G. macrocarpum* et *G. caledonium*) ont été testées sur le cultivar de bananier Williams (ITC0570) pour leur effet sur *M. javanica*, une population de nématodes à galle des racines isolée à partir de bananiers au Maroc. De jeunes plants issus de culture *in vitro* ont été acclimatés en serre dans des pots d'un litre remplis de terre stérilisée. Pendant la transplantation, les plants du traitement mycorrhizien ont été mycorrhizés avec un inoculum de sol, consistant en \pm 1850 spores et 0,25 g de racines d'*Allium porrum* mycorrhizées. Au bout d'un mois, les plants ont été inoculés avec un mélange de 5000 juvéniles et œufs de *M. javanica*. L'essai était organisé selon un plan factoriel aléatoire 4 x 2, avec 8 répétitions par traitement : CMA (- CMA, *G. mosseae*, *G. macrocarpum* et *G. caledonium*) x *M. javanica* (+ *M. javanica*, - *M. javanica*). Trois mois après la plantation, les plants de Williams ont été récoltés et évalués pour la colonisation mycorrhizienne et les dégâts causés par les nématodes et leur développement. Un sous-échantillon a été coloré au bleu trypan à 0,05 % dans l'acide lactique (Koske et Gemma 1989), afin de déterminer la colonisation mycorrhizienne. Les galles sur les racines ont été comptées sur un sous-échantillon de 5 g après coloration à la phloxine B (Hadisoeganda et Sasser 1982).

Effet des CMA sur la croissance des plantes

Les CMA n'ont pas eu d'effet sur la croissance des plantes puisque le poids de la tige, le diamètre de la tige, la hauteur de la plante et le poids des racines n'étaient pas différents entre les traitements (résultats non présentés). En général, la mycorrhization des plants de bananier a entraîné une meilleure croissance, par rapport aux plants non mycorrhizés (Declerck *et al.* 1994, 1995). Cependant, dans certains cas, on a observé que l'établissement de la symbiose était sans effet ou avait un effet négatif sur la croissance des plantes, tant que la colonisation mycorrhizienne n'était pas bien développée (Jakobsen 1998). Ainsi, au moment de la récolte, la colonisation racinaire par les trois souches de *Glomus* testées était relativement faible. Ceci pourrait partiellement expliquer pourquoi, dans cet essai, aucun effet sur la croissance des plantes n'a été observé. De plus, il est important de noter les différences de colonisation obtenue selon les espèces de *Glomus* chez les plantes sans nématodes : la colonisation observée avec *G. mosseae* était supérieure à celle obtenue avec *G. caledonium* et *G. macrocarpum*. Ces différences ont aussi été rapportées dans la

littérature (Declerck *et al.* 1994, 1995). *G. mosseae* s'est avéré l'espèce la plus infectieuse sur Williams et d'autres cultivars, par comparaison avec *G. macrocarpum* (Declerck *et al.* 1995).

Effet des CMA sur la reproduction des nématodes

G. caledonium et *G. macrocarpum* ont réduit de manière significative la production de galles sur les racines, alors que cet effet n'était pas significatif avec *G. mosseae* (tableau 1). Dans la littérature, les résultats sont contradictoires: selon Pinochet *et al.* (1997), *G. intraradices* ne réduit pas l'accumulation des nématodes et induit plus de galles racinaires que chez les racines non mycorrhizées. En revanche, *G. mosseae* supprime la formation de galles sur les racines et l'accumulation du nématode *Meloidogyne incognita* (Jaizme-Vega *et al.* 1997).

Effet de *M. javanica* sur le développement des mycorrhizes

M. javanica fait baisser de manière significative le développement intraradicaire de *G. mosseae*. Cet effet n'est pas observé avec *G. macrocarpum* et *G. caledonium* : la présence ou l'absence de nématodes à galle des racines n'a pas d'effet sur la colonisation interne des racines. Dans des essais similaires, des nématodes à galle des racines n'ont pas eu d'effet sur le pourcentage de colonisation racinaire chez des plantes mycorrhizées (Pinochet *et al.* 1997, Jaizme-Vega *et al.* 1997).

Conclusion

Les résultats des ces essais suggèrent un effet suppressif des trois souches de *Glomus* étudiées sur le nématode à galle des racines *M. javanica*. La connaissance des mécanismes impliqués dans la suppression des nématodes en est encore au stade des suppositions. Cependant, ils font probablement intervenir certains facteurs essen-

tiels tels qu'une amélioration de l'état nutritionnel de la plante, des modifications biochimiques au niveau des tissus végétaux (augmentation des chitinases, des acides aminés, des peroxydases et des phytoalexines), des modifications anatomiques (augmentation de la lignification), une réduction des stress, une modification de la population microbienne de la rhizosphère et des modifications induites dans la morphologie des racines (augmentation de la ramification, augmentation de la proportion de racines d'ordre plus élevé) (Hooker *et al.* 1994). Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer l'effet suppressif des CMA sur les nématodes à galle des racines et pour élucider les mécanismes impliqués. ■

Références

- Declerck S., B. Devos, B. Delvaux & C. Plenchette. 1994. Growth response of micropropagated plants to VAM inoculation. *Fruits* 49: 103-109.
- Declerck S., C. Plenchette & D.G. Strullu. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata* AAA group) cultivar. *Plant and Soil* 176 : 183-187.
- Elsen A., S. Declerck & D. De Waele. 2001. Effects of *Glomus intraradices* on the reproduction of the burrowing nematode (*Radopholus similis*) in dioxenic culture. *Mycorrhiza* 11 : 49-51.
- Hadisoeganda W.W. & J.N. Sasser. 1982. Resistance of tomato, bean, southern pea and garden pea cultivars to root-knot nematodes based on host suitability. *Plant Disease* 66 : 145-150.
- Hooker J.E., M.C. Jaizme-Vega & D. Atkinson. 1994. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. Pp. 191-200 *in* Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems (S. Gianinazzi & H. Schüepp, eds). Birkhäuser Verlag, Bâle, Suisse.
- Jaizme-Vega M.C., P. Tenoury, J. Pinochet & M. Jaumot. 1997. Interactions between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Glomus mosseae* in banana. *Plant and Soil* 196 : 27-35.
- Jakobsen L. 1998. Transport of phosphorus and carbon in arbuscular mycorrhizas. Pp. 305-332 *in* Mycorrhiza structure, function, molecular biology

Tableau 1. Mycorrhization et effet de la mycorrhization sur la réaction des racines de bananiers de la variété Williams à l'infection par *Meloidogyne javanica*.

	% tissus racinaires mycorrhizés	Galles / 5 g de racines
- CMA - <i>M. javanica</i>	/	/
- CMA + <i>M. javanica</i>	/	41 ± 12 b
<i>G. mosseae</i> - <i>M. javanica</i>	29 ± 10 b	/
<i>G. mosseae</i> + <i>M. javanica</i>	23 ± 12 a	29 ± 16 ab
<i>G. macrocarpum</i> - <i>M. javanica</i>	14 ± 3 a	/
<i>G. macrocarpum</i> + <i>M. javanica</i>	15 ± 5 a	25 ± 17 a
<i>G. caledonium</i> - <i>M. javanica</i>	22 ± 5 a	/
<i>G. caledonium</i> + <i>M. javanica</i>	16 ± 6 a	16 ± 8 a

Les valeurs représentent la moyenne de 8 répétitions. Les valeurs dans une même colonne suivies de la même lettre ne sont pas différentes selon le test de Tukey ($P \leq 0,05$).

and biotechnology (A. Varma & J.E. Hooker, eds). Springer-Verlag, New York, USA.

Koske R.E. & J.N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* 92 : 486-488.

Pinochet J., C. Calvet, A. Camprubi & C. Fernandez. 1996. Interaction between migratory endoparasitic nematodes and arbuscular mycorrhizal fungi in perennial crops. *Plant and Soil* 185 : 183-190.

Pinochet J., C. Fernandez, M. Jaizme & P. Tenoury. 1997. Micropropagated banana infected with *Meloidogyne javanica* responds to *Glomus intraradices* and phosphorus. *Hortscience* 32 : 101-103.

Umesh K.C., K. Krishnappa & D.J. Bagyaraj. 1988. Interaction of burrowing nematode, *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne 199, and VA mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* (THAXT) Gerd. and

Trappe in banana (*Musa acuminata* colla.). *Indian Journal of Nematology* 18 : 6-11.

Annemie Elsen et Dirk De Waele travaillent au Laboratoire d'amélioration des plantes tropicales, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, Leuven, Belgique ; Stéphane Declerck travaille à la Mycothèque de l'Université catholique de Louvain (MUCU), Unité de microbiologie, Place Croix du Sud 3, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Etude des espèces de champignons endophytes associés à la nécrose des racines de bananiers des plantations de bananiers et de bananiers plantain à Cuba

A. Batlle-Viera et L. Pérez-Vicente

Les Musaceae occupent à Cuba une superficie totale de 108 700 ha. Les cultivars de bananiers du sous-groupe Cavendish (AAA) occupent 32 800 ha, les bananiers plantain (AAB) 13 800 ha, et les variétés de type "Burro"/Bluggoe (ABB) 62 000 ha. Sur les 32 800 ha de plantations de bananier existantes, 13 800 sont cultivés avec des systèmes d'irrigation localisée par microjet qui doivent être maintenus en exploitation pendant cinq ans consécutifs. Cependant, il serait intéressant de replanter ces surfaces avec des hybrides tétraploïdes résistants aux maladies et aux ravageurs et développés par la *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola* (FHIA).

Les espèces de nématodes les plus couramment rencontrées dans les plantations cubaines sont *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Helicotylenchus multinctus*, *Meloidogyne* sp. et *Rotylenchulus reniformis*, les plus importantes étant les trois premières (Pérez *et al.* 1984). La détermination de la pathogénicité des nématodes a généralement été établie en fonction de la densité de population de nématodes trouvés dans les racines. Toutefois, les résultats concernant la relation entre cette densité de population et les dégâts causés aux cultures sont contradictoires. Ces dernières années, on a effectivement observé des verses de bananiers et des racines nécrosées dans des sites où les populations de nématodes du sol étaient peu importantes.

Les interactions racinaires entre *R. similis* et les espèces fongiques du genre *Cylindrocladium* et *Acremonium* contribuent à augmenter les dommages causés par les nématodes (Booth et Stover 1981,

Loridat 1989, Sarah 1990). On rencontre ces associations dans la plupart des sols infestés de nématodes de quelques îles des Antilles. A Cuba, il n'y avait jusqu'à présent aucune étude destinée à rechercher et à quantifier ce type d'associations. Il faut quand même signaler qu'il n'existe pas toujours de corrélation tangible entre la présence des nématodes et les dommages observés au niveau des racines et du développement des plantes.

L'objectif du travail présenté ici est de déterminer les différentes espèces de champignons rencontrées en association avec des nécroses racinaires chez les bananiers et les bananiers plantain appartenant à divers clones et plantations de Cuba.

Matériel et méthodes

Les échantillonnages ont été pratiqués sur les plantations de la province de Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Villa Clara, Ciego de Avila, Camagüey, Cienfuegos, Santiago de Cuba et Guantánamo.

On a prélevé des fragments de racines nécrosées de pieds de "Grande naine" (AAA), "Gros Michel" (AAA), "CEMSA 3/4" (AAB) et "Burro CEMSA/Bluggoe" (ABB), et, dans certains cas, de plantes étant tombées apparemment à la suite d'attaques de nématodes. On a échantillonné 10 plantes au hasard dans chaque champ. Pour effectuer les prélèvements, on a creusé des trous de 20 x 20 x 20 cm, à une distance de 10 cm du pseudotrunc d'où l'on a retiré cinq racines infectées.

Les racines lavées, on sélectionne des fragments nécrosés typiques des attaques de *R. similis* que l'on désinfecte à l'hypochlorite à 1 % pendant 2 mn et que l'on met en culture dans de l'eau gélosée additionnée de 50 µg/ml de streptomycine. Les croissances mycéliennes obtenues sont transférées sur

un culot de PDA (*potatoes dextrose agar*) dans un tube à essai et mises à incuber jusqu'à ce que les espèces soient identifiables. L'identification a été réalisée en se référant pour les espèces de *Fusarium* à la clé de Booth (1981), et pour les espèces de *Cylindrocarpon*, aux clés du CMI publiées par le CAB.

On a enregistré les espèces présentes dans chaque localité puis on a déterminé la fréquence relative de chacune par rapport à la totalité des isolats obtenus.

Résultats et discussion

Un total de 59 endophytes a été isolé à partir des tissus racinaires apparemment nécrosés par *R. similis*. Les espèces identifiées parmi ces isolats sont répertoriées dans le Tableau 1.

Les espèces *Cylindrocarpon musae* et *Fusarium oxysporum* Schlecht. ont été rencontrées dans presque tous les échantillons de l'ensemble des localités. *F. oxysporum* est l'espèce la plus courante (45,6 % de la totalité des isolats), suivie par *C. musae* (19,2 %). On a trouvé également *F. equiseti* (Corda) Sacc., mais moins fréquemment. Des résultats similaires ont été rapportés par Pocasangre (2000), qui constate que les espèces de *Fusarium* sont prédominantes dans les sols infestés par *R. similis* à Cuba, au Costa Rica, au Guatemala et au Honduras.

Booth et Stover (1971) relèvent au Costa Rica la présence de *C. musae* en association avec les nécroses de racines de bananiers mais posent par principe que le champignon n'est pas capable de parasiter des racines saines et de provoquer des lésions. Cependant, d'autres espèces de *Cylindrocarpon* sont des pathogènes importants des végétaux. Par exemple, *C. destructans* provoque des nécroses raci-

Tableau 1. Espèces de champignons endophytes associés aux racines de bananiers et de bananiers plantain provenant de différentes plantations de Cuba.

Souche	Espèce	Clone	Localité
1.1	<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.	Grande naine	UBPC 14 La Cuba, Ciego de Avila
1.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	UBPC 14 La Cuba, Ciego de Avila
1.5	<i>C. musae</i> B. & St.	Grande naine	UBPC 14 La Cuba, Ciego de Avila
2.1	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	UBPC 1 La Cuba, Ciego de Avila
2.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	UBPC 1 La Cuba, Ciego de Avila
2.3	colonias oscuras no identificado	Grande naine	UBPC 1 La Cuba, Ciego de Avila
2.4	colonias oscuras no identificado	Grande naine	UBPC 1 La Cuba, Ciego de Avila
3.1	<i>C. musae</i> B. & St.	Grande naine	UBPC 7 La Cuba, Ciego de Avila
3.2	<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.	Grande naine	UBPC 7 La Cuba, Ciego de Avila
4.1	colonias oscuras no identificado	Grande naine	UBPC 5 La Cuba, Ciego de Avila
4.2	<i>C. musae</i> B. & St.	Grande naine	UBPC 5 La Cuba, Ciego de Avila
5.1	colonias oscuras no identificado	Grande naine	Sola, Camagüey
5.2	<i>C. musae</i> B. & St.	Grande naine	Sola, Camagüey
5.5	Monilial no identificado	Grande naine	Sola, Camagüey
6.1	<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.	Grande naine	La Esperanza, Quemado de Güines, Villa Clara
6.3	<i>C. musae</i> B. & St.	Grande naine	La Esperanza, Quemado de Güines, Villa Clara
6.5	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	La Esperanza, Quemado de Güines, Villa Clara
7.1	<i>F. semitectum</i>	Grande naine	Margarita, Quemado de Güines, Villa Clara
7.2	<i>C. musae</i> B. & St.	Grande naine	Margarita, Quemado de Güines, Villa Clara
8.1	<i>C. musae</i> B. & St	Parecido al Rey	Lutgardita, Quemado de Güines, Villa Clara
8.2	Basidiocarpo	Parecido al Rey	Lutgardita, Quemado de Güines, Villa Clara
9.1	colonias oscuras no identificado	Grande naine	Güines, Quemado de Güines, Villa Clara
9.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	Güines, Quemado de Güines, Villa Clara
9.3	colonias oscuras no identificado	Grande naine	Güines, Quemado de Güines, Villa Clara
9.4	Monilial no identificado	Grande naine	Güines, Quemado de Güines, Villa Clara
10.1	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	Horquita, Cuban 11, Cienfuegos
10.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	Horquita, Cuban 11, Cienfuegos
11.1	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	FHIA-03	Lenin, Matanzas
11.2	<i>C. musae</i> B. & St.	FHIA-03	Lenin, Matanzas
11.3	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	FHIA-03	Lenin, Matanzas
12.2	colonias oscuras no identificado	Parecido al Rey	Lenin, Campo 48, Matanzas
13.1	colonias oscuras no identificado	Grande naine	Lenin, Campo 52, Matanzas
13.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	Lenin, Campo 52, Matanzas
14.1	<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.	Grande naine	Pinar del Rio Vitroplantas
15.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Robusta	La Maya, Santiago de Cuba
15.3	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Robusta	La Maya, Santiago de Cuba
15.4	<i>C. musae</i> B. & St.	Robusta	La Maya, Santiago de Cuba
16.1	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Gros Michel	La Ciénaga, Baracoa, Guantánamo
16.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Gros Michel	La Ciénaga, Baracoa, Guantánamo
17.1	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	Imías, Guantánamo
17.2	colonias oscuras no identificado	Grande naine	Imías, Guantánamo
17.3	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Grande naine	Imías, Guantánamo
18.1	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Gros Michel	Vega del Jobo, Imías, Guantánamo
18.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Gros Michel	Vega del Jobo, Imías, Guantánamo
18.3	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Gros Michel	Vega del Jobo, Imías, Guantánamo
19	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Burro	Palma Soriano, Santiago de Cuba
20	<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht.	Burro	Antero Regalado, Artemisa, La Habana
21	<i>Rhizoctonia</i> sp.	Burro	UBPC Emilio Hernández, Artemisa
22	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Burro	CPA Niceto Pérez, Güira La Habana
24	<i>Rhizoctonia</i> sp.	Burro	Ojo de Agua, San Antonio, La Habana
25	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Pelipita	CPA Niceto Pérez, Güira La Habana
26.1	<i>Rhizoctonia</i> sP.	FHIA	La Palma, Alquizar, La Habana
26.2	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	FHIA	La Palma, Alquizar, La Habana
27	<i>C. musae</i> B. & St.	Burro	Rpto. Hnos. Cruz, Pinar del Rio
28	Hongo oscuro, no identificado	Burro	San Juan y Martínez, Pinar del Rio
29	<i>C. musae</i> B. & St.	Cavendish enano	Coifa, Boyeros, La Habana
30	Hongo no identificado	Burro CEMSA	CCS Pedro Lantigua, Bauta, La Habana
31	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.		Consejo de Estado, Plaza, La Habana
32	<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	Robusta	Fca. Govin, Caimito, La Habana



Figure 1. Racines de bananiers présentant des nécroses provoquées par des attaques de nématodes.

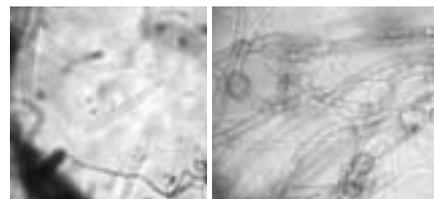


Figure 2. *Cylindrocarpon musae*. Macro-conidies et clamydiospores.

naires entraînant la mortalité chez le pin (*Pinus* sp.) (Chakravarty et Unestam 1987).

Des bio-essais d'inoculation artificielle de *C. musae*, seul ou conjointement avec *R. similis* ont été effectués. Les résultats de ces recherches ont fourni des informations précieuses sur la pathogénicité de ces espèces par rapport à la nécrose racinaire du cultivar de prélèvement.

Les espèces de *Cylindrocladium* ou de *Zythia* sp., signalées par Loridat (1989), Mourichon (1993) et Risède (1994), n'ont été isolées nulle part. Ces espèces ont été associées aux nécroses des bananiers de la Martinique et de la Guadeloupe, et plus récemment au Cameroun (Abadie 1998, communication personnelle) et en Côte d'Ivoire (Kobenan 1991).

Conclusions

1. Les espèces les plus fréquemment associées aux nécroses provoquées par les nématodes dans les plantations de bananiers et de bananiers plantain de diverses régions de Cuba sont *F. oxysporum* et *C. musae*. On a également observé, à une fréquence moindre, *F. equiseti* et *Rhizoctonia* sp.

2. *F. oxysporum* est l'espèce la plus fréquente avec 45,6 % de la totalité des isolats obtenus, suivie par *C. musae*.

Cylindrocladium sp. et *Zythia* sp., espèces impliquées dans d'autres pays dans les associations provoquant la nécrose des racines, n'ont jamais été rencontrées dans cette étude. ■

Références

- Booth C. 1981. The genus *Fusarium*. CAB, Ferham Royals, England, 237 pp.
- Booth C. & R.H. Stover. 1971. *Cylindrocarpon musae* sp. nov., commonly associated with burrowing nematode (*Radopholus similis*) lesions on banana. Trans. British Mycol. Soc. 63 : 503-507.
- Chakravarty P. & T. Unestam. 1987. Mycorrhizal fungi prevent disease in stressed pine seedlings. Journal of Phytopathology 118(4) : 335-340.
- Kobenan K. 1991. Parasites du système racinaire des bananiers en Côte d'Ivoire. Fruits 46(6) : 633-641.
- Loridat P. 1989. Etude de la microflore fongique et des nématodes associés aux nécroses de l'appareil souterrain du bananier en Martinique. Mise en évidence du pouvoir pathogène du genre *Cylindrocladium*. Fruits 44(11) : 587-598.
- Mourichon X. 1993. Parasites fongiques du bananier. Fruits 48(1) : 26-28.
- Pérez J., O. García & E. Fernández. 1984. Distribución de los principales nematodos parásitos del plátano en Cuba. Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Protección de Plantas. 7(1) : 27-58.
- Pocasangre L. 2000. Biological enhancement of banana tissue culture plantlets with endophytic fungi for the control of the burrowing nematode *Radopholus similis* and Panama disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*). PhD Thesis, Bonn University. 95 pp.
- Risède J.M. 1994. Eléments de caractérisation de *Cylindrocladium* sp. agent des nécroses racinaires du bananier en Martinique. Fruits 49(3) : 167-178.
- Sarah J.L. 1990. Les nématodes et le parasitisme des racines de bananiers. Fruits. (Numéro Spécial Bananes) : 60-67.

Alicia Batlle-Viera et Luis Pérez-Vicente travaillent à l'Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Gaveta 634, Zona Postal 13, Playa, Ciudad de La Habana, 11300 Cuba.

Effets de la mycorhization sur le développement de deux cultivars de bananier issus de la micropropagation

M.C. Jaizme-Vega,
M. Esquivel Delamo,
P. Tenoury Domínguez
et A.S. Rodríguez Romero

L'emploi de champignons donnant des mycorhizes à arbuscules (MA) dans les systèmes de production végétale devient une pratique de plus en plus envisageable, aussi les études consacrées à ce sujet se sont-elles considérablement multipliées ces dernières années.

Le bananier (*Musa* AAA) présente durant les premières phases de son développement une bonne capacité mycotrophique et une dépendance modérée vis à vis de la mycorhization (40-50 %) (Jaizme-Vega *et al.* 1998). La mycorhization *in vivo* permet de quantifier l'amélioration de la croissance et de la nutrition chez cette espèce (Lin et Chang 1987, Rizzardì 1990, Declerk *et al.* 1995, Jaizme-Vega et Azcón 1995), y compris dans les conditions habituelles de fertilisation des pépinières commerciales (Tenoury 1996, Sosa Hernández 1997). On enregistre également une modification positive du comportement de la plante face à des pathogènes du sol tels que *Meloidogyne incognita* (Jaizme-Vega *et al.* 1997), *Pratylenchus goodeyi* (Jaizme-Vega et Pinochet 1997) ou *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Jaizme-Vega *et al.* 1998). Ces résultats démontrent qu'il est bénéfique d'inoculer les champignons MA pendant les phases d'enracinement et de sevrage des bananiers micropropagés, ce, afin d'avoir

l'assurance d'obtenir des plantes bien développées et tolérant mieux d'éventuelles attaques de pathogènes du sol. Cependant, et jusqu'à aujourd'hui, il n'y avait pas d'informations concernant l'action de ces champignons symbiotiques sur le bananier au cours des phases plus avancées de son développement et dans des conditions de fertilisation semblables à celles des cultures commerciales.

C'est pourquoi la recherche présentée ici s'est donné pour objectif d'étudier de façon séquentielle les effets d'une mycorhization précoce sur la croissance de bananiers micropropagés, depuis les premières phases de leur développement jusqu'à neuf mois après leur transfert au champ en microparcelles.

Matériel et méthodes

Plante hôte

On a utilisé des bananiers micropropagés appartenant à deux des cultivars commerciaux les plus répandus : *Musa acuminata* Colla AAA, cvs "Grande naine" et "Gruesa" (sélection locale de "Dwarf Cavendish").

Phase d'enracinement

Inoculation des champignons MA

La mycorhization a lieu pendant la phase d'endurcissement. L'inoculum est un mélange homogène de spores, de sol de la rhizosphère et de racelles de la plante hôte.

On inocule chaque cultivar par deux champignons MA, avec, dans les deux cas,

1 500 g d'inoculum par bac (capacité du bac : 24 kg) provenant d'isolats de :

- *Glomus intraradices* Schenck et Smith, provenant de collection, multiplié sur sorgho, avec une colonisation de 68 % ;
- *Glomus manihotis* Howeler, Sieverding et Schenck, provenant de collection, multiplié sur tomate, avec une colonisation de 70 %.

Au moment de l'inoculation, les plantes ont une taille de 10 ± 2 cm, avec environ trois feuilles développées. L'inoculation se fait dans les bacs de polyéthylène (PE) (40 x 60 cm, H x L), à raison d'un bac par cultivar et par champignon. Il y a deux plateaux témoins de plantules n'ayant pas été inocuées (un plateau par cultivar). Au total, on a inoculé six bacs de 35 plantes chacun.

Le substrat employé, stérilisé à la vapeur libre, est un mélange de sol, de sable volcanique et de tourbe enrichie (TKS1[®], Instant, Floragard, GmbH) dans les proportions de 5/2/1. Cette phase dure six semaines en serre, sous ombrière. On arrose à l'eau distillée en fonction des besoins des plantes.

Phase de croissance en serre

A la fin de la période d'enracinement et avant le passage en godets individuels, dix plantes de chaque traitement et de chaque variété sont sélectionnées pour évaluer les effets de l'inoculation sur le développement de la plante, la dépendance à la mycorhization dans les conditions de fertilisation imposées et l'importance de la colonisation mycélienne MA.

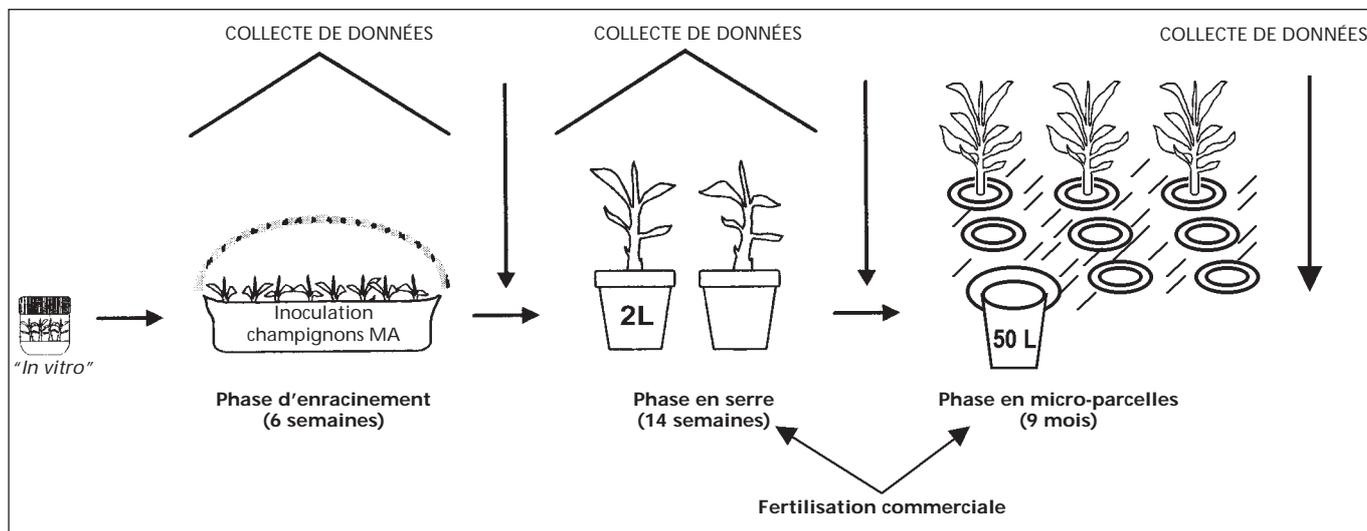


Figure 1. Schéma des différentes phases de développement du bananier au cours de l'expérimentation.

Les paramètres correspondants à la croissance générale de la plante évalués pour chaque phase de l'expérimentation sont : le poids frais des racines et de la partie aérienne (en g), le poids sec de la partie aérienne (en g), la longueur et le diamètre du pseudotrunc (en cm), le nombre de feuilles et la surface foliaire (en cm²). La surface foliaire est établie grâce à l'instrument de mesure de superficie Li-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, USA. Mod. Li-3100.

La dépendance relative à la mycorhization (DRM), définie par Gerdeman (1975) comme le degré de nécessité d'une plante à porter une mycorhization pour pouvoir atteindre une croissance maximum ou bien fournir un rendement donné en fonction d'un certain niveau de fertilité du sol, est calculée en appliquant la formule :

$$DRM = \frac{\text{Poids sec plante MA} - \text{Poids sec plante non MA}}{\text{Poids sec plante non MA}} \times 100$$

L'infection par les champignons MA est confirmée au microscope optique. Les échantillons de racines sont blanchies au KOH à 10 % et teintées ensuite au bleu de trypan dilué à 0,05 % dans de l'acide lactique (d'après Phillips et Hayman 1970 modifié par Koske et Gemma 1989). Le pourcentage de colonisation est déterminé à partir de 20 morceaux de 1 cm de racines teintées, montés sur lame et observés au microscope optique (d'après Brundett *et al.* 1985).

Ces déterminations effectuées, 20 plantes de chaque traitement sont transplantées dans des sacs de PE de 2 L, sur un substrat stérilisé à la vapeur libre composé de sol, de sable volcanique et de tourbe enrichie (TKS1[®]) à volumes égaux (1/1/1). Cette phase dure 14 semaines en serre, à une température comprise entre 27 et 32 °C et une humidité relative de 70 à 80 %.

La fertilisation a été planifiée comme dans une pépinière commerciale de bana-

niers. Les plantes ont reçu, deux fois par semaine, alternativement, 100 cc de deux types de fertilisants : la première fois, (NO₃)₂Ca (3 g/L) + NO₃H (0,4 cc/L) ; la fois suivante, SO₄K₂ (3 g/L) + PO₄H₃ (0,2 cc/L). Les jours ne comportant pas de programme de fertilisation, on a arrosé les plantes à l'eau courante en fonction des besoins de la culture. On a administré une fois par semaine des micro-éléments en traitement foliaire avec du Wuxal[®] Super AA 8-8-6 (Argos Shering, Agrevo, S.A. Valencia, Espagne) à 3 %.

Phase de croissance en micro-parcelles

Au bout de trois mois et demi de croissance, les plantes sont de nouveau transplantées dans un conteneur d'une taille supérieure, et enterrées dans une parcelle appartenant à l'ICIA, située à 300 m d'altitude. Cet emplacement est considéré comme zone marginale pour ce type de culture du fait de son orientation et des conditions climatiques. Avant de finaliser cette étape, on évalue, comme on l'a fait au cours de la première transplantation, les effets des champignons MA, l'extension de l'infection due à la mycorhization des racines et la dépendance à la mycorhization sur dix plantes, par cultivar et par traitement.

Pour cette dernière phase de l'expérimentation, on a choisi des pots de PE de 35 cm de diamètre et de 50 L de capacité, remplis d'un substrat non stérilisé composé des mêmes éléments et dans les mêmes proportions que précédemment (1/1/1), enrichi de 1,5 g/L d'engrais à libération lente (Osmocote 17/10/10, Scotts, O.M. Tarragona). Les plantes une fois en place dans leurs nouveaux récipients (10 par cultivar et traitement), on les dispose à l'intérieur d'un autre récipient de mêmes dimensions, préalablement enterré jusqu'à son bord supérieur dans la parcelle d'essai. On ajoute l'engrais dans l'eau de l'arrosage local, une fois par

semaine, 1 L par plante, avec les deux combinaisons d'engrais déjà employées après la première transplantation. La fertilisation foliaire est appliquée tous les quinze jours. Les jours ne comportant pas de programme de fertilisation, on arrose les plantes en fonction de leurs besoins hydriques.

Les plantes sont maintenues dans ces conditions pendant neuf mois. Ensuite, on démantèle l'essai pour évaluer les effets de la symbiose sur le développement des bananiers.

Différentes variables expérimentales sont prises en compte : le poids frais des racines et de la partie aérienne, le nombre de rejets, le nombre de feuilles, la surface foliaire, la teneur en N, P et K ; en plus de la dépendance à la mycorhization et de la colonisation mycélienne.

Pour réaliser les analyses foliaires, on place au préalable les échantillons dans une étuve à 70 °C pendant 24 heures, puis on évalue la teneur en azote, en phosphore et en potassium. Pour doser l'azote, on minéralise l'échantillon par "voie humide". Dans le cas du phosphore, on fait un dosage calorimétrique. Le potassium est mesuré par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Les moyennes sont comparées par la preuve de la plus petite différence significative de Fisher. Les données sont analysées par le programme statistique ANOVA (Systat version 5.0 (SPSS Inc. Chicago, EU).

Résultats et discussion

A la fin de la phase d'enracinement, les deux cultivars répondent positivement quel que soit le champignon MA inoculé (tableaux 1a et 2a). Pendant cette phase, la dépendance relative à la mycorhization (DRM) des deux cultivars par *Glomus manihotis* et *Glomus intraradices* atteint les valeurs les plus élevées jamais obtenues au cours de l'essai tout entier, soit environ 35 et 50 % respectivement. Dans cette première phase, les pourcentages de colonisation des deux champi-

Tableau 1. Effet de *Glomus manihotis* et de *G. intraradices* sur le développement, la colonisation et la dépendance à la mycorhisation du bananier micropropagé cv. "Grande naine" a) 6 semaines après inoculation (phase d'enracinement), b) 14 semaines après inoculation (phase en serre) et c) 9 mois après transplantation en micro-parcelle.

	Poids frais (g)		Poids sec (g)	Pseudotronic		Nbre feuilles	Surf. foliaire (cm ²)	Colonisation %	DRM** %
	Racine	P. aérienne	P. aérienne	Diamètre	Longueur				
Période a)									
Témoin	2,6 b*	8,6 b	0,5 b	0,9 b	10,4 b	5,2 b	143 b	–	–
<i>G. manihotis</i>	6,4 a	17,5 a	1,1 a	1,2 a	12,9 a	6,3 a	261 a	26	51
<i>G. intraradices</i>	5,5 a	17,8 a	1,0 a	1,2 a	12,1 a	6,0 a	269 a	37	46
Période b)									
Témoin	13,1 b*	38,1 b	2,6 b	1,8 b	15,4 b	7,3 b	494 b	15	–
<i>G. manihotis</i>	29,4 a	66,5 a	4,4 a	2,6 a	23,5 a	8,5 a	777 a	59	40
<i>G. intraradices</i>	26,7 a	63,7 a	4,3 a	2,4 a	22,1 a	8,7 a	805 a	38	38

* Moyenne de 10 répétitions. Dans chaque colonne, les différences entre les nombres suivis par une même lettre ne sont pas statistiquement significatives selon le test de Fisher ($P \leq 0.05$).

** DRM : dépendance relative à la mycorhization.

Tableau 2. Effet de *Glomus manihotis* et de *G. intraradices* sur le développement, la colonisation et la dépendance à la mycorhisation du bananier micropropagé cv. "Gruesa" : a) 6 semaines après inoculation (phase d'enracinement), b) 14 semaines après inoculation (phase en serre) et c) 9 mois après transplantation en micro-parcelle.

	Poids frais (g)		Poids sec (g)	Pseudotronic		Nbre feuilles	Surf. foliaire (cm ²)	Colonisation %	DRM %	Teneur en macro-éléments		
	Racine	P. aérienne	P. aérienne	Diamètre	Longueur					N	P	K
Période a)												
Témoin	3,1 b*	8,2 b	0,50 b	0,97 b	8,7 b	5,5 a	155 b	–	–			
<i>G. manihotis</i>	5,5 a	12,9 a	0,80 a	1,15 a	8,7 b	6,3 a	223 a	27	38			
<i>G. intraradices</i>	6,0 a	11,9 a	0,75 a	1,18 a	9,8 a	6,5 a	216 a	24	34			
Période b)												
Témoin	22,8 b*	40,5 b	2,8 b	2,0 b	14,7 b	7,7 a	514 b	14	–			
<i>G. manihotis</i>	33,9 a	57,5 a	3,9 a	2,5 a	16,3 a	8,5 a	722 a	26	29			
<i>G. intraradices</i>	36,4 a	50,7 a	3,5 ab	2,4 a	15,9 ab	8,0 a	662 a	30	19			
Période c)												
Témoin	7,1 a*	7,8 a	14,9 b	2,4 a	41845 b	59	–	2,84 a	0,176 a	2,65 a		
<i>G. manihotis</i>	7,7 a	11,5 ab	19,1 ab	3,6 a	57733 ab	72	31	3,03 a	0,189 a	3,00 a		
<i>G. intraradices</i>	9,5 a	13,6 a	23,2 a	4,0 a	61660 a	83	42	3,00 a	0,184 a	3,03 a		

* et ** : voir notes Tableau 1.

gnons MA inoculés sont semblables pour les deux cultivars.

Après la transplantation, l'action bénéfique des champignons MA sur le développement des plantes se maintient de telle sorte que, trois mois et demi après la mycorhization, les variables expérimentales évaluées sur les plantes inoculées de chaque cultivar présentent pour la majorité d'entre elles des valeurs significativement différentes du point de vue statistique par rapport aux témoins (tableaux 1b et 2b). Les DRM évoluent de manière similaire pour les deux cultivars pour atteindre à la fin de cette période des moyennes de 40 % sur le cv. "Grande naine", et une moyenne de 30 % (*Glomus manihotis*) ou de 20 % (*Glomus intraradices*) sur le cv. "Gruesa" (tableaux 1b et 2b).

La colonisation des racines des bananiers inoculés ne se déroule pas de la même façon chez les deux cultivars. Ainsi, les racines des plantes du cv. "Grande naine" inoculées avec *G. manihotis* voient leur taux d'infection doubler par rapport au début de l'étude tandis qu'il reste identique pour les racines colonisées par *G. intraradices*. En revanche, chez les plantes du cv. "Gruesa", on n'enregistre pas de changements de valeur des taux de colonisation obtenus à la première transplantation. Durant l'essai, à partir de la 14^e semaine, on constate que les racines des plantes témoins de chaque cultivar présentent des taux d'infection due à une contamination par des champignons MA d'environ 15 % (tableaux 1b et 2b) ; sans que cela ait une influence significative sur le développement des plantes. Ces endophytes peuvent

provenir de l'eau d'arrosage ou d'une pollution non contrôlée de la pépinière où se trouvaient les plantes.

Ces données confirment celles déjà publiées sur les avantages d'une mycorhization précoce des plantes au cours des premières phases de leur développement (Declerck *et al.* 1995, Tenoury 1996, Sosa-Hernández 1997, Jaizme-Vega *et al.* 1997, 1998).

Les résultats de la deuxième période de l'essai, pendant laquelle on a étudié les effets des champignons MA sur des plantes inoculées *in vivo*, endurcies durant trois mois et transplantées sur un substrat non stérilisé, montrent que, après neuf mois de micro-parcelles et de fertilisation standard, en général les bananiers porteurs de *G. intraradices* et plus encore ceux du cv. "Gruesa" retirent un

effet bénéfique de la symbiose pour leur développement, avec des taux de DRM d'environ 40 %. Ces valeurs peuvent être considérées comme étant relativement élevées dans le cadre de cet essai (tableaux 1c et 2c), sans oublier l'augmentation des autres variables expérimentales. Pourtant, les chiffres des macro-éléments (N, P et K), bien que sensiblement supérieurs, ne sont statistiquement pas différents (tableaux 1c et 2c). Cette absence de réponse de la teneur nutritionnelle de la partie aérienne peut être interprétée comme la réaction typique d'une plante "mycorhizée" fertilisée avec des engrais solubles.

Les plantes du cv. "Grande naine" ont moins répondu à la mycorhization en fin d'essai. Parmi elles, celles inoculées par *G. manihotis* montrent un développement et un état nutritionnel identiques et même légèrement moindres que ceux des plantes témoins.

À la fin de cette phase, la colonisation racinaire des deux espèces de *Glomus* inoculées est relativement importante chez les deux cultivars (supérieure à 70 %). Il faut quand même noter le haut niveau de colonisation des racines des plantes témoins. Comme dans cette partie de l'expérimentation on a utilisé le substrat sans le stériliser, ceci, joint aux autres conditions de l'essai, explique ces résultats.

Les conclusions de l'expérience en général et de cette dernière période du travail en particulier permettent de confirmer les avantages de la mycorhization pour des stades plus avancés de la culture du bananier et ouvrent des perspectives prometteuses quant aux conséquences que cette ressource biotechnologique peut entraîner pour l'amélioration de la production.

Remerciements

Les auteurs remercient Ana Rosa Socorro Monzón, responsable du Laboratoire des sols et irrigations de l'ICIA pour la réalisation des analyses foliaires.

Cette expérimentation fait partie de celles réalisées dans le cadre du projet INCO-DEV : *International Cooperation with Developing Countries* (1998-2002), Contrat No. ERB IC 18 CT97-0208. ■

Références

- Brundrett M.S., Y. Piche & R.L. Peterson. 1985. A development study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhizal formation. *Canad. J. Bot.* 63: 184-194.
- Declerck S., C. Plenchette & D.G. Strullu. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. *Plant and Soil* 176(1): 183-187.
- Gerdemann J.W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. PP. 575-591 in *The development and Function of Roots.* (J.G. Torrey and D.T. Clarkson, eds). Academic Press, New York and London.
- Jaizme-Vega M.C. & R. Azcon. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 213-217.
- Jaizme-Vega M.C. & J. Pinochet. 1997. Growth response of banana to three mycorrhizal fungi in *Pratylenchus goodeyi* infested soil. *Nematropica* 27(1): 69-76.
- Jaizme-Vega M.C., B. Sosa-Hernández & J. Hernández. 1998. Efecto de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (*Foc*) en platanera micorrizada bajo dos niveles de fertilización fosforada. *Acta Horticulturae* 490: 285-295.
- Jaizme-Vega M.C., P. Tenoury, J. Pinochet & M. Jaumot. 1997. Interaction between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and the mycorrhizal association of *Glomus mossae* and Grande Naine banana. *Plant and Soil* 196: 27-35.

- Koske R.E. y J.M. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92: 486-505.
- Lin Ch. & D.C.N. Chang. 1987. Effect of three *Glomus* endomycorrhizal fungi on the growth of micropropagated banana plantlets. *Trans. Mycol. Soc. Rep. China* 2(1): 37-45.
- Phillips J.M. & D.S. Hayman. 1970. Improve procedures for cleaning roots and stain parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Plenchette C., J.A. Fortin & V. Furlan. 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhiza in a soil of moderate P fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant and Soil* 70: 191-209.
- Rizzardi V. 1990. Effect of inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated *Musa acuminata* clone "Grand Nain". *Revista de Agricultura Subtropical e Tropical* 84(3): 473-484.
- Sosa Hernandez B. 1997. Estudio de la interacción de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) y el patógeno vascular *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* sobre platanera en fase de vivero. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de La Laguna. Centro Superior de Ciencias Agrarias. 155 pp.
- Tenoury P. 1996. Estudio de la interacción del hongo formador de micorrizas arbusculares (MA) *Glomus mosseae* y el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* en platanera. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de La Laguna. Centro Superior de Ciencias Agrarias. 159 pp.

Les auteurs travaillent au *Departamento de Protección Vegetal* de l'*Instituto Canario de Investigaciones Agrarias*, Apartado 60, 38200 La Laguna, Tenerife, Canarias, Espagne.

Arachis pintoï : une plante de couverture pour les bananeraies ? Avantages et inconvénients d'un point de vue nématologique

P. Quénéhervé, Y. Bertin
et C. Chabrier

La légumineuse *Arachis pintoï* L. (*perennial peanut* ou arachide sauvage) est utilisée depuis de nombreuses années comme plante de couverture dans divers pays de la zone intertropicale, notamment en Amérique centrale (Kerridge 1993). Son comportement vis-à-vis des nématodes est encore peu documenté. La

possible résistance du cv. Amarillo vis-à-vis de *Meloidogyne* spp. est mentionnée en Australie (Cook *et al.* 1990). Au Mexique une réduction sensible des attaques de *Meloidogyne* sur tomates a été observée dans un essai de cultures associées (Marban Mendoza *et al.* 1992). Au Costa Rica, une expérimentation au champ a montré qu'*Arachis pintoï* serait un bon hôte de *Radopholus similis* (Cobb 1893, Thorne 1949) avec une infestation concomitante moyenne d'environ 30 individus par g de

racine (Araya 1996). Au Costa Rica encore, des essais conduits en culture de bananiers et de bananiers plantain auraient montré une incidence positive de l'arachide sauvage utilisée comme plante de couverture en réduisant la densité de *Radopholus similis* dans les bananiers adjacents (Vargas 1998). Enfin en 1999, Jonathan *et al.* ont montré après un essai d'inoculation artificielle que la légumineuse *Arachis pintoï* n'était pas hôte de différentes espèces de *Meloidogyne* Goeldi 1892 (*M. incognita*, *M. arenaria*,

M. javanica) ni de *Rotylenchulus reniformis* Lindford & Oliveira 1940.

Avant d'expérimenter et peut-être de recommander l'emploi d'*Arachis pintoi* comme éventuelle plante de couverture en bananeraie, nous avons voulu vérifier son comportement vis à vis des nématodes du bananier à la Martinique. Un essai d'inoculations contrôlées des principales espèces présentes (*Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Hoplolaimus seinhorsti*, *Meloidogyne incognita*) ainsi que de *Meloidogyne mayaguensis*, une espèce très pathogène à la Martinique bien que non encore observée sur bananier, a donc été conduit en chambre climatique au laboratoire de Nématologie de l'IRD en préalable à toute expérimentation au champ.

Matériels et méthodes

Des graines d'*Arachis pintoi* cv. Amarillo en provenance du Costa Rica ont été inoculées par enrobage au moment du semis avec leur bactérie symbiotique *Rhizobium* sp. Ces graines ont été mises en culture dans des tubes de culture en PVC de 237 cm³ remplis de terre stérile (stérilisation à la vapeur pendant 1 heure à 100 °C). Le substrat était de type andosol volcanique, de pH 6,2, avec 7,3 % de matière organique et une capacité d'échange cationique de 10,3 meq par 100 g de sol. L'expérimentation a été conduite en chambre climatique à raison de huit répétitions par objet avec une thermopériode jour/nuit de 27 °C/22 °C ± 1 °C, une photopériode éclairée de 14 h, un arrosage quotidien et l'application hebdomadaire d'une solution fertilisante de Hoagland. Quatre semaines après semis et développement de l'arachide, les cinq espèces de nématodes préalablement élevées au laboratoire (*Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Hoplolaimus seinhorsti*, *Meloidogyne incognita* et *Meloidogyne mayaguensis*) ont été inoculées individuellement à raison de 400 individus par plante. L'infestation du système racinaire a été vérifiée 45 jours plus tard après extraction des nématodes des racines par brumisation (Seinhorst 1950). Les densités de nématodes ont été exprimées en nombre de nématodes par système racinaire et par gramme de racine sèche (après passage à l'étuve à 60 °C pendant 24 heures).

Résultats et discussion

Les résultats de cette expérimentation (tableau 1) montrent qu'à 45 jours, seules trois espèces de nématodes se sont maintenues : *R. similis*, *H. seinhorsti* et *P. coffeae*. L'inoculation des différentes espèces de nématode est restée sans effet sur la croissance tant des parties aériennes que racinaires de l'arachide qui se révèle donc, sur cette courte période de temps, être tolérante aux attaques de ces nématodes.

Arachis pintoi n'a pas été en mesure de maintenir et de multiplier les deux espèces



Figure 1. Système racinaire d'*Arachis pintoi*.

de *Meloidogyne*, *M. incognita* et *M. mayaguensis*. Ce résultat confirme et complète vis-à-vis de *M. mayaguensis* les résultats précédents sur la capacité de cette arachide à ne pas être hôte des principales espèces de nématodes à galle, exception faite de *M. hapla* (Jonathan *et al.* 1999).

L'*Arachis pintoi* est par contre hôte des trois autres espèces et, selon les critères appliqués aux adventices en bananeraies (Quénéhervé *et al.* 2002), on peut considérer qu'elle est mauvais hôte de *R. similis* mais très bon hôte de *H. seinhorsti* et de *P. coffeae*. La capacité d'hôte d'*Arachis pintoi* à *R. similis* déjà observée (Araya 1996) est donc confirmée mais aussi, ce qui est nouveau, sa forte susceptibilité à *P. coffeae* et à *H. seinhorsti*, deux espèces de nématodes dont la pathogénicité sur bananiers est démontrée pour l'un (*P. coffeae*) et probable pour l'autre.

Ces résultats seront à comparer avec ceux relevés aux champs en conditions d'infestation naturelle. En effet, la production de racines chez *Arachis pintoi* est extrême-

ment faible (ratio partie aérienne/partie racinaire de l'ordre de 7,5 dans notre expérimentation) et il serait intéressant de quantifier la réelle capacité "réservoir" de cette plante au champ vis-à-vis des nématodes comme effectué par Araya en 1996. Toutefois on peut d'ores et déjà réfléchir sur l'aspect "non hôte" vis-à-vis de *Meloidogyne* spp. et surtout de *M. mayaguensis*, et reconsidérer cette culture dans le cadre de jachère nettoyante (réhabilitation) et protectrice vis-à-vis de ces nématodes avant une culture sensible annuelle ou pérenne.

Depuis de nombreuses années, les agronomes recherchent des plantes utilisables en jachère (de courte, moyenne et longue durée) ou en plantes de couverture, susceptibles, entre autres résultats, de réduire la pression parasitaire (par exemple les nématodes) mais aussi de diminuer celle des mauvaises herbes, d'améliorer la fertilité du sol et de limiter l'érosion (Ternisien et Melin 1989). En zone Caraïbe, deux plantes ont été retenues vis-à-vis de leur activité contre les nématodes, avec leurs avantages et leurs inconvénients : la graminée fourragère *Digitaria decumbens* et la légumineuse fourragère *Mucuna pruriens* cv. *utilis* d'origine africaine.

Chacune de ces plantes trouve son intérêt vis-à-vis d'un système de culture considéré. *Digitaria decumbens* rentre ainsi dans des systèmes de rotation à long terme intégrant l'élevage et le maraîchage de plein champ, comme sur les vertisols du sud de la Martinique. *Mucuna pruriens*, largement utilisé dans le sud-est des Etats-Unis ainsi qu'en Afrique peut également trouver sa place à la Martinique en tant que culture intercalaire courte ainsi que dans certains systèmes maraîchers intensifs afin de lutter contre les nématodes et particulièrement *Meloidogyne* spp. (Quénéhervé *et al.* 1998).

Cette troisième plante, *Arachis pintoi*, récemment introduite par le CIRAD-FLHOR à la Martinique, semble présenter quelques avantages mais possède également des inconvénients :

- Avantages : semences commercialisées, propagation par graine et/ou végétative; plante non hôte de plusieurs espèces de nématodes dont *Meloidogyne* spp. ; com-

Tableau 1. Résultats des dénombrements de nématodes et des pesées de plants d'*A. pintoi* 45 jours après inoculation.

	Nbre/g racine	Racines (mg)	Partie aérienne (mg)	Qualité d'hôte ¹
Témoin	-	260 ± 10	1470 ± 140	-
<i>Hoplolaimus seinhorsti</i>	382 ± 132	240 ± 40	1880 ± 110	***
<i>Pratylenchus coffeae</i>	2918 ± 447	240 ± 30	1630 ± 350	***
<i>Radopholus similis</i>	112 ± 95	250 ± 50	1820 ± 50	*
<i>Meloidogyne mayaguensis</i>	0	240 ± 60	1600 ± 300	NH
<i>Meloidogyne incognita</i>	0	270 ± 30	2010 ± 180	NH
ANOVA		NS	NS	

¹ Très bon hôte = *** ; Bon hôte = ** ; Mauvais hôte = * ; Non hôte = NH

patible comme plante de couverture ; apport d'azote (environ 60 kg/ha/an).

- Inconvénients : plantes hôte de graves nématodes endoparasites migrateurs, dont *R. similis* et *P. coffeae* ; installation lente ; nécessité d'inoculer la bactérie spécifique associée.

L'introduction et l'utilisation d'*Arachis pintoï* comme plante de couverture en bananeraies pourrait alors s'effectuer sous certaines conditions :

- en absence des nématodes *R. similis* et *P. coffeae*, ce qui limite son utilisation directement après banane ou autre culture infestée par *P. coffeae* (igname, dasheen) ;
- après rotation culturale mais en présence de *Meloidogyne* spp. afin de réduire le potentiel infestant de ces nématodes à galles avant replantation avec des vitroplants de bananiers.

Cette plante pourrait également trouver sa place à la Martinique et dans les Antilles dans différents autres agrosystèmes qui demeurent à expérimenter :

- en vergers de fruitiers, tels que les agrumes mais surtout pour les goyaviers qui subissent de graves attaques de *M. mayaguensis* aux Antilles (Quénéhervé *et al.* 2001) ;
- en maraîchage comme plante de jachère et plante de couverture associée. ■

Références

- Araya M. 1996. Capacidad hospedante de *Arachis pintoï* a *Radopholus similis*. CORBANA, 21 : 19-24.
- Cook B.G., R.G. Williams & G.P.M. Wilson. 1990. *Arachis pintoï* Krap et Greg. nom. nud (pinto peanut) cv. Amarillo. Tropical Grasslands 24 : 124-125.
- Jonathan E.J., K.R. Barker & T.B. Sutton. 1999. L'arachide sauvage *Arachis pintoï* : un hôte pour les nématodes gallicoles et les nématodes réni-formes. INFOMUSA 8 : 9-10.
- Kerridge P.C. 1993. Biology and agronomy of forage *Arachis*. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Colombia.
- Marban-Mendoza N., M.B. Dicklow & B. Zuckerman. 1992. Control of *Meloidogyne incognita* on tomato by two leguminous plants. Fundam. Appl. Nematol. 15 : 97-100.
- Quénéhervé P., P. Topart & B. Martiny. 1998. *Mucuna pruriens* and other rotational crops for control of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* in vegetables in poly-tunnels in Martinique. Nematropica 28 : 19-30.
- Quénéhervé P., Y. Bertin & A. Kermarrec. 2002. *Meloidogyne mayaguensis*: a root knot nematode causing severe decline of guava trees in the Caribbean (Abstr.). African Plant Protection (*sous presse*).
- Quénéhervé P., C. Chabrier, A. Auwerkerken, P. Topart, B. Martiny & S. Marie-Luce. 2002. Status of weeds as reservoirs of nematodes in banana fields in Martinique. Nematropica (*sous-mis à publication*).

- Seinhorst J.W. 1950. De betekenis van de toestand van de grond voor het optreden van aanstasting door het stengelaattje (*Ditylenchus dipsaci*) (Kühn) Filipjev. Tijdschr. Plziekt. 5 : 291-349.
- Ternisien E. & Ph. Melin. 1989. Etude des rotations culturales en bananeraie. Première partie : bilan des cultures de rotation. Fruits 44 : 373-383.
- Vargas A. 1998. Banana (*Musa* AAA) and plantain (*Musa* AAB) cultivation in the presence and absence of a green cover crop (*Arachis pintoï* CIAT-18748). CORBANA 22 : 23-39.

Patrick Quénéhervé travaille à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex ORSTOM), BP 8006, 97259 Fort-de-France Cedex, Martinique ; Yves Bertin et Christian Chabrier au CIRAD-FLHOR, BP 153, 94202 Fort-de-France Cedex, Martinique.

Dynamique du bore dans le sol d'une plantation de bananiers plantain (*Musa* AAB cv. "Dominico hartón") de la région du Quindío, Colombie

M.M. Bolaños Benavides
et A. García Alzate

Le bore (B) est l'unique élément non métallique des six oligoéléments essentiels. Sa valence de + 3 est constante, et il a le plus petit rayon ionique. Il prédomine dans les roches sédimentaires. Dans les roches ignées, c'est dans les granites qu'il est le plus abondant, sous la forme de silicates de bore. Son minéral le plus répandu est la tourmaline (3 à 4 % de bore). On le trouve dans le sol sous quatre états différents : a) en tant que partie intégrante de la structure cristalline des minéraux ; b) adsorbé ou retenu par les colloïdes du sol ; c) comme anion de la solution de sol ; ou d) associé à la matière organique du sol (Bonilla *et al.* 1994).

La teneur en bore total du sol varie entre 2 et 200 ppm mais la majeure partie n'est pas assimilable par les plantes. Par rapport aux autres oligoéléments, le bore présente certaines spécificités comme celle d'être toujours combiné à l'oxygène dans la solution de sol et de se comporter en anion (borate) dans toutes les réactions. Le borate possède une grande mobilité ce qui explique qu'il soit facilement perdu par lixiviation. On peut considérer que le bore disponible dans le sol participe à un cycle dans lequel la majeure partie de cet élément provient de la matière organique et une petite quantité, de la tourmaline.

La matière organique est décomposée par les micro-organismes qui libèrent du bore qui, disponible dans la solution de sol, est absorbé par les végétaux. Une partie peut être lessivée par les eaux d'infiltration et

une petite fraction être fixée ou retenue par les argiles (Berger et Pratt, cités par Bonilla *et al.* 1994).

Parmi les multiples fonctions assurées par le bore dans le métabolisme végétal, on constate entre autres qu'il influence les processus de floraison et de fructification, la germination des grains de pollen, la division cellulaire ainsi que le métabolisme de l'azote, des hydrates de carbone et des substances pectiques. En ce qui concerne ces dernières, Rajaratnam et Lowry (1974) rapportent que leur concentration peut augmenter chez les plantes carencées en bore.

Le bore est impliqué également dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux par le cytoplasme. On pense que son rôle principal est d'aider le passage des molécules de sucres fortement polarisées à travers la paroi cellulaire. Le bore constitue en

Tableau 1. Méthodes d'analyses chimiques de sols.

Paramètre	Méthodes d'analyses
pH	Potentiomètre, relation 1:2,5
AE (acidité échangeable)	KCl 1N
MO	Walkley – Black
P (ppm)	Bray II
Bases échangeables	Acétate d'ammonium normal (1N)s et neutre (pH 7)

effet un élément fixe de la membrane de sorte qu'une quelconque carence se traduit immédiatement par une altération du métabolisme des sucres destinés à s'accumuler dans les feuilles. Cet état de fait pourrait être à l'origine de presque toutes les autres fonctions qu'on lui attribue (Gómez et Leguizamón 1975). Malgré les avancées notables de l'étude de la nutrition minérale, le rôle du bore dans le métabolisme végétal suscite encore bien des questions.

Actuellement, dans la région caféière centrale de Colombie, de nombreuses plantations de bananiers présentent les symptômes d'une carence en bore. D'après León *et al.*, on avait recensé en 1985 dix cas de ce type dans tout le pays. L'étude présentée ici, destinée à récolter des données en nombre suffisant pour pouvoir éclaircir les interrogations mentionnées plus haut, a pour objectif de déterminer l'importance du bore dans la culture du bananier plantain (*Musa AAB cv. "Dominico hartón"*) dans le département du Quindío et d'étudier sa dynamique pendant dix ans dans un sol fertilisé par les macroéléments.

Matériels et méthodes

On a mené l'étude sur une parcelle située dans la station expérimentale El Agrado, municipalité de Montenegro, département du Quindío, Colombie. La station se trouve à 1320 m d'altitude, et est caractérisée par des précipitations annuelles moyennes de 2 000 mm, une température annuelle moyenne de 22 °C et une humidité relative de 76 %.

D'après la classification de Holdridge, son écosystème correspond à la forêt humide de l'étage pré-montagnard (fh-PM). Les sols sont issus de cendres volcaniques (andisols), possèdent une fertilité naturelle moyenne, une texture de moyenne à grossière et une faible capacité de rétention d'eau, ce qui les rend lixiviables et sensibles à l'érosion.

On a réalisé des analyses de sol du 2 mai 1990 jusqu'au 2 mars 2000. Les échantillons ont été prélevés tous les deux ans, avec cinq répétitions. On a analysé les enregistrements des précipitations reçues pendant la durée de l'étude.

On a procédé sur les échantillons récoltés à la détermination du pH, de la teneur en matière organique, en calcium échangeable, en phosphore (P), en magnésium (Mg),

Tableau 2. Variation des propriétés chimiques du sol étudié (1990–2000).

Année	Evolution de la fertilité du sol						
	pH	MO (%)	K (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	Mg (meq/100 g)	P (ppm)	B (ppm)
1990	6,08	3,79	0,95	5,2	0,93	22	0,4
1993	5,18	3,66	0,69	4,4	1,03	71,6	0,12
1995	5,72	3,72	1,22	2,8	0,64	34,6	0,19
1997	5,78	4,80	1,30	3,8	0,94	61,0	0,06
2000	5,10	4,80	1,79	6,0	0,60	29,0	0,01

en potassium (K) et en bore (B). Les méthodes d'analyse utilisées sont répertoriées dans le tableau 1. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse de corrélation pour les couples bore-poids du régime (produit de cycle en cycle), bore-potassium, bore-calcium, bore-pourcentage de matière organique et bore-pH. On a également analysé les relations pouvant exister entre les rapports Ca/Mg, Mg/K, Ca/K et (Ca+Mg)/K.

Résultats et discussion

A partir des données fournies par les analyses de sol, on a calculé les moyennes des cinq répétitions pour étudier leur évolution en fonction du temps comme indiqué dans le tableau 2.

Teneur en bore

Comme le montrent les résultats des analyses chimiques de sol réalisées au cours des dix dernières années, la teneur en bore a fortement diminué, passant d'un taux convenant à la culture du bananier plantain de 0,4 ppm (selon Buriticá 1985) au taux de 0,01 ppm, valeur pour laquelle il y aurait carence. Cependant, il faut tenir compte du cycle édaphique de l'élément, qui détermine sa concentration dans la solution de sol et, par conséquent, sa disponibilité et sa capacité d'absorption par les plantes (Mengel 1980).

Relation entre pH et teneur en bore

Comme on peut le noter sur le tableau 3, la teneur en bore est étroitement et directement corrélée au pH car celui-ci se situe à un niveau optimal pour l'absorption du bore par les végétaux. En effet, la fixation de cet élément minéral par les hydroxydes de fer et d'alumine ainsi que par les argiles augmente avec le pH : elle est maximale pour un pH compris entre 8 et 9 et minimale pour un pH d'environ 5 (Lora 1994). Selon Domínguez (1988), une augmentation de pH diminue la disponibilité du bore mais cela n'apparaît qu'à partir d'un pH égal à 6 qui n'a jamais été atteint après le démarrage de cette expérimentation.

D'après Marschner (1986), la disponibilité du bore pour les plantes décroît quand le pH du sol augmente ; c'est le cas dans les sols calcaires ou dans ceux présentant une forte teneur en argile, probablement en rai-

son de la formation et de l'absorption de B(OH)₄.

Conformément aux analyses chimiques du sol étudié, la valeur du pH (5,1-6,08) oscille dans une fourchette favorable à l'exploitation éventuelle de l'élément par les végétaux. Cela explique que les symptômes de carence en bore se soient manifestés seulement au cours des dernières années. Les raisons pour lesquelles la teneur en bore est corrélée au pH sont fondées sur le fait que le pH :

- influence profondément de nombreux processus biologiques ayant lieu dans le sol ;
- affecte la disponibilité des oligoéléments ;
- altère l'absorption d'un élément en raison de son action sur l'activité microbienne ;
- génère des changements au niveau de la capacité des racines à absorber les ions ou à les transporter une fois absorbés ;
- provoque des variations de la stabilité des complexes organiques solubles ou non ;
- modifie la solubilité des ions antagonistes et altère les conditions de la rhizosphère.

Relation entre nutriments

Les résultats obtenus montrent également une corrélation étroite et inverse entre le bore et le potassium (tableau 3). Cela peut s'expliquer par le fait que la teneur en K atteint au fil des ans des taux supérieurs à 0,30 meq/100g de sol, ce qui, selon Gómez et Leguizamón (1975), peut provoquer des carences en bore.

L'interaction potassium-bore ne semble pas suivre une règle bien définie. Revé et Shive (1944), cités par Domínguez (1988), démontrent que, dans un milieu riche en bore, son absorption augmente avec l'enrichissement du sol en potassium ; mais, en revanche, en présence de taux faibles en bore dans le milieu, le déficit s'aggrave avec l'augmentation du potassium. Le sens de

Tableau 3. Corrélations entre bore édaphique, pH, K, Ca, P et poids du régime (PR) en kg.

Corrélations	
pH – B	0,82
K – B	-1,00
Ca – B	0,80
P – B	-0,86
PR – B	1,00

l'interaction K/B paraît dépendre de la richesse en bore de la solution de sol. La tendance suivie dans cette étude montre que les applications croissantes de potassium provoquent une légère réduction de la disponibilité du bore.

Quand le bore interagit avec d'autres éléments, on doit tenir compte de l'éventualité de déséquilibres nutritionnels dans le sol, étant donné que cet élément aide à transporter des ions antagonistes, ce qui affecte directement la plante dès lors qu'un ou plusieurs éléments ne sont plus disponibles pour elle. C'est le cas du potassium qui est absorbé en moindres quantités quand la teneur en bore est très basse.

Quant au calcium, ses taux augmentent quand le bore est en déficit. Dans le sol étudié, il n'y a pas une grande disponibilité en calcium, ce qui pourrait favoriser l'absorption du bore. Cependant, on a calculé l'interaction calcium-bore dans les concentrations du milieu de croissance et le rapport Ca/B dans la plante. Revé et Shive (1944), cités par Domínguez (1988), indiquent que des fortes concentrations de calcium aggravent les symptômes de carence en bore chez la tomate. D'autre part, la toxicité du bore dans un milieu qui en contient trop peut être diminuée en augmentant les quantités de calcium du milieu. Il est possible que, en raison de tout ce qui précède, les carences en bore des cultures de bananiers plantain étudiées ne soient apparues que ces dernières années (1999-2000), même si on relève des faibles teneurs en bore depuis 1993.

Le tableau 3 montre une corrélation inverse du phosphore par rapport au bore. D'après les études réalisées par Robertson et Lougman (1974), il est démontré qu'il se produit une diminution manifeste de l'absorption du phosphore chez les plantes carencées en bore. Ceci est en relation avec le rôle que joue le bore comme stimulant de l'utilisation du glucose 1-phosphate. Aussi, tant que les teneurs en bore seront basses, le phosphore qui se trouve dans le sol sera très lentement assimilé ce qui se traduira par son accumulation progressive dans le milieu.

En considérant les relations établies entre les différents cations (tableau 4) et la com-

Tableau 4. Relations entre cations dans le sol de l'expérimentation (1990-2000).

Relation	1990	1993	1995	1999	2000
Mg/K	1,58	1,93	0,87	0,73	1,00
Ca/Mg	5,72	4,14	5,00	4,88	5,00
Ca/K	8,97	7,96	5,37	3,58	6,66
(Ca+Mg)/K	10,50	9,88	6,26	4,33	7,66

paraison ultérieure avec leurs niveaux critiques, en aucun cas on n'a observé de carence en potassium, ce qui s'explique aisément en raison des grandes quantités d'engrais potassiques appliqués tout au long des années et aussi par le recyclage de cet élément à travers les résidus de récolte. Selon Belalcázar (1991), la culture du bananier plantain extrait du sol des pourcentages élevés d'éléments tels que le potassium (76,02 %) et le calcium (13,62 %), suivis par l'azote, le magnésium et le phosphore. L'élément le plus exporté est l'azote (25,55 %), suivi par le magnésium (20,09 %) et le phosphore (19,80 %), alors que ceux qui sont réincorporés ou recyclés en plus grande quantité sont le calcium (94,47 %) et le potassium (89,77 %).

Parmi les causes probables de l'origine de la carence en magnésium du sol étudié, on constate des relations inappropriées avec les autres bases du sol, principalement le potassium (tableau 4).

La relation Mg/K est déséquilibrée par un déficit en Mg : les niveaux élevés de K agissent de manière antagoniste avec le magnésium, ce qui conduit à une absorption faible de cet élément. Les pertes en magnésium des sols sont plus élevées quand on y ajoute des engrais potassiques. De nombreux auteurs considèrent qu'un sol est pauvre en magnésium lorsqu'il contient moins de 1,0 meq/100g, alors que pour d'autres il suffit que la teneur en Mg soit inférieure à 1,5 et même 2,0 meq/100 g (Suárez et Carrillo 1984).

La fertilisation intensive et continue en potassium employée dans la zone a certainement contribué à cette carence en Mg, provoquant un déséquilibre du rapport Mg/K et,

par conséquent, une inhibition de l'absorption du magnésium. Enfin, on notera que, dans la zone où s'est déroulée l'étude, il est fréquent de rencontrer des cultures manifestant des symptômes de carence en Mg. Conformément à Fried et Dean (1952), on peut remédier aux carences nutritionnelles engendrées par ces conditions de déséquilibre en appliquant un plan de fertilisation équilibré.

Matière organique et bore dans le sol

D'après les résultats de l'étude, il n'y a pas de corrélation entre la matière organique et le bore. Cependant, il faut souligner que divers auteurs (Gómez et Leguizamón 1975) affirment que dans les sols riches en matière organique on observe rarement de carence en bore puisque la matière organique du sol en est la principale source. C'est ainsi que Berger et Truog (1945), cités par Domínguez (1988), ont relevé une corrélation positive entre le bore assimilable (bore soluble dans l'eau) et la teneur en matière organique du sol. Un peu plus tard, Olson et Berger (1946), cités par Domínguez (1988), ont démontré que la minéralisation de la matière organique conduisait à la libération de bore assimilable.

D'autre part, le bore adsorbé par les colloïdes organiques et inorganiques du sol constitue une réserve permettant de maintenir sa concentration dans la solution de sol afin de satisfaire les besoins de la culture et de réduire les pertes par lessivage. De plus, dans des sols contenant davantage de matière organique, la concentration de bore est plus élevée puisqu'une fraction importante du bore édaphique provient de la matière organique du sol.

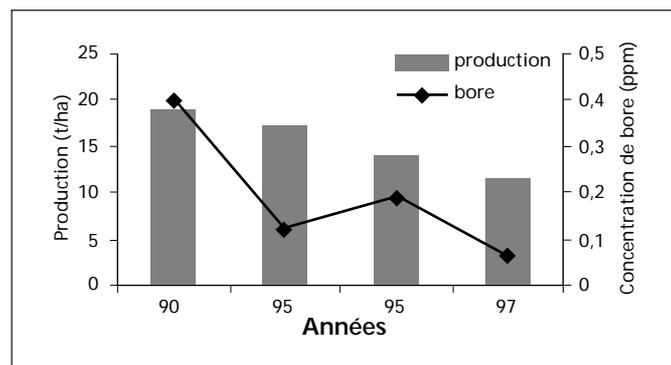


Figure 1. Production de bananes plantain en fonction de la teneur en bore du sol.

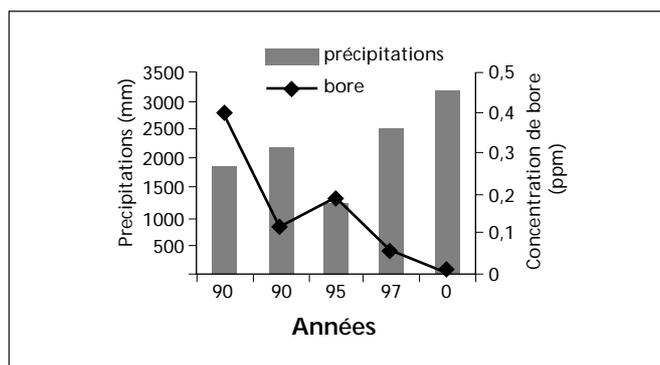


Figure 2. Teneur en bore édaphique vs précipitations.

Production de bananes plantain et bore édaphique

On remarque une corrélation étroite et directe entre la productivité du sol et le bore (tableau 3). On peut l'expliquer par une dégradation chimique du sol, comme le montre le tableau 2. La perte graduelle de l'oligoélément bore affecte drastiquement le remplissage des fruits (figure 1), à tel point que les doigts se déforment, mûrissent prématurément et que leur taille se réduit, entraînant une diminution de la production et des difficultés de commercialisation. En conséquence, la perte de la capacité productive des bananiers plantain est évidente. La diminution des rendements peut également être reliée à la régulation de l'absorption et de la translocation du bore par les plantes, phénomènes plus limités pour cet élément que pour d'autres éléments minéraux.

Ainsi, les faibles quantité et qualité de la production peuvent être provoquées par une carence précoce en bore qui entraîne un arrêt de la croissance des bourgeons et inhibe l'élongation des cellules (Lovatt *et al.* 1981, Robertson et Loughman 1974b) et leur division (Cohen et Lepper 1977, Kouchi 1977).

Selon Leguizamón (1975), dans bien des cas, les bourgeons axillaires affectés n'arrivent pas au stade productif et, s'ils y arrivent, ils donnent des régimes petits et déformés.

On peut conclure de ce qui précède que le bore est un nutriment essentiel à une bonne production, tant en qualité qu'en quantité.

Précipitations et bore

La teneur en bore tend à diminuer avec les précipitations élevées reçues par la région étudiée comme le montre la figure 2. Ce régime de précipitations, joint à la texture de type limon sableux du sol et au fait que l'anion borate possède une certaine mobilité, a permis une augmentation du taux de lixiviation du bore. C'est pourquoi il s'avère indispensable d'appliquer ce nutriment de manière plus fractionnée.

Ces résultats concordent avec ceux de Marschner (1986), qui part du principe que, dans des conditions de fortes précipitations, le bore est lessivé sous forme de $B(OH)_3$.

Le bore dans la physiologie de la plante

Un aspect général du déficit en bore est le mauvais développement des tissus méristématiques, que ce soit aux extrémités des racines ou au niveau des bourgeons. En cas de carence, les difficultés de développement sont les premiers symptômes (Dominguez 1988). Ce ralentissement de la croissance des pointes des racines peut probablement contribuer à aggraver un des principaux problèmes de la culture du bananier : la verse. Primavessi (2000) affirme que l'addition de bore aide la croissance des racines et que, si ces dernières restent dans la couche organique et ne pénètrent pas plus

profondément dans le sol, c'est parce qu'il ne s'y trouve pas suffisamment de bore.

Les carences en bore des plantes ne sont pourtant pas très faciles à identifier sinon par des analyses foliaires ou de sol. Celles-ci sont particulièrement indiquées dans le cadre de la culture du bananier plantain car le bore joue, grâce à la transformation de complexes bore-sucre (Marschner 1986), un rôle essentiel dans le transport des sucres et donc dans le remplissage des fruits. Une carence en bore a donc une incidence directe sur la qualité et la quantité des bananes plantain récoltées.

Conclusions

- Le bore est un nutriment fondamental pour l'obtention de rendements maximaux des bananiers plantain tant en quantité qu'en qualité. Ceci est confirmé par la corrélation de 1 entre le poids des régimes et la teneur en bore du sol étudié.
- La disponibilité du bore dans la solution de sol est étroitement liée au volume des précipitations et à la texture de limon sableux du sol en raison d'une certaine mobilité de l'anion borate.
- Dans le sol de l'expérimentation, de 1990 à 2000, plus la teneur en potassium du sol augmente, plus la teneur en bore diminue et, par conséquent, les rendements de la culture diminuent également. Ceci peut être relié à la fertilisation potassique répétée du sol.

Recommandation

D'autres expérimentations sont nécessaires pour préciser les doses de fertilisation par le bore à recommander pour la culture du bananier plantain, en prenant en compte la teneur en bore des feuilles et sur la base des différents niveaux critiques d'extraction de l'anion borate.

Remerciements

Les auteurs remercient le Comité des Caféculteurs du Quindío pour son appui financier aux analyses de sol, sans lesquelles cette étude n'aurait pu être menée à bien, ainsi que Fabio Aranzazu H., chercheur à la CORPOICA, Regional 9, Huberto Morales Osorno et Luz Dary Celis García, assistants de recherche à la CORPOICA, Regional 9. ■

Références

Belalcázar C.S., C.A. Salazar M., G. Cayón S., J.E. Lozada Z., L.E. Castillo & J.A. Valencia M. 1991. Manejo de plantaciones. Pp. 147-214 *in* El cultivo del plátano en el trópico. Manual de Asistencia Técnica No. 50. Instituto Colombiano Agropecuario, Colombie.

Bonilla C.R., A. García, L.E. Castillo & Ch.F. Salazar. 1994. Boro y zinc: dos elementos limitantes en Colombia. ICA Programa de Suelos, Colombie.

Buriticá C.P. 1985. Situación del plátano en Colombia y el sistema de producción de tecnología para su cultivo. Rev. ICA – Informa (Colombie) 13 : 24-31.

Cohen M.S. & Lepper R. Jr. 1977. Effect of boron on cell elongation and division in squash roots. *Plant Physiol.* 59 : 884-887.

Dominguez A. 1988. El boro. Pp. 155-181 *in* Los microelementos en agricultura (A. Loué, ed.). Mundi-Prensa, Madrid, Espagne.

Fried M. & L. Dean. 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Science* 7 : 263-271.

Gómez A. & J. Leguizamón. 1975. Importancia del boro en las plantas. *Cenicafé* (Colombia). Avance técnico No.43.

Leguizamón J. 1975. Deficiencia de boro en cultivos de plátano en el Valle del Cauca. *Cenicafé* (Colombia). Avance técnico No.39.

León L.A., A.S. López & P.L.G. Vlek. 1985. Micronutrient problems in tropical Latin America. Pp. 95-129 *in* Micronutrients in tropical foods (P.L.G. Vlek, ed.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publ, Pays-Bas.

Lora S., R. 1994. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Pp. 29-55 *in* Fertilidad de suelos: diagnóstico y control (F. Silva M., ed.). Soc. Col. Ciencia del Suelo (SCCS).

Lovatt C.J., L.S. Albert & G.C. Tremblay. 1981. Synthesis, salvage and catabolism of uridine nucleotides in boron-deficient squash roots. *Plant Physiol.* 6 : 1389-1394.

Marschner H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. San Diego CA Academic Press. 674pp.

Mengel U.S. 1980. Borax plant food. Borate Meeting, Lafayette, Ind.

Primavessi A. 2000. Manejo ecológico del suelo. Presentación al Simposio "Biología de Suelos Tropicales", 14-18 Août 2000, Universidad de Caldas, Manizales, Colombie.

Rajaratnam J.A. & J.B. Lowry. 1974. The role of boron in the oil-palm (*Elaeis guineensis*). *Ann. Bot.* (London) (N.S.) 38 : 193-200.

Robertson G.A. & B.C. Loughman. 1974a. Reversible effects of boron on the absorption and incorporation of phosphate in *Vicia faba* L. *New Phytol.* 73 : 291-298.

Robertson G.A. & B.C. Loughman. 1974b. Response to boron deficiency: a comparison with responses produced by chemical methods of retarding root elongation. *New Phytol.* 73 : 821-832.

Suárez S & I.F. Carrillo. 1984. Comportamiento de tres fertilizantes potásicos en un *dystrandep* típico. *Cenicafé* (Colombie) 35(2) : 31-39.

Martha M. Bolaños Benavides est biologiste à la CORPOICA, Avenida Bolívar Sector Regivit 28 Norte, A.A. 1807, Armenia, Colombie. E-mail : corpoarm@armenia.multi.net.co ; **Alexander García Alzate** est étudiant à la *Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Agronomía, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombie.* E-mail : alexandergarcia1@latinmail.com.

Evaluation des caractéristiques agronomiques d'hybrides de bananiers plantain (*Musa* spp.)

P. Orellana Pérez,
I. Bermúdez Carballoso,
L. García Rodríguez
et N. Veitia Rodríguez

Les bananiers plantain représentent une source alimentaire importante pour les populations d'Amérique latine et de certains pays africains. Les bananiers plantain de type "Horn", traditionnellement les plus cultivés, ont été gravement affectés par la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), ce qui a considérablement diminué l'offre de ce produit sur les marchés locaux et d'exportation. C'est la principale maladie qui menace la production de cette source alimentaire et de revenus (Jacome 1998). Le fait que la culture des bananiers plantain se pratique généralement dans de petites exploitations, quelquefois en zones montagneuses et très souvent en association avec d'autres plantes, rend la lutte chimique contre la maladie difficile. Les conséquences, non seulement sur le volume de production mais aussi sur la qualité du produit, font que les niveaux actuels de production ne répondent pas à la demande croissante de certains marchés locaux et d'exportation.

Dans les années 90, les premiers hybrides de bananiers plantain résistants à la cercosporiose noire destinés à la commercialisation développés par la *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola* (FHIA) ont donné l'espoir de pouvoir introduire de nouveaux clones dans la production commerciale et de retrouver des niveaux de production adéquats à moindre coût.

Cependant, en raison de leur constitution génétique à laquelle ont participé certains clones de type "French" de haute stature, les nouveaux hybrides doivent être caractérisés sur le plan morphologique et étudiés au niveau agronomique avant d'être exploités commercialement.

Le travail présenté ici montre les résultats de l'évaluation de divers caractères agronomiques des hybrides FHIA dans la région centrale de Cuba.

Matériel et méthodes

Les études ont été réalisées sur des vitroplants issus de micropropagation d'après la méthode proposée par Orellana (1994), implantés sur la plantation de l'entreprise de cultures diversifiées "La Cuba", située dans la province de Ciego de Avila.

On a planté 50 plants de chaque hybride, avec un espacement de 3 m entre les plants, sur deux sillons situés également à 3 m de distance. Sur 20 plantes de chaque hybride, à partir du début de la floraison, on a évalué les caractères suivants :

- Hauteur de la plante
- Nombre de feuilles fonctionnelles (avec plus de 75 % de surface foliaire verte) au début de la floraison (NFFF)
- Nombre de feuilles présentant des nécroses typiques de la cercosporiose noire [Stade 5 sur l'échelle de Stover modifiée par Gauhl (1984)] au début de la floraison (NFNF)
- Nombres de feuilles fonctionnelles (avec plus de 75 % de surface foliaire verte) à la récolte (NFFR)
- Nombre de feuilles présentant des nécroses dues à la cercosporiose noire à la récolte (NFNR)
- Nombre de mains par régime
- Longueur et diamètre du doigt central de la première et de l'avant-dernière mains
- Nombre de jours écoulés entre la récolte et la maturation (deuxième main au degré de maturation 1, d'après l'échelle des "Descripteurs pour le bananier" (IPGRI-INIBAP/CIRAD 1996))
- Cycle végétatif en jours de la plantation à la floraison et jusqu'à la récolte.

A l'aide des résultats des évaluations du nombre de feuilles fonctionnelles présentant les lésions typiques de la cercosporiose noire, on a déterminé deux formules servant d'indicateurs de la réduction de la surface foliaire fonctionnelle : l'indice de réduction de feuilles fonctionnelles (IRFF) et l'indice relatif d'infection par la cercosporiose noire (IRI), reflétant les dégâts provoqués par la maladie. Ce dernier indice dépend du nombre de feuilles fonctionnelles présentant des lésions typiques en début de floraison et à la récolte du régime.

Formules :

- $IRFF = NFFF/NFFR$
- $IRI = IRFF \times NFNR/NFFR$
 $= NFFF \times NFNR / (NFFR)^2$

Comme à Cuba on ne réalise en pratique qu'un cycle de production, les évaluations ont porté seulement sur le pied-mère.

Résultats et discussion

Les résultats montrent qu'à l'exception de "FHIA-19", dont le poids du régime est le plus faible, les autres hybrides ne diffèrent pas entre eux pour ce caractère. Pour l'ensemble des hybrides, la majeure partie du poids du régime est concentrée sur les

quatre premières mains (59,71 % du poids total), "FHIA-19" atteignant le taux le plus élevé (71 %), ce qui est confirmé par l'observation de la longueur et de la grosseur des doigts de la première main (Tableau 1). La concentration de la majeure partie du poids sur les premières mains est une caractéristique des bananiers plantain. Cela justifie que l'on puisse éliminer les mains terminales des hybrides ayant développé plus de huit mains par régime, pour favoriser un plus grand développement des doigts en longueur et en diamètre. Ce dernier aspect est très important pour pouvoir prétendre rivaliser avec les bananiers plantain de type "Horn". On n'a pas observé de différences entre les hybrides pour les autres caractères du régime. Arcila *et al.* (2000) recommandent de laisser cinq mains et d'éliminer les autres 20 jours après le début de la floraison.

Il est important de souligner que les hybrides dont l'intervalle de temps entre la récolte et la maturation est le plus grand dans les conditions naturelles sont "FHIA-20" et "FHIA-22" avec 11 jours tandis que pour "FHIA-21", cet intervalle n'est que de 8 jours. Ce comportement montre que les deux premiers présentent des avantages pour le commerce local et pour l'exportation sur de courtes distances.

En ce qui concerne le comportement face à la cercosporiose noire, l'IRFF indique que "FHIA-04", arrivé à la récolte avec seulement 1,3 feuilles fonctionnelles (IRFF = 9,31), est l'hybride dont la surface foliaire a été la plus réduite durant le processus de remplissage des doigts, entraînant un remplissage insuffisant de ces derniers. Tous les autres hybrides présentent des valeurs d'indice inférieures et très voisines entre elles (tableau 2). Pour ces hybrides, le nombre de feuilles fonctionnelles au moment de la récolte n'est jamais inférieur à quatre, permettant un bon remplissage des doigts.

Les résultats indiquent que l'hybride "FHIA-04" est aussi le plus touché par la cercosporiose noire, avec un IRI de 9,31 dû au fait que toutes ses feuilles fonctionnelles présentaient des nécroses typiques de la maladie, qui s'est rapidement développée après la floraison. Au moment de la récolte, "FHIA-20" et "FHIA-22", avec plus de deux feuilles fonctionnelles non affectées par l'agent pathogène, ont obtenu les plus petites valeurs d'IRI : 1,38 et 1,40 respectivement. "FHIA-05", "FHIA-19" et "FHIA-21", bien qu'avec des valeurs supérieures, se sont bien comportés face à la maladie même si toutes leurs feuilles fonctionnelles au

Tableau 1. Caractéristiques du régime et rendement des hybrides étudiés.

Hybride	Poids du régime (kg)	Poids des 4 premières mains (kg)	% du poids total du régime	Nombre de mains par régime	Longueur du doigt (cm)		Diamètre du doigt (mm)		Nbre de jours de la récolte à la maturation
					1 ^{re}	Avt-der.	1 ^{re}	Avt-der.	
FHIA-04	20,3 a	12,8	63	8,5	21,4	14,8	39,3	32,4	8
FHIA-05	21,5 a	13,5	63	8,6	20,8	15,5	39,0	33,5	8
FHIA-19	16,8 b	12,0	71	8,0	22,0	13,8	40,2	30,0	9
FHIA-20	20,6 a	12,1	59	9,7	19,0	14,0	39,8	32,0	11
FHIA-21	21,3 a	13,1	62	8,7	21,1	14,8	38,7	31,5	7
FHIA-22	22,2 a	14,0	61	8,6	20,0	14,0	41,0	31,0	11

(a, b) : les moyennes des valeurs suivies par des lettres différentes sont significativement différentes d'après le test des rangs multiples de Duncan ($P \leq 0,05$).

1^{re} : doigt central de la première main ; Avt-der : doigt central de l'avant-dernière main.

moment de la récolte portaient les lésions typiques. Les résultats confirment que le temps nécessaire au développement de la maladie sur "FHIA-04" est très inférieur à celui des autres hybrides, ce qui avait déjà été rapporté par Jones (1994).

Les résultats mettent en évidence la possibilité d'utiliser l'IRFF comme expression de la réduction de la surface foliaire pendant le processus de remplissage des doigts, et l'IRI comme expression du temps nécessaire au développement de la maladie en fonction de la surface foliaire affectée, donnée par le nombre de feuilles fonctionnelles et celui de feuilles nécrosées au moment de la récolte, relation qu'il a toujours été difficile de quantifier numériquement.

D'après Ortiz et Vuylsteke (1994), cités par Craenen (1998), il faut au moins huit feuilles fonctionnelles pendant tout le cycle végétatif et un nombre égal de feuilles non nécrosées avant la floraison pour garantir un bon rendement.

De ce point de vue, "FHIA-20" possède le cycle végétatif le plus court de la plantation à la récolte avec 481 jours, alors que chez les autres hybrides, celui-ci se situe dans une fourchette allant de 493 à 518 jours.

Conclusions

- Les hybrides "FHIA-20" et "FHIA-22" présentent un bon potentiel de rendement en raison de la durée plus longue séparant la récolte de la maturation des fruits. "FHIA-20", en outre, a le cycle végétatif le plus court.
- Les hybrides "FHIA-05", "FHIA-19" et "FHIA-21" présentent également un bon potentiel de rendement. Cependant, l'IRI nous indique qu'ils arrivent au moment de la récolte avec toutes leurs feuilles fonctionnelles touchées par la cercosporiose noire, ce qui, dans des conditions extrêmes d'infection, peut avoir des répercussions sur le rendement.
- Les indicateurs proposés dans cette étude – indice de réduction des feuilles fonctionnelles (IRFF) et indice relatif d'infection (IRI), semblent être des indicateurs adéquats pour comparer, chez différents clones de bananiers plantain, la réduction de la surface foliaire active et le temps nécessaire au développement de la cercosporiose noire durant la période comprise entre la floraison et la récolte. ■

Tableau 2. Réponse des hybrides aux attaques de la cercosporiose noire.

Hybride	A la floraison		A la récolte		IRFF	IRI
	NFFF	NFNF	NFFR	NFNR		
FHIA-04	12,1	3,13	1,3	1,3	9,31	9,31
FHIA-05	10,2	3,80	4,0	4,0	2,55	2,55
FHIA-19	9,0	4,0	4,0	4,0	2,25	2,25
FHIA-20	12,7	4,0	5,6	3,4	2,27	1,38
FHIA-21	11,5	4,8	4,5	4,5	2,56	2,56
FHIA-22	12,5	4,6	5,5	3,4	2,27	1,40

NFFF : nombre de feuilles fonctionnelles à la floraison ; NFNF : nombre de feuilles nécrosées à la floraison ; NFFR : nombre de feuilles fonctionnelles à la récolte ; NFNR : nombre de feuilles nécrosées à la récolte ; IRFF : indice de réduction des feuilles fonctionnelles ; IRI : indice relatif d'infection.

Références

- Arcila M.I., J.A. Valencia & S. Belalcázar. 2000. Efecto del desmane sobre la calidad y la producción del híbrido de plátano FHIA-21. Pp. 71-78 in *Postcosecha y agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia*. (D.G. Cayón, G. Giraldo, eds). CORPOICA. Universidad del Quindío, ASIPLAT, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, Colciencias. Fudesco, Armenia, Colombie.
- Craenen K. 1998. Black Sigatoka disease of banana and plantain: a reference manual. IITA, Ibadan, Nigeria. 60pp.
- Gauhl F. 1994. Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana in Costa Rica. INIBAP, Montpellier, France. 120pp.
- IPGRI-INIBAP/CIRAD. 1996. Descripteurs pour le bananier (*Musa* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italie/ International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, France. 55 pp.
- Jacome L. 1998. Sigatoka negra, la situación en America Latina y el Caribe. Pp. 18-23 in *Memorias Primer Simposio Internacional sobre Sigatoka Negra* (M.M. Robles *et al.*, comp.). 8-10 juillet 1998, Manzanillo, México. SAGAR, INIFAP, INIBAP, Universidad de Colima, IICA.
- Jones D.R. 1994. International *Musa* Testing Programme Phase I. Pp. 12-20 in *The improvement and testing of Musa: a global partnership*. (D.R. Jones, ed.). Proceedings of the first global conference of the International *Musa* Testing Programme held at FHIA, Honduras 27-30 Avril 1994. INIBAP, Montpellier, France.
- Orellana P.P. 1994. Tecnología para la micropropagación *in vitro* de clones de *Musa* spp. Thèse pour l'obtention du grade de Dr ès Sciences Agricoles. Instituto de Biotecnología de Las Plantas. Universidad Central de Las Villas, Cuba. 120 pp.

Les auteurs travaillent à l'Instituto de Biotecnología de Plantas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Culture de tissus

Propagation en masse

Nouvelles méthodes de propagation *in vitro* du cultivar hybride FHIA-20

L. García Águila, B. Pérez Mederos, Z. Sarría Hernández et J. Clavero García

Plusieurs cultivars de *Musa* sont aujourd'hui multipliés par organogénèse directe à partir de bourgeons

axillaires en culture *in vitro* (Vasil 1994). Cette technique est à la base de la propagation en masse des bananiers et des bananiers plantain et constitue à l'heure actuelle, pour de nombreux pays, un moyen de multiplier et de distribuer commercialement à grande échelle des plantes

exemptes de toute maladie (Afza *et al.* 1996).

On sait que le génotype a une influence sur l'efficacité de la propagation *in vitro* et il est donc nécessaire, lorsque de nouvelles variétés ou des clones hybrides sont introduits dans les programmes de production, d'adapter les techniques de micropropagation. Banerjee *et al.* (1986) (cités par Afza *et al.* 1996) ont noté des différences considérables entre clones quant à la formation de bourgeons. Ceci semble être corrélé à la présence d'un ou deux génomes B.

La propagation *in vitro* de l'hybride FHIA-20 (AAAB) s'est révélée difficile. On a observé le développement des apex en plantes durant la phase d'initiation ainsi que des bourgeons poussant en forme de rosette et présentant des structures bulbeuses de couleur blanche pendant la phase de multiplication. Ceci entraîne une réduction du coefficient de multiplication. Compte tenu de ces problèmes et de la nécessité de multiplier efficacement *in vitro* l'hybride FHIA-20, il s'avère nécessaire de mettre au point de nouveaux protocoles de manipulation des apex lors de la phase d'initiation, et des bourgeons axillaires lors de la phase de multiplication.

Matériel et méthodes

On a choisi pour cette étude de jeunes plantes cultivées sous serre, d'une hauteur moyenne de 25,6 cm (figure 1). Les procédés d'introduction au laboratoire, qui comprennent la manipulation des plantes, la désinfection des cormes, les milieux de cultures d'initiation et de multiplication, et les conditions de culture sont ceux mis au point par Orellana (1994).

Les cultures ont été placées en chambres de croissance en lumière naturelle et à une température de 27 ± 2 °C. Dans tous les cas, on a placé la base des apex et des bourgeons vers le bas sur les milieux de culture.

Influence de la dimension des apex et de l'état physique du milieu de culture pendant la phase d'initiation

Cette étude avait pour but de définir les conditions de manipulation et de croissance des apex pendant la phase d'initiation. On a étudié les traitements suivants (figure 2) :

1. Apex de 0,5 cm² cultivés en milieu liquide (témoin)
2. Apex de 0,5 cm² cultivés sur milieu semi-solide
3. Apex de 1,0 cm² coupés en deux et cultivés en milieu liquide
4. Apex de 1,0 cm² coupés en deux et cultivés sur milieu semi-solide.

Au bout de 20 jours de culture, on a évalué les variables suivantes :

- Pourcentage de régénération des apex
- Pourcentage de contamination des apex
- Pourcentage de mortalité des apex
- Nombre de bourgeons par apex.

On a effectué 20 répétitions par traitement et on a utilisé comme méthode statistique d'analyse des pourcentages la comparaison des proportions ANOVA. On a effectué sur la variable "nombre de bourgeons par apex" une simple analyse de variance, et pour la comparaison des moyennes le test de Tukey à $P < 0,05$ %.

On a utilisé des tubes à essai de 14,5 x 2,0 cm contenant 10 ml de milieu de culture. Pour les milieux de culture liquides, on a employé un support en papier filtre formant un pont sur lequel on a disposé les apex. Dans le cas des milieux semi-solides, on a ajouté 2 mg.L⁻¹ de gélifiant *Gellan gum* (Spectrum®).

Les plantes obtenues pendant la phase d'initiation ont été transférées, après avoir été individualisées et décapitées, sur des milieux de culture de multiplication. On a observé que la croissance des bourgeons se poursuivait pendant cette phase sous forme de petites rosettes et présentait des structures bulbeuses de couleur blanche. Ce comportement des bourgeons de FHIA-20 durant la phase de multiplication a entraîné la réduction des coefficients de multiplication (bourgeons obtenus/bourgeons initiaux).

Effet des doses de 6-benzylaminopurine et du type de manipulation sur la croissance des bourgeons en phase de multiplication

Dans le but de résoudre les problèmes rencontrés au cours de la croissance des bourgeons en phase de multiplication, on a étudié l'action d'une dose 2 mg.L⁻¹ de 6-benzylaminopurine (BAP), la dose de 4 mg.L⁻¹ proposée par Orellana (1994) servant de contrôle. Chaque dose a été associée à deux types de manipulation des bourgeons.

Manipulation 1. Les bourgeons sont individualisés, décapités à 0,5 cm de haut et coupés en deux.

Manipulation 2. Les bourgeons n'atteignant pas 1 cm sont laissés par groupes de deux ou avec la plante mère si le cas se présente, et il n'y a pas de décapitation. Les bourgeons de plus de 1 cm sont individualisés, décapités à cette hauteur et coupés en deux quand le pseudotrunc est formé de plus de trois feuilles.

On obtient ainsi quatre traitements :

1. Milieu de multiplication à 4 mg.L⁻¹ de BAP associé à la manipulation 1 (témoin)
2. Milieu de multiplication à 4 mg.L⁻¹ de BAP associé à la manipulation 2
3. Milieu de multiplication à 2 mg.L⁻¹ de BAP associé à la manipulation 1
4. Milieu de multiplication à 2 mg.L⁻¹ de BAP associé à la manipulation 2.

Les variables évaluées sont le nombre de bourgeons par explant initial et le pourcentage de bourgeons poussant en rosette. Les évaluations sont faites après trois subcul-

tures effectuées à intervalles de 21 jours, en chambre de croissance en lumière naturelle et à une température de 27 ± 2 °C.

On a inoculé cinq explants par flacons de 250 ml contenant 30 ml de milieu de culture semi-solide (2 mg.L⁻¹ de *Gellan gum* (Spectrum®)). On a effectué 10 répétitions par traitement. Les données ont été analysées par analyse de variance multifactorielle et les moyennes comparées par le test de Tukey. Les résultats en pourcentages ont été analysés de la même façon que dans l'essai précédent.

Résultats et discussion

Influence de la dimension des apex et de l'état physique du milieu de culture pendant la phase d'initiation

L'utilisation, pendant la phase d'initiation, d'apex de 1 cm² coupés en deux et placés sur un milieu de culture semi-solide conduit à un taux de régénération de 85 % après 20 jours de culture *in vitro*. On note sur chaque morceau d'apex la présence de bourgeons axillaires qui assureront la production d'un plus grand nombre d'explants durant la phase de multiplication ultérieure. Ces résultats sont significativement différents de ceux obtenus avec les autres traitements (tableau 1).

La technique de décapitation du dôme apical s'avère nécessaire pour induire la formation de nouveaux bourgeons à partir des bourgeons axillaires, inhibés en temps normal par la dominance apicale (Ma et Shi (1972) et Swamy *et al.* (1983) (cités par Afza *et al.* (1996)). Pérez *et al.* (1998) soulignent l'importance de l'augmentation du coefficient de multiplication pendant la propagation *in vitro* des bananiers plantain, car chaque fois que ce coefficient augmente d'une unité, les coûts diminuent d'environ 10 %.

Dans cette étude, la mortalité n'a affecté que des apex coupés et cultivés en milieu liquide, ce qui pourrait être dû au fait que les coupes pratiquées donnent des fragments trop petits pour être cultivés en milieu liquide (tableau 1). D'après Orellana (1998), la croissance des tissus varie avec l'état physique du milieu de culture : son déroulement n'est pas le même quand on utilise des milieux de culture solides ou bien liquides.

L'incidence des contaminations durant cette phase ne montre pas de différences significatives selon les traitements étudiés. Cependant, divers auteurs signalent l'influence de la dimension de l'explant initial sur l'incidence des contaminations et rapportent que plus les dimensions sont réduites et plus les tissus se rapprochent du méristème apical, plus les populations de microorganismes diminuent (García et Noa 1998, Leifert *et al.* 1994).



Figure 1. Jeunes plants du clone FHIA-20 utilisés pour l'introduction au laboratoire.

Effet des doses de 6-BAP et du type de manipulation sur la croissance des bourgeons en phase de multiplication

En réduisant la dose de cytokinine dans les milieux de multiplication, la différenciation des bourgeons en plantules a pu démarquer tandis que disparaissait peu à peu la croissance en rosette (dans la mesure où les trois repiquages ont été faits à la dose de 2 mg.L⁻¹ de BAP). Les manipulations ou les coupes réalisées durant cette phase, jointes à la réduction de la dose de cytokinine, ont favorisé la réponse biologique des plantes et ont entraîné l'apparition d'un plus grand nombre de bourgeons par explant initial pour le protocole 2 (tableau 2). Ces bourgeons, une fois transférés sur des milieux d'enracinement, n'ont pas eu de difficultés à poursuivre leur croissance et ont atteint la hauteur, la grosseur et le nombre de feuilles nécessaires à leur passage en phase d'acclimatation.

En revanche, pour les traitements impliquant la dose de 4 mg.L⁻¹ de BAP, on a continué à voir apparaître une croissance en rosette quelque soit le protocole de manipulation appliqué aux bourgeons, bien que le pourcentage le plus élevé de ce type de croissance corresponde au protocole classique (individualisation, décapitation à 0,5 cm et section en deux des bourgeons). Il semble que ce traitement accentue la présence de cette croissance particulière chez le clone FHIA-20 : en effet, la présence des rosettes tend à diminuer avec le protocole 2 (tableau 2).

Pour obtenir un bon développement des cultures *in vitro*, le rapport entre les taux d'auxines et de cytokinines dans le milieu de culture doit être judicieusement choisi. Il faut également tenir compte des concentrations endogènes de ces hormones dans les différents types d'explants ou d'espèces (Jiménez 1998). Certaines espèces sont cultivées sans adjonction d'aucun régulateur externe, probablement parce qu'il existe une quantité endogène d'hormone suffisante.

Conclusions

Les résultats obtenus au cours de ce travail rendent possible la propagation *in vitro* de l'hybride FHIA-20 avec une augmentation sensible de l'efficacité du processus de pro-

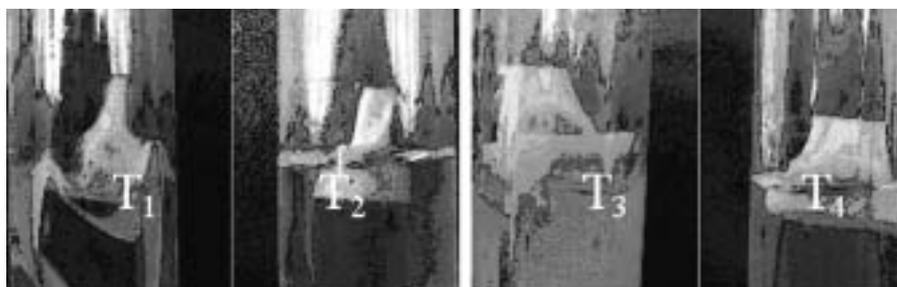


Figure 2. Traitements étudiés pendant la phase d'initiation *in vitro*.

Tableau 1. Comportement des apex pendant la phase d'initiation au bout de 20 jours de culture *in vitro*.

Traitements	Régénération des apex (%)	Nombre de bourgeons par apex	Contamination (%)	Mortalité (%)
1 (Témoin)	40,0 b	0,25 c	15 a	0,0 b
2	40,0 b	1,10 b	20 a	0,0 b
3	35,0 b	0,00 c	15 a	40,0 a
4	85,0 a	2,42 a	15 a	0,0 b

* Des lettres identiques dans une même colonne indiquent que les résultats ne sont pas statistiquement différents (P < 0.05 %).

Traitements

1. Apex de 0,5 cm² cultivés en milieu liquide (témoin).
2. Apex de 0,5 cm² cultivés en milieu semi-solide.
3. Apex de 1,0 cm² coupés en deux et cultivés en milieu liquide.
4. Apex de 1,0 cm² coupés en deux et cultivés en milieu semi-solide.

Tableau 2. Comportement de la croissance des bourgeons pendant la phase de multiplication.

Traitements	Nombre de bourgeons par explant	Bourgeons à croissance en rosette (%)
1 (Témoin)	1,24 b	44,0 a
2	2,10 b	24,0 b
3	2,20 b	6,00 c
4	4,70 a	2,00 c

* Des lettres identiques dans une même colonne indiquent que les résultats ne sont pas statistiquement différents (P < 0.05%).

Traitements

1. Milieu de multiplication à 4,0 mg.L⁻¹ de BAP + manipulation 1 (témoin).
2. Milieu de multiplication à 4,0 mg.L⁻¹ de BAP + manipulation 2.
3. Milieu de multiplication à 2,0 mg.L⁻¹ de BAP + manipulation 1.
4. Milieu de multiplication à 2,0 mg.L⁻¹ de BAP + manipulation 2.

pagation par organogenèse grâce à l'augmentation du nombre de bourgeons.

Il faut pendant la phase d'initiation cultiver sur des milieux semi-solides des apex de 1 cm² coupés en deux. De cette façon, 85 % d'entre eux régénèrent des plantes au bout de 20 jours de culture. Pendant la phase de multiplication, il faut réduire la dose de cytokinine à 2 mg.L⁻¹ dans les milieux de culture et individualiser les explants en bourgeons bien définis qui ne soient pas inférieurs à 1 cm de hauteur (ceux qui le sont seront maintenus en groupes de deux ou resteront unis à la plante-mère). Les bourgeons de 1,5 à 3,0 cm présentant plus de trois feuilles peuvent être décapités à une hauteur de 1,0 cm et coupés en deux. On réduit ainsi de 2 % la croissance en rosette et on obtient en moyenne 4,7 bour-

geons par explant au cours de la phase de multiplication. ■

Références

- Afza R., M. Van Duren, R. Morpurgo & F.J. Novak. 1996. Banana tissue culture and its prospective use in the developing countries. Pp. 58-70 *in* Plant Tissue Culture (A.S. Islam, ed.). Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi/ Calcutta.
- García L. & J.C. Noa. 1998. Obtención de plantas libres de patógenos. Pp. 135-148 *in* Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología de las plantas (J.N. Pérez Ponce, ed.). Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Jiménez E. 1998. Generalidades del cultivo *in vitro*. Pp. 13-22 *in* Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología (J.N. Pérez Ponce, ed.). Capítulo 8. Instituto de Biotecnología de

las Plantas. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.

Orellana P. 1994. Tecnología para la propagación *in vitro* de clones de *Musa* spp. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Biotecnología de las Plantas, Universidad Central de las Villas. 104pp.

Orellana P. 1998. Propagación vía organogénesis. Pp. 151-176 *in* Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología (J.N. Pérez Ponce, ed.). Instituto de Biotecnología de las

Plantas. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.

Pérez Ponce J.N., E. Jiménez & D. Agramonte. 1998. Aumento de la eficiencia en la micropropagación. Pp. 179-190 *in* Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología (J.N. Pérez Ponce, ed.). Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.

Leifert C., C. Morris & W.M. Waites. 1994. Ecology of microbial saprophytes and pathogens in tissue

culture and field-grown plants: reasons for contamination problems *in vitro*. Critical Reviews in Plant Sciences 13(2): 139-183.

Vasil I. 1994. Automation in plant propagation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 39(2): 105-109.

Les auteurs travaillent à l'Institut de Biotecnología de Plantas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuani Km. 5^{1/2}, CP 54830, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
E-mail : legarcia@uclv.edu.cu

Culture de tissus

Suspensions cellulaires

Taux de multiplication et potentiel de régénération d'embryons somatiques d'une suspension cellulaire de bananier (*Musa* AAA cv. "Grande naine")

S.L. Lerma, P. Acuña, A.S. Riveros
et J.A. Sandoval

La culture des bananiers et des bananiers plantain est largement répandue dans les régions tropicales et subtropicales. Les superficies mises en culture, que l'on estime représenter environ 10 millions d'hectares, donnent une production de l'ordre de 88 millions de tonnes par an. Cette culture, dont les fruits font partie du régime alimentaire de plus de 400 millions de personnes, se situe au quatrième rang mondial dans la catégorie des produits alimentaires de première nécessité, après le riz, le blé et le lait (FAO 1999).

Étant donné l'intérêt suscité par la culture du bananier, de gros efforts de recherche ont porté sur l'amélioration et le contrôle de sa propagation en masse par le biais de techniques biotechnologiques comme l'embryogenèse somatique, pour laquelle ont été décrits trois protocoles utilisant des tissus végétatifs tels que des fragments de corme et de bases foliaires (Novak *et al.* 1989, Ganapathi *et al.* 1999), des cultures de méristèmes proliférantes (Dhed'a *et al.* 1991, Dhed'a 1992, Schoofs 1997, Schoofs *et al.* 1998), et des fleurs mâles ou femelles immatures (Escalant *et al.* 1994, Grapin *et al.* 1996).

La mise en place de suspensions cellulaires en embryogenèse somatique et la découverte des facteurs et des moments de synchronisation métabolique des cellules en suspension constituent deux aspects fondamentaux soit des processus d'application des méthodes d'immersion temporaire pour la micropropagation en masse de matériel végétal économiquement important (Escalant *et al.* 1994, Gómez-Kosky *et al.*

2000), soit de leur emploi dans les programmes d'amélioration génétique par induction de mutations, l'étude de sélections *in vitro* (par le biais de toxines de champignons ou d'extraits végétaux) et la transformation génétique par bombardement de particules. En dépit de toutes les recherches menées au niveau international dans divers laboratoires, on constate néanmoins qu'un maintien efficace des suspensions cellulaires reste encore difficile. La mise en place de cultures cellulaires de bananier qui soient exemptes de contaminations bactériennes, d'altérations dues à l'oxydation ou d'éventuelles attaques fongiques nécessite beaucoup de temps, et leur maintien s'avère donc difficile (Schoofs *et al.* 1999). Les objectifs du travail présenté ici ont été de déterminer, en utilisant des sources de carbone et des régulateurs de croissance, les conditions expérimentales optimales de la mise en place et de la multiplication d'une suspension cellulaire d'une part, et d'autre part, de la régénération d'embryons somatiques.

Matériel et méthodes

Maintien des suspensions cellulaires et homogénéisation des cultures

Le matériel végétal utilisé pour initier les suspensions cellulaires consiste en des fleurs mâles immatures de *Musa* AAA cv. "Grande naine" déposées sur un milieu d'induction M1 [sels de Murashige & Skoog (1962)- MS, 1 mg/L de biotine, d'ANA et d'AIA, 4 mg/L de 2,4-D, 6 g/L d'agarose, 30g/L de saccharose, de pH 5,71] proposé par Grapin *et al.* (1998) pour la formation des cals. Le tissu embryogénique friable obtenu a été transféré dans un milieu de suspension cellulaire M2 [sels MS, 100 mg/L de gluta-

mine et d'extrait de malt, 1 mg/L de 2,4-D, 45 g/L de saccharose, de pH 5,3], jusqu'à son établissement. Cette technique d'embryogenèse somatique a été initialement mise au point par Escalant *et al.* (1994) et elle est actuellement appliquée au Laboratoire de biotechnologie de CORBANA sur ce même clone (Acuña et Sandoval 2000).

A partir de cette suspension initiale, on a réalisé pendant la phase de maintien en milieu M2 de nouvelles répétitions sur un milieu composé de 35 ml de milieu M2 frais et de 13 ml du milieu M2 précédent (dans lequel était maintenue la suspension lors du cycle antérieur), mélange dans lequel on a introduit 2 ml de cellules jusqu'à un volume total de 50 ml par erlenmeyer. Ces suspensions ont été soumises à quatre traitements : T0 = 45 g de saccharose, T1 = 45 g de saccharose + 100 mg/L de myo-inositol, T2 = 30 g de saccharose + 100 mg/L de myo-inositol, et T3 = 15 g de saccharose + 100 mg/L de myo-inositol, avec 10 répétitions (figure 1).

On a réalisé 4 subcultures qui ont incubé 14 jours chacune, comme proposé par Escalant *et al.* (1994). Le nombre de cellules et le pourcentage de viabilité des suspensions ont été évalués le 1^{er}, le 7^e et le 14^e jours de culture à l'aide d'un hémacytomètre. On a effectué 3 répétitions par traitement et 5 comptages pour chacune d'elles pour un total de 15 lectures par traitement. De plus, tous les 15 jours, on a mesuré l'augmentation du volume cellulaire par la méthode de sédimentation (SCV) proposé par Schoofs (1997) et le degré de compacité du volume cellulaire (PCV) employé par Reinert et Yeoman (1982). On a également fait 4 répétitions supplémentaires pour le contrôle du pH (2 en milieu inoculé et 2 en milieu non inoculé), les mesures ayant lieu au début et à la fin de chaque subculture.

Afin d'évaluer l'effet des régulateurs de croissance sur la qualité de la suspension cellulaire dans le milieu M2, on a sélectionné le traitement qui présentait le taux le plus élevé de multiplication et de viabilité des cellules pendant les quatre premières subcultures de la phase de maintien. Pour cette étude, on a ajouté au milieu M2 sélectionné : A1 = 0,5 mg/L de 2,4-D, A2 = 1 mg/L de 2,4-D et A3 = 2 mg/L de 2,4-D. Le matériel a été manipulé de la même façon que pour les traitements portant sur les différentes concentrations de saccharose. Pour l'évaluation, on a considéré les mêmes paramètres que ceux retenus pour la phase de maintien des suspensions cellulaires, mentionnés plus haut. On a noté également la morphologie des cellules, en agrégats ou massives, et on a pris des photographies au microscope optique et électronique.

Régénération des embryons somatiques

On a évalué la viabilité du processus par l'observation des embryons obtenus sur le milieu de culture de Schenk et Hildebrandt (1972), dénommé M3 modifié [10 mg/L de biotine, 100 mg/L de glutamine et d'extrait de malt, 230 mg/L de proline, 1 mg/L d'ANA, de zéatine et de 2-IP, 10 g/L de lactose, 45 g/L de saccharose et de pH 5,3]. Une fois le milieu M3 réparti dans des boîtes de Pétri, on y a placé en surface du papier filtre stérile sur lequel on a inoculé des aliquotes de 1 ml de cellules des traitements correspondants aux différentes concentrations de régulateurs de croissance. On a déterminé le type de matériel végétal régénéré en pratiquant trois évaluations par boîte de Pétri des zones où la distribution de la suspension était la plus homogène. Toutes les cultures ont été maintenues dans des conditions contrôlées de température (27 °C), d'humidité relative (80 %) et de photopériode (12 heures).

Analyse statistique

Les résultats obtenus, en phase de maintien des suspensions cellulaires et d'homogénéisation des cultures, des variations de pH, de volume cellulaire, de nombre de cellules et de pourcentage de viabilité, ont été analysés par un schéma de modélisation linéaire et soumis à analyse de variance en utilisant le programme SAS (1990). Les résultats présentant une hétérogénéité des variances ont été homogénéisés par la transformation de la racine carrée.

Résultats et discussion

Effet des différentes concentrations de saccharose

ou de saccharose + myo-inositol sur le maintien des suspensions cellulaires et l'homogénéisation des cultures
Les résultats concernant l'augmentation du nombre de cellules, présentés sur la figure 2, indiquent que la dose de 30 g de

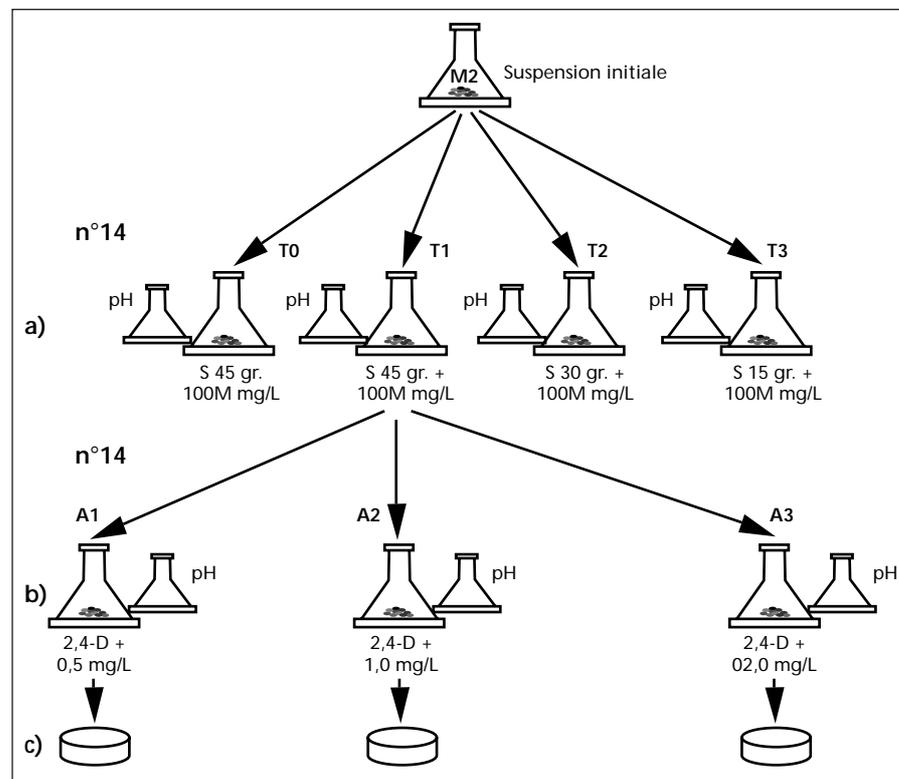


Figure 1. Schéma général du protocole suivi pour étudier une suspension cellulaire de bananier (cultivar "Grande naine"). a) Expérience n° 1: M2 = milieu de suspension cellulaire ; S = saccharose ; M = myo-inositol ; T = traitement ; n° : répétitions. b) Expérience n° 2: Différentes concentrations de 2,4-D. c) Evaluation de la formation des embryons.

saccharose fournit suffisamment de carbone à la suspension puisque son comportement ne diffère pas beaucoup de celui de la suspension maintenue avec 45 g de saccharose. En général, l'addition de myo-inositol (T1-T2) n'a pas non plus modifié le comportement des cellules et on constate une tendance à la stabilisation dans la subculture 4 (relation de T1 et de T2 avec T0).

Il n'y a pas de différences significatives entre les pourcentages de viabilité des traitements avec ou sans myo-inositol, respectivement T1 et T0. On ne note pas non plus de différences entre les évaluations en fonction du temps (7 ou 14 jours), ni d'interaction entre les subcultures et les évaluations (P = 0,1574).

En revanche, en ce qui concerne le comportement de ce même pourcentage de viabilité pour les traitements comportant du myo-inositol associé à différentes concentrations de saccharose (T1 et T2), on constate que les différences présentées par les quatre subcultures dépendent du traitement (P = 0,0040). Cette différence de comportement de lignées cellulaires distinctes d'un même clone peut être un caractère intrinsèque du matériel (Schoofs *et al.* 1999), ce qui ne peut qu'inciter à redoubler d'efforts pour améliorer ces méthodes.

Le traitement T3 (15 g de saccharose + myo-inositol) a été éliminé car il présentait des diminutions progressives de 5,18 à 4,20 et 2,06 ml respectivement dans les subcultures 1, 2 et 3. Ce faible succès de la prolifération cellulaire peut être attribué à la faible

disponibilité des sucres du milieu face à la demande des cellules en phase G1 du cycle cellulaire ou bien au choc osmotique dû au milieu. Quoiqu'il en soit, on sait bien que le saccharose en tant que source de carbone est un stabilisateur des milieux de culture (Takeuchi et Komamine 1982, Vardi *et al.* 1982, Smith *et al.* 1984).

Les différences de volume cellulaire notées entre les traitements T0, T1 et T2 (P = 0,02602) ont été très atténuées dans les subcultures 1 et 2 (figure 3a et b) mais se sont accentuées dans les subcultures 3 et 4 (figure 3c et d), pour lesquelles la différence entre les traitements T0 et T1 peut être attribuée à l'action du myo-inositol. Les subcultures 2, 3 et 4 de T1 (avec myo-inositol) ont produit un volume cellulaire moyen supérieur de 0,67 ml (P = 0,0188) à celui atteint dans les subcultures homologues de T0. Ces résultats concordent avec ceux apportés par d'autres recherches sur le bananier ou d'autres cultures : ainsi, Aftab *et al.* (1999) et Cronauer et Krikorian (1983) confirment l'activité stimulatrice du myo-inositol sur la mitose et la morphogenèse des cellules végétales.

La différence entre les quatre subcultures est en moyenne de 0,23 ml en faveur du traitement T1. Le traitement qui a le mieux répondu est celui comportant 45 g de saccharose et 100 mg/L de myo-inositol. On peut également remarquer que le volume cellulaire de la subculture 1 est de 5,95 ml et de 7,59 ml dans la subculture 4, ce qui représente une augmentation moyenne de 0,65 ml

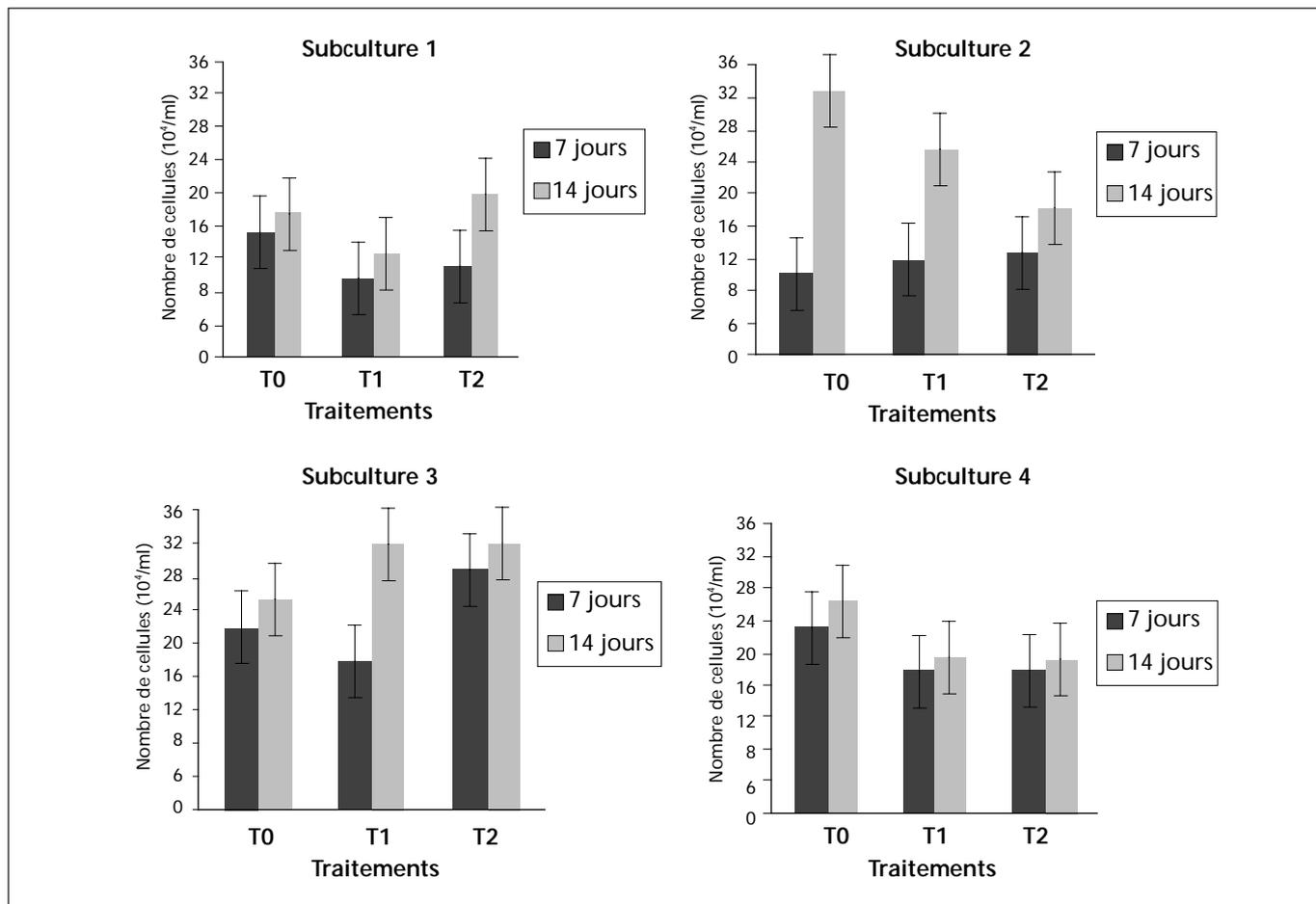


Figure 2. Nombre de cellules obtenues avec trois traitements des milieux de multiplication des suspensions cellulaires de bananier (*Musa AAA cv. "Grande naine"*). Moyennes des traitements de quatre subcultures $n = 3$. T0 = 45 g de saccharose, T1 = 45 g de saccharose + myo-inositol, T2 = 30 g de saccharose + myo-inositol. Les barres représentent les erreurs standard.

pour chacune. Il y a une corrélation positive (figure 3e) entre le nombre de subcultures et leur volume cellulaire puisque ce dernier augmente à mesure que l'on multiplie le nombre de subcultures, pour enfin se stabiliser au quatrième repiquage.

Une fois mélangés les 35 ml de milieu frais avec les 13 ml de milieu antérieur, le pH était de 4,74. Durant les 14 jours de culture, les milieux non inoculés se sont maintenus entre 4,1 et 4,2 et les milieux inoculés entre 4,4 et 4,6 (résultats non publiés). Dans les suspensions cellulaires, le pH a varié en fonction du temps, du traitement et de l'interaction temps/traitement ($P = 0,0001$) : des comportements similaires ont été observés par Skirvin *et al.* (1986). Ces mêmes auteurs émettent l'hypothèse que l'acidification du milieu pourrait être due aux échanges ioniques entre la cellule et le milieu de culture, conduisant à un pH optimal pour le fonctionnement normal de la paroi cellulaire.

Réponse de la suspension

aux différentes concentrations de 2,4-D
L'analyse des résultats obtenus par les variables : nombre de cellules et pourcentage de viabilité sur des milieux contenant des concentrations de 2,4-D différentes, ne font pas apparaître de différences marquées dans leur comportement. Les traitements

A1, A2 et A3 des quatre subcultures ont un nombre de cellules moyen de 7,9 ; 6,0 et 7,0 assorti respectivement d'un pourcentage de viabilité de 59, 62 et 59 %.

Quand on étudie le volume cellulaire obtenu sous des concentrations variables de 2,4-D (figure 4), on constate que le traitement A1 (1 mg/L de 2,4-D) est celui qui maintient le mieux la suspension cellulaire avec un volume moyen de 7,6 ml et un maximum de 8,8 ml dans la subculture 3. La dose de 2,4-D à 2 mg/L se trouve être la plus adaptée pour standardiser le volume cellulaire de plusieurs subcultures ; celui-ci est un paramètre utile pour réaliser des études du cycle ou du métabolisme cellulaires et d'autres phénomènes en relation avec des populations cellulaires synchronisées.

Les résultats finaux de la subculture 4 mesurés par la méthode PVC montrent que tous les traitements ont augmenté progressivement le volume cellulaire sans fluctuations importantes pendant les 14 jours d'incubation et que ce dernier a doublé le sixième jour, lorsque les cellules entament une phase de division cellulaire active (figure 5). Ces résultats coïncident avec ceux obtenus par Bieberach (1995) sur divers types de clones de *Musa*.

Quant à l'utilisation et aux doses de 2,4-D, les résultats exprimés ici complètent les

informations concernant l'action de ce régulateur de croissance sur le processus embryogène et les doses requises par les différentes espèces végétales. Lazzeri *et al.* (1987) soulignent l'importance des auxines dans la régulation de l'embryogenèse somatique du soja et montrent qu'il y a une meilleure production d'embryons somatiques lorsque le 2,4-D est utilisé seul plutôt qu'en combinaison avec de l'acide α -naphtalène acétique.

La morphologie des cellules en suspension a été observée en microscopie optique aux grossissements de 20 et de 40. Les préparations montrent des agrégats cellulaires et des cellules isolées (figures 6a et 6b), ce qui est conforme aux descriptions de Grapin (1996) qui rapporte que dans les suspensions de "French Sombre", on observe des agrégats pouvant atteindre 70 à 80 % du volume de la suspension, données très semblables à celles trouvées au cours de ce travail. Les agrégats sont formés par des cellules pré-embryogènes (figure 6c) possédant les cloisons ou plaques cellulaires typiques de la dernière étape de la mitose et par des cellules vides ou en cours de différenciation.

Les cellules isolées sont arrondies, avec un cytoplasme dense et un noyau bien défini : on peut les considérer comme des proto-

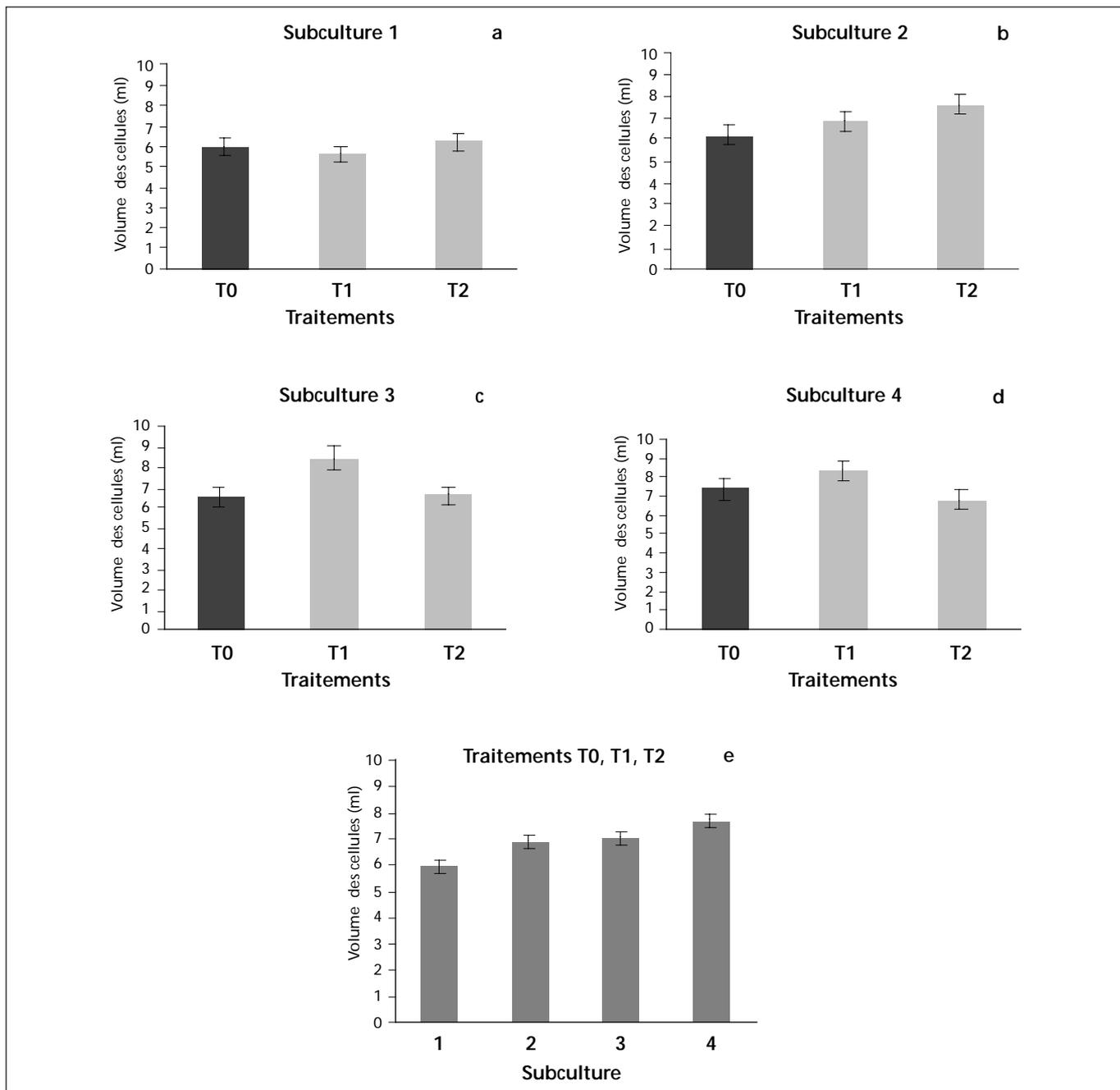


Figure 3. Volumes cellulaires dans les milieux de multiplication des suspensions cellulaires de bananier (*Musa* AAA cv. "Grande naine") ; a = moyennes des traitements dans la subculture 1 (n = 10) ; b = moyennes des traitements dans la subculture 2 (n = 9) ; c = moyennes des traitements dans la subculture 3 (n = 9) ; d = moyennes des traitements dans la subculture 4 (n = 6) ; e : moyennes des subcultures des traitements 0, 1, 2 (n = 23). T0 = 45 g de saccharose, T1 = 45 g de saccharose + myo-inositol, T2 = 30 g de saccharose + myo-inositol, T3 = 15 g de saccharose + myo-inositol. Les barres représentent les erreurs standard.

plastés, cellules initiales à paroi primaire caractéristique des cellules non différenciées et au cycle cellulaire actif. Ces observations sont partagées d'une part par Bieberach (1995) qui note dans les suspensions cellulaires des cultivars "Dominico", "Grande naine" et "Gros Michel" la présence de cellules aux caractéristiques morphologiques identiques et d'autre part par Sannasgala (1989) qui décrit des pré-embryons constitués par des corps protéiques et de l'amidon. Les caractères décrits ci-dessus sont un facteur indiquant la condition embryogénique de la suspension cellulaire (Williams et Maheswaran 1986).

Certaines cellules isolées, au cytoplasme allongé où apparaissent des vides, sont des

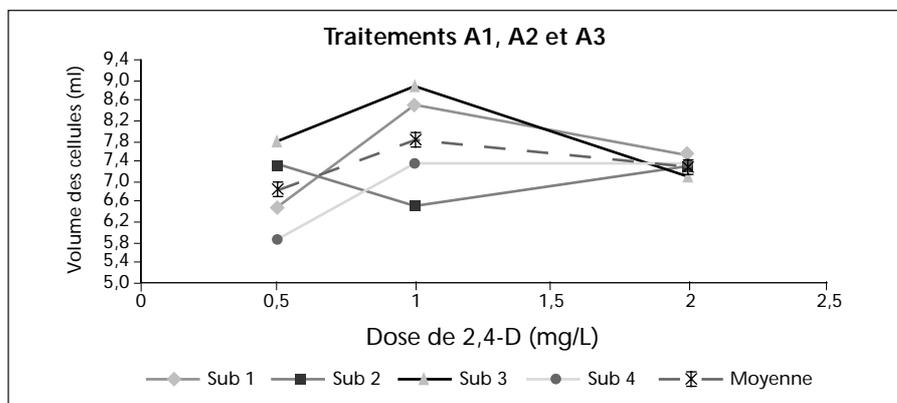


Figure 4. Volumes des cellules dans les milieux de multiplication des suspensions cellulaires de bananier (*Musa* AAA cv. "Grande naine"). Moyennes des traitements (A1, A2 et A3) comportant du 2,4-D dans les subcultures 1, 2, 3 et 4. Les barres représentent les erreurs standard.

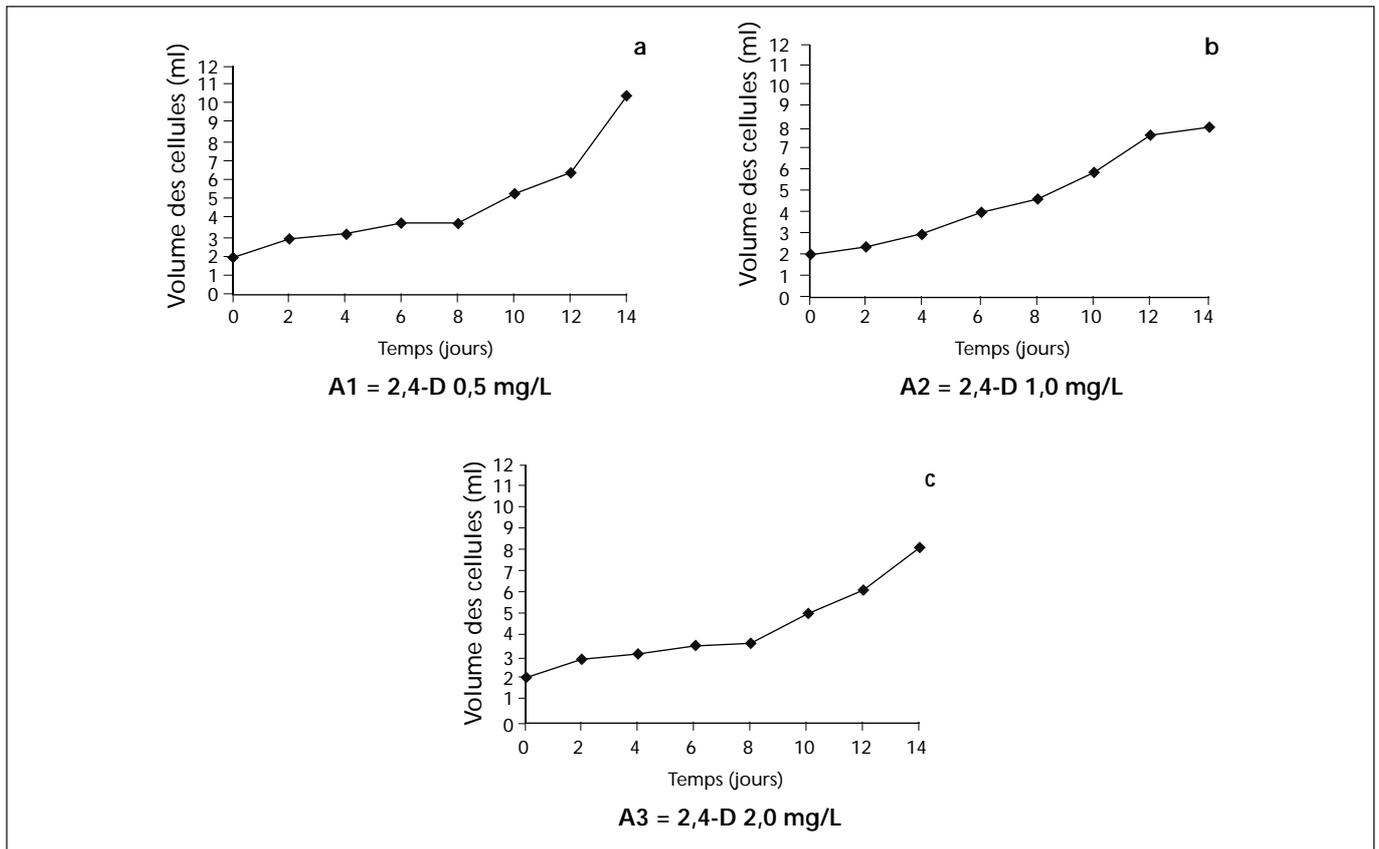


Figure 5. Augmentation du volume cellulaire (PVC) d'une suspension de bananier (*Musa* AAA cv. "Grande naine") avec différentes concentrations de régulateurs de croissance. a, b, c = moyennes des traitements (n = 10) dans la subculture 4.

cellules non viables dans une suspension car elles ont déjà formé leur paroi secondaire.

Au microscope électronique à balayage, on a observé des cellules arrondies de 50 à 80 µm de diamètre, aux parois rugueuses, aux ornements irréguliers, entourées par un mucus polysaccharidique (figures 7a et 7b).

Régénération d'embryons somatiques

Des mélanges d'échantillons cellulaires traités par des régulateurs de croissance ont été repiqués et maintenus 55 jours sur le milieu semi-solide M3 pour y développer les embryons. Au bout de 22 jours, on a commencé à observer leur croissance, sans traces d'oxydation. On a détecté la présence

de petits agrégats de 1 cm² comportant des embryons globulaires en forme de cœur ou de torpille. Les embryons ont été triés en vue d'une régénération ultérieure (Figure 8a). Un total de 200 embryons de type torpille ont été transférés dans huit boîtes de Pétri à raison de 25 embryons par boîte. Au bout de 20 jours, on a obtenu 63 % de germination et après 41 jours, les plantes possédaient des caractéristiques morphologiques normales. Jusqu'alors, les pourcentages de germination d'embryons somatiques du genre *Musa* obtenus oscillaient entre 45 % et 80 % selon les génotypes et les milieux de culture (Bieberach 1995, Escalant *et al.* 1995, Côte *et al.* 1996, Schoofs 1997, Grapin *et al.* 1998). La Figure 8b illustre le potentiel de régénération d'embryons somatiques des suspensions cellulaires. Escalant *et al.* (1994) restent ceux qui ont obtenu les pourcentages de germination les plus élevés en utilisant les systèmes d'immersion temporaire sur d'autres cultivars de bananier.

Conclusions

Ces expérimentations ont permis de standardiser un protocole d'obtention d'embryons de *Musa* AAA cv. "Grande naine" à partir de suspensions cellulaires et en utilisant des régulateurs de croissance. La suspension cellulaire initiale s'est maintenue avec 45 g de saccharose + 100 mg/L de myo-inositol. Un pH initial de 4,74 et quatre subcultures de 14 jours chacune permettent de

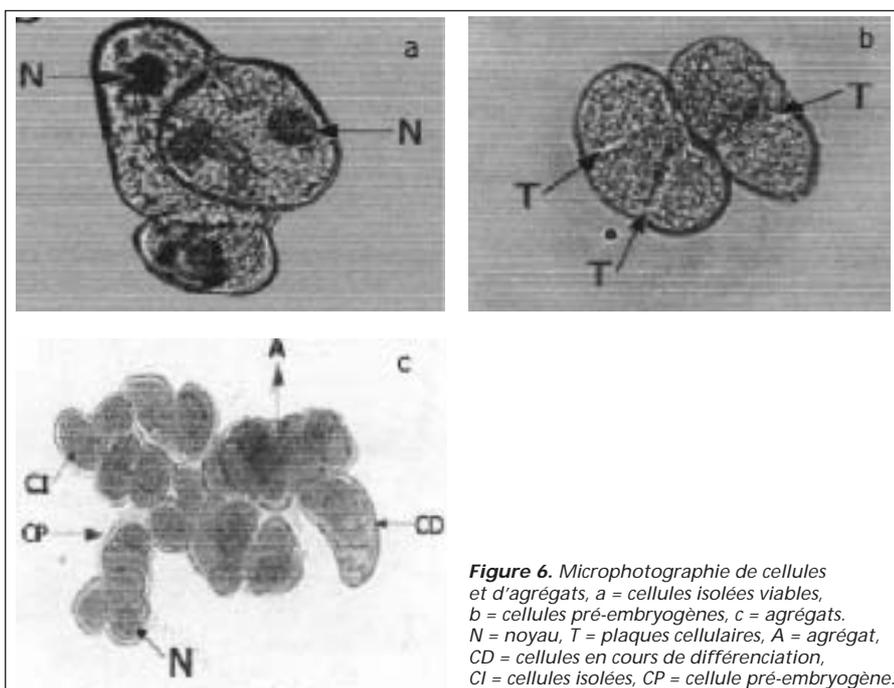


Figure 6. Microphotographie de cellules et d'agrégats, a = cellules isolées viables, b = cellules pré-embryogènes, c = agrégats. N = noyau, T = plaques cellulaires, A = agrégat, CD = cellules en cours de différenciation, Cl = cellules isolées, CP = cellule pré-embryogène.

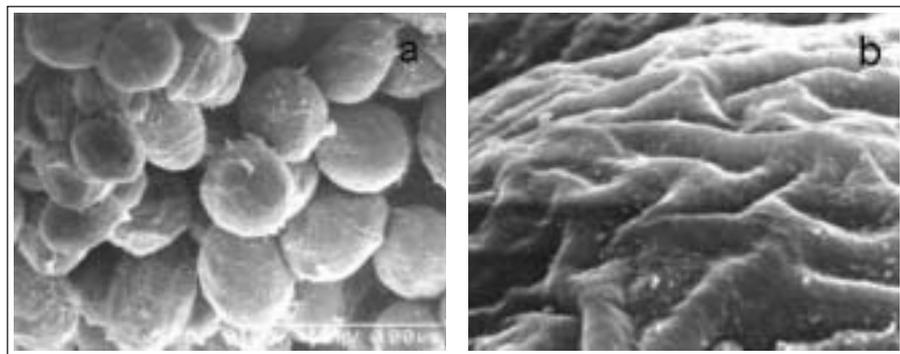


Figure 7. Photographie au microscope électronique à balayage. a = cellules viables, b = surface externe d'une cellule.

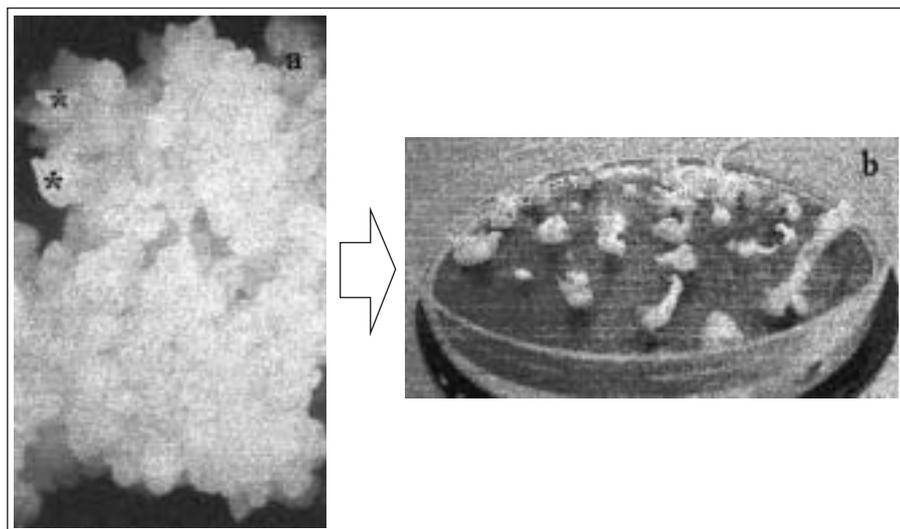


Figure 8. Formation d'embryons de bananier *Musa* AAA, cv. "Grande naine" sur le milieu M3 ; a = agrégat embryogène de 55 jours. Les (*) signalent des embryons de type torpille. b = germination et croissance des embryons sur le milieu M3.

garantir un volume cellulaire suffisant et des embryons avec un bon pourcentage de viabilité. La dose de régulateur de croissance optimale pour l'efficacité du processus est de 1 mg/L de 2,4-D en tant qu'hormone exogène. Les observations morphologiques révèlent que le protocole a permis le développement de cellules viables qui se transforment facilement en embryons. La germination des embryons a validé l'ensemble de la méthode et les doses employées.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'*Unidad de Biotecnología* de la *Corporación Bananera Nacional* (CORBANA) du Costa Rica pour avoir permis la réalisation de la partie expérimentale et l'*Universidad de Costa Rica*, où ont été effectuées les photographies au microscope présentées dans cet article.

Note : Extrait de la thèse de biologie de Sandra Liliana Lerma soutenue devant la Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Avril 2001. Ibagué, Tolima, Colombie. ■

Références

Acuña P. & J. Sandoval. 2000. Embriogénese somática en banano (cv. 'Gran enano') a partir de flores mas-

culinas. Pp. 20-22 *in* Informe Anual. Dirección de Investigaciones, CORBANA, San José, Costa Rica.

Aftab F. & J. Iqbal. 1999. Plant regeneration from protoplasts derived from cell suspension of adventive somatic embryos in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid cv. CoL-54 and cv. CP-43/33). *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 56(3) : 155-162.

Bieberach C. 1995. Embriogénese somática y regeneración de plantas en cultivares de *Musa* spp. Thèse pour l'obtention du diplôme de Magister Scientiae. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 84 pp.

Cronauer-Mitra S. & A.D. Krikorian. 1983. Somatic embryos from cultured tissues of triploid plantains (*Musa* ABB) *Plant Cell Reports* (2) : 289-291.

Côte F., R. Domergue, S. Monmarson, J. Schwendiman, C. Teisson & J.V. Escalant. 1996. Embryogenic cell suspensions from the male flowers of *Musa* AAA cv. Grand Naine. *Physiologia Plantarum* 97 : 285-290.

Dhed'a D., F. Dumortier & B. Panis. 1991. Plant regeneration in cell suspension cultures of the cooking bananas cv. Bluggoe (*Musa* spp. ABB group). *Fruits* 46 : 125-135.

Dhed'a D. 1992. Culture de suspensions cellulaires embryogéniques et régénération en plantules par embryogénese somatique chez le bananier et le bananier plantain (*Musa* spp.) Thèse PhD, KULeuven, Belgique. 171 pp.

Escalant J.V., C. Teisson & F. Côte. 1994. Amplified somatic embryogenesis from male flowers of tri-

ploid banana and plantain cultivars (*Musa* spp.). *In Vitro Plant Cell. and Dev. Biol.* 30 : 181-186.

Escalant J.V., C. Bieberach, L.E. Pocasangre, L. del S. Espinoza, R.G. Kosky, J.L. Ortiz & C. Teisson. 1995. Regeneration through somatic embryogenesis from male flowers of banana and plantain: 1. Amplification by temporary immersion. (Résumé). *in* Simposio CIRAD/CATIE. Mejoramiento genético y desarrollo de los cultivos tropicales. Resúmenes. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 54 pp.

FAO. 1999. Bulletin trimestriel FAO de statistiques 12(3-4).

Ganapathi T.R., N. Higgs, J. Van Eck, P. Balint-Kurti & G.D. May. 1999. Transformation and regeneration of the banana cultivar 'Rasthali' (AAB). P. 34 *in* Abstracts of the International symposium on the molecular and cellular biology of banana, 22-25/03/1999, Cornell University, Ithaca, NY, USA. Boyce Thompson Institute for Plant Research, Inc., Ithaca.

Gómez-Kosky R., T. Gilliard, L.A. Barranco & M. Reyes. 2000. Embryogénese somatique en milieux liquides : maturation et augmentation de la germination du cultivar hybride FHIA-18 (AAB). *INFOMUSA* 9(1) : 12-16.

Grapin A., J. Schwendiman & C. Teisson. 1996. Somatic embryogenesis in plantain banana. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 32 : 66-71.

Grapin A., J.-L. Ortiz, R. Domergue, J. Babeau, S. Monmarson, J.V. Escalant, C. Teisson & F. Côte. 1998. Obtention de cals embryogènes, initiation et régénération de suspensions cellulaires embryogènes à partir de fleurs immatures mâles et femelles de *Musa*. *INFOMUSA* 7(1) : 13-15.

Lazzeri P., D. Hildebrand & G. Collins. 1987. Soybean somatic embryogenesis. Effects of hormones and culture manipulations. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 10 : 197-208.

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

Novak F.J., R. Afza, D.M. Van, D.M. Perea, B.V. Conger & X. Tang. 1989. Somatic embryogenesis and plant regeneration in suspension cultures of dessert (AA and AAA) and cooking (ABB) bananas (*Musa* spp.) *Bio/Technology* 7 : 154-159.

Reinert J. & M.M. Yeoman. 1982. *Plant cell and tissue culture. A laboratory manual.* Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

Sannasgala K. 1989. *In vitro* somatic embryogenesis in *Musa*. PhD Thesis, KULeuven, Belgium. 189pp.

SAS Institute. 1990. SAS/STAT User's Guide. Version 6.4. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

Schenk R.U. & A.C. Hildebrandt. 1972. Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. *Can. J. Bot.* 50 : 199-204.

Schoofs H. 1997. The origin of embryogenic cells in *Musa*. Thèse de PhD, KULeuven, Belgique. 258 pp. + annexes.

Schoofs H., B. Panis & R. Swennen. 1998. Competence of scapels for somatic embryogenesis in *Musa*. *Acta Horticulturae* 490:475-483. Proceedings of the 1st International symposium on banana in the subtropics. ISHS.

Schoofs H., B. Panis, H. Strosse, A. Moyo, J. Lopez, N. Roux, J. Colezel & R. Swennen. 1999. Difficultés rencontrées pour établir et maintenir des suspen-

sions cellulaires morphogènes de bananier et pour régénérer des plants par embryogenèse somatique. *INFOMUSA* 8 (2) : 3-7.

Skirvin R.M., M.C. Chu, M.L. Mann, H. Young, J.G. Sullivan & T.W. Fermanian. 1986. Stability of tissue culture medium pH as a function of autoclaving, time, and cultured plant material. *Plant Cell Reports* 5 : 292-294.

Smith M.A.L., J.P. Palta & B.H. Mc Cown. 1984. The measurement of isotonicity and maintenance of osmotic balance in plant protoplast manipulations. *Plant Sci. Let.* 33 : 249-258.

Takeuchi Y. & A. Komamine. 1982. Effects of culture conditions on cell division and composition of regenerated cell walls in *Vinca rosea* protoplasts. *Plant Cell Physiol.* 23 : 249-255.

Vardi A., P. Spiegel-Roy & E. Galum. 1982. Plant regeneration from *Citrus* protoplasts: variability in methodological requirements among cultivars and species. *Theor. Appl. Genet.* 62 : 171-176.

Williams E.G. & G. Maheswaran. 1986. Somatic embryogenesis: factors influencing coordinated behaviour of cells as an embryonic group. *Annals of Botany* 57 : 443-462.

Sandra Liliana Lerma travaille au *Laboratorio de Protección de Plantas, Departamento de Biología, Universidad del Tolima*, Ibagué (Tolima), Colombia, e-mail : sali286@hotmail.com ; **Pablo Acuña** est conseiller en biotechnologie végétale, Guápiles, Costa Rica, e-mail : pacuna09@Latinmail.com ; **Alba Stella Riveros** est assistante de recherche dans le cadre de la convention *Universidad del Tolima-CATIE, Unidad de Fitoprotección*, CATIE, Turrialba, Costa Rica, e-mail : asrivero@catie.ac.cr et **Jorge Arturo Sandoval** est sous-directeur de recherche à CORBANA, Guápiles, Costa Rica. e-mail : jsandoval@corbana.co.cr.

Variétés améliorées

Un partenariat pour la distribution au Nicaragua

Introduction et multiplication de bananiers et bananiers plantain améliorés au Nicaragua et distribution aux agriculteurs

K. Dens, M. Vargas, G. Matton, S. Coessens, I. Van den Houwe et R. Swennen

Les bananiers et les bananiers plantain au Nicaragua

Contrairement à la plupart des autres pays d'Amérique centrale, le Nicaragua produit peu de bananes et de bananes plantain (tableau 1). Les principales zones de production de bananes et de bananes plantain sont situées dans la zone côtière près de l'océan Pacifique. Dans la région de Chinandega, au nord-ouest, on cultive des Cavendish (*Musa* cv. AAA) destinées à l'exportation sur environ 2000 ha, tandis que dans la région de Rivas (au sud de Managua) le bananier plantain est cultivé sur 13 000 ha pour la consommation locale. Pour de nombreux petits et moyens producteurs de Rivas, le bananier plantain est la culture la plus importante. Les bananiers Gros Michel (*Musa* cv. AAA), Bluggoe (*Musa* cv. ABB) et Silk (*Musa* cv. AAB) sont cultivés dans tout le pays, essentiellement par de petits paysans dans des jardins d'arrière-cour. Dans les régions de plus haute altitude du centre du Nicaragua, jusqu'à 1300 m au-dessus du niveau de la mer, les bananiers sont cultivés en association avec des caféiers ou des cacaoyers. Les bananiers et les bananiers plantain sont aussi importants pour les populations de la côte Atlantique. Les bananiers Pelipita (*Musa* cv. ABB) et Red (*Musa* cv. AAA) sont présents dans certaines régions du Nicaragua.

Le bananier plantain (*Musa* cv. AAB) est le plus apprécié car c'est une culture de rente intéressante. Les variétés locales les plus courantes appartiennent au bananier plantain Faux corne qui ne possède que 25 doigts en moyenne. Le prix de la banane plantain sur le marché local est bien supérieur à celui des autres bananes (Gros Michel, Bluggoe, Silk) en raison de la taille très supérieure de ses doigts et de sa durée de conservation plus longue. Les Cavendish que l'on trouve sur le marché local sont les bananes dont la qualité est insuffisante pour l'exportation. Leur prix est encore plus bas que celui des Gros Michel. Au cours des cinq dernières années, le prix des bananes plantain a sans cesse augmenté, reflétant la forte demande et une offre insuffisante en bananes et bananes plantain dues à de mauvaises pratiques culturales, à la sécheresse et aux maladies et ravageurs.

Les maladies et les ravageurs sont les problèmes les plus importants; la cercosporiose noire (Mourichon *et al.* 1997) et le

matériel végétal contaminé par les charançons (Gold et Messiaen 2000) sont les principales contraintes affectant le petit producteur de plantain. Un autre problème important, particulièrement dans la région de Leon-Chinandega, est la répartition inégale des précipitations annuelles. En l'absence d'irrigation les rendements des bananiers sont réduits en raison de la longue saison sèche.

Créer des effets multiplicateurs

L'objectif de l'intervention est de contribuer à la sécurité alimentaire et à la qualité de l'alimentation des paysans à faible revenus en soutenant la culture du bananier et du bananier plantain. L'insécurité alimentaire est très élevée au Nicaragua et le nombre de personnes sous-alimentées est passé de 1,2 million en 1991 à 1,4 million en 1998 (FAO 2001). Le projet se concentre sur la région de Leon-Chinandega (figure 1), où vivent les paysans les plus pauvres et où les bananiers et les bananiers plantain

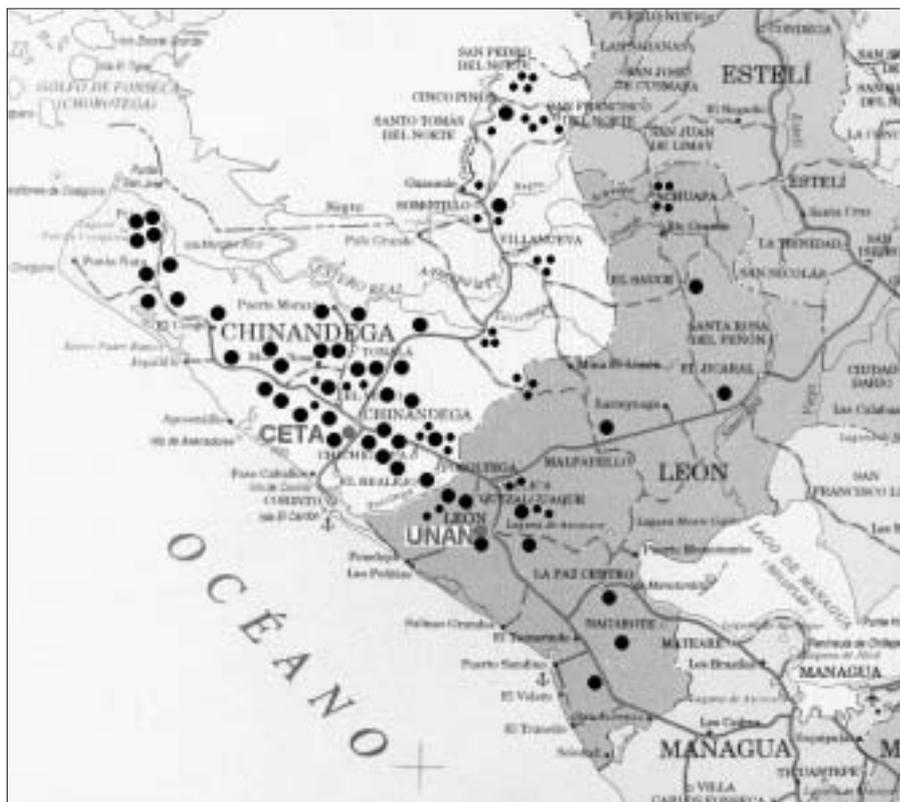
Tableau 1. Données de production, d'exportation et de consommation des bananes et des bananes plantain dans cinq pays d'Amérique centrale.

	Population en 1999 (millions)	Production en 2000 (tonnes)	Exportations en 1999 (tonnes)	Consommation en 1999 (kg/capita/an)
Guatemala	10,8	802 545	576 900	4,5
Honduras	6,1	702 578	155 200	63,9
Nicaragua	4,8	13 636	37 846	14,5
Costa Rica	3,8	2 790 000	2 557 000	29,5
Panama	2,8	918 382	596 900	43,7

Source: FAO sur le site web de l'INIBAP (http://www.inibap.org/network/statistics_fre.htm).



Figure 1. Zone d'opération du projet montrant la localisation des champs de démonstration dans la région de Leon-Chinandega.
 ● représente 10 champs paysans ;
 ● représente 25 jardins d'arrière-cour.



fusion des plants améliorés et des techniques et obtenir un maximum de retour de la part des paysans.

Réalisations

Le projet a démarré à la mi-1996. Des plantules enracinées ont été envoyées par la KULeuven pour être sevrées dans la pépinière de la ferme de l'UNAN dans le Leon, située à quelques kilomètres du centre de la ville de Leon. Ces plantules ont été utilisées dans les premières parcelles d'essais à la ferme de l'Université.

Le laboratoire de culture de tissus de l'UNAN a été construit en 1997. Les techniques de culture de tissus ont été transférées de la KULeuven à l'UNAN qui a produit des plantules afin d'étendre les essais expérimentaux à la ferme de l'Université. Des ateliers ont été organisés dans six communautés de Chinandega en coopération avec le *Centro de Enseñanza Técnica Agropecuaria* (CETA).

En 1998, cinq brochures de vulgarisation en bandes dessinées ont été produites et diffusées aux paysans participant au projet (figure 2). Une collection au champ comprenant à la fois les variétés introduites et celles cultivées localement (40 au total) a été établie à la ferme expérimentale de l'UNAN, et 2 parcelles de 36 plantes de chaque variété ont été évaluées (tableau 2).

En 1999, deux techniciens nicaraguayens spécialisés du laboratoire de culture de tissus ont produit 6500 plants. Cent quarante nouvelles parcelles expérimentales ont été plantées dans le nord-ouest du pays, surtout dans le Chinandega en raison de la coopération avec le CETA et de l'activité agricole importante de cette région.

En 2000, 20 000 plants ont été distribués à 370 nouveaux paysans, y compris des paysans de la région de Leon (figure 1). Dix mille plantules ont été importées de la KULeuven pour accélérer la diffusion des nouvelles variétés. OXFAM-Belgique a passé un contrat avec l'UNAN pour distribuer 25 000 plants de variétés supérieures à près de 1000 familles déplacées après l'ouragan Mitch en octobre 1998 et qui avaient un besoin urgent de nouveau matériel végétal. L'ombrière a donc été agrandie pour couvrir 700 m².

En 2001, quelques champs expérimentaux ont été plantés dans le Rivas, les régions du centre et de la côte Atlantique, où certains paysans ont reçu des vitroplants.

Le nombre de plants produits et distribués par le laboratoire de culture de tissus de l'UNAN est passé de 2000 en 1998 à 15 000 en 2001. Le nombre de paysans participant au projet a, lui aussi, considérablement augmenté, passant de 40 au moment du démarrage du projet à un total de 820 ayant reçu des variétés améliorées et participé au projet en 2001. Au cours de l'année 2001, le

pourraient être intégrés à des systèmes agricoles plus diversifiés, maintenant que la monoculture du coton a disparu.

En 1996, l'*Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua* (UNAN), basée à Leon, et le *Vlaamse Vereniging voor Ontwikkelingsamenwerking en Technische Bijstand* (VVOB) ont démarré leur intervention avec l'assistance technique de la *Katholieke Universiteit Leuven* (KULeuven). Le matériel génétique amélioré provenait de la *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola* (FHIA) et de l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) via la banque de gènes de l'INIBAP (Diekmann and Putter 1996). La société *Bananic* a soutenu cette intervention en couvrant les coûts opérationnels des activités en laboratoire et au champ.

Des laboratoires de culture de tissus ont été installés à l'UNAN pour produire des variétés de bananiers et bananiers plantain de grande valeur. Les variétés sélectionnées sont évaluées à la ferme expérimentale de l'UNAN avant d'être distribuées aux petits producteurs (tableau 2). Elles sont classées en quatre catégories principales par les paysans locaux en fonction de leur comparaison avec les Bluggoe, la variété de plantain locale Faux corne, les Gros Michel et les Silk. A la récolte, des tests de palatabilité sont effectués avec les paysans. Le personnel de vulgarisation du projet enseigne les techniques appropriées de culture et de multiplication au champ. Des partenariats ont été établis avec environ 20 organisations nationales et internationales fonctionnant au Nicaragua (tableau 3) pour accélérer la dif-

Tableau 2. Paramètres de récolte de 23 variétés obtenues dans les champs expérimentaux pendant les premier et deuxième cycles (C1-2) et les troisième et quatrième cycles (C3-4). Les variétés sont regroupées en fonction de la préférence des consommateurs.

Nom	Numéro ITC	Génome	Hauteur de la plante (cm)		Poids du régime (kg)		Nombre de mains	Nombre de doigts
			C1-2	C3-4	C1-2	C3-4	C3-4	C3-4
Bananes à cuire								
<i>Cuadrado</i> ¹ (<i>Bluggoe</i>)		ABB	310	356	19,5	20,5	6,5	102
FHIA-03	0506	AABB	305	381	29,3	42,1	13,2	204
Pelipita	0396	ABB	420	392	22,9	23,8	10,0	152
Cardaba	0394	ABB	344	-	11,3	-	*7,1	*90
Saba	1138	ABB	375	-	25,2	-	*8,8	*131
Bananes plantains								
<i>Cuerno</i> ¹ (<i>Faux corne</i>)		AAB	283	400	9,1	11,7	7,4	39
TMPx 1621	1205	AAAB	-	352	-	15,8	6,0	88
TMPx 4479 (PITA 17)	1293	AAAB	325	361	12,7	14,8	6,3	89
TMPx 7002	1272	AAAB	-	325	-	14,6	6,0	80
TMPx 7152 (PITA 14)	1294	AAAB	299	350	16,8	13,5	6,2	78
TMBx 5295 (BITA 2)	1297	AABB	-	396	-	16,8	10,6	101
Bananes dessert								
<i>Patriota</i> ¹ (<i>Gros Michel</i>)		AAA	286	355	20,5	22,1	10,0	161
FHIA-01	0504	AAAB	254	342	26,4	30,2	10,5	162
FHIA-02	0505	AAAB	238	300	15,9	18,2	10,0	143
FHIA-17	1264	AAAA	334	-	37,5	-	*12,5	*213
FHIA-23	1265	AAAA	339	-	20,1	-	*10,3	*159
Bananes dessert								
<i>Rosa</i> ¹ (<i>Silk</i>)		AAB	332	358	17,0	18,6	8,5	151
Pisang ceylan	0650	AAB	-	382	-	24,5	14,4	193
Yangambi km5	1123	AAA	259	339	15,4	19,5	9,9	171
TMBx 1378 (BITA 3)	1296	ABBB	382	418	20,5	22,0	10,7	151
Pisang mas	0653	AA	329	361	6,6	9,5	9,8	147
AA cv, Rose	0712	AA	265	289	6,9	11,1	12,3	199
Pisang lidi	0395	AA	267	306	5,0	8,6	7,4	125

¹ variétés locales; * données des cycles 1-2; - données non disponibles.

Tableau 3. Partenaires nationaux et internationaux intervenant dans le projet.

Sigle	Description
Instituts assurant la coordination et l'exécution du projet	
INIBAP	Réseau International pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain
KULeuven	<i>Katholieke Universiteit Leuven</i>
UNAN	<i>Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua</i>
Organisations impliquées dans la diffusion du matériel végétal	
Organisations non gouvernementales nicaraguayennes	
ALISTAR	Fondation à but non lucratif pour le développement communautaire
ATC	<i>Asociación de Trabajadores del Campo</i>
BLOQUE	Association évangéliste pour l'éducation des paysans
CIPRES	<i>Centro de Investigación y Promoción para el Desarrollo Rural y Social</i>
SGJRH	Association de Garmendía Jiron à responsabilité limitée
UNAG	<i>Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos</i>
UNAPA	<i>Unión Nacional Agropecuaria de Productores Asociados</i>
Xochilt Acalt	Association des femmes de Malpaisillo
Organisations gouvernementales	
CETA	<i>Centro de Enseñanza Técnica y Agropecuaria</i>
INTA	<i>Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria</i>
MAG-FOR	<i>Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestales</i>
Organisations internationales	
CARE	ONG nord-américaine
CATIE	<i>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza</i>
CLUSA (USAID)	<i>Cooperative League of USA</i>
EU	Projet León-Chinandega (Union européenne)
FAO	Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations-Unies
OXFAM-Solidarity	<i>Oxford Committee for Famine Relief</i> – Belgique
SI	<i>Solidaridad Internacional</i> – Espagne
Sociétés privées	
BANANIC	<i>Corporación Bananera Nicaragüense</i>
SETAGRO	<i>Servicios Técnicos Agropecuarios de Occidente</i>

matériel de plantation a été vendu aux instituts partenaires qui ont distribué les plants dans le cadre de leurs propres programmes de développement.

Au total, 2757 paysans ont été formés au cours de divers ateliers et 1500 brochures sur le choix et la préparation du champ et le matériel végétal ont été distribuées. Des ateliers destinés aux paysans ont été organisés en collaboration avec les ONG locales et des organisations gouvernementales et internationales, augmentant de façon spectaculaire le contact avec les paysans (tableau 3). Le projet a également participé à l'organisation d'ateliers régionaux et nationaux destinés aux vulgarisateurs. Six nouvelles brochures sur la lutte contre les maladies et les ravageurs ont été élaborées. Un catalogue des nouvelles accessions, préparé suivant le format de *Musalogue* (Daniells *et al.* 2001), est maintenant disponible.

Un contact étroit est maintenu avec les paysans qui cultivent les nouvelles variétés (figure 3) afin d'évaluer leurs réactions et d'améliorer l'efficacité de l'intervention. Des entretiens sont effectués afin de déterminer le taux d'acceptation des nouvelles variétés et d'en identifier les raisons sous-jacentes, telles que l'apparence, le goût, la destination de la culture (culture de rente et/ou alimentaire), etc. (tableau 4). La variété la plus populaire jusqu'ici est FHIA-03 en raison de sa résistance à la sécheresse et de ses gros régimes, comparables à ceux de la banane à cuire locale Bluggoe. Des séances de dégustation sont organisées régulièrement et les nouvelles variétés sont préparées selon les habitudes locales: bananes plantain frites, vertes et mûres, en chips, cuites vertes ou mûres, et bananes dessert. On demande aux consommateurs de comparer les nouveaux fruits avec les fruits locaux (plantain Faux corne, Bluggoe ou Silk). Les premiers résultats confirment l'acceptabilité de la plupart des variétés mais montrent aussi que les tests de palatabilité sont absolument nécessaires car les aspects visuels peuvent déterminer le choix des consommateurs (tableau 5).

Prévisions pour le futur

Actuellement le laboratoire a une capacité de production de 50 000 vitroplants par an. Il est prévu d'augmenter la capacité de production afin d'assurer la durabilité du laboratoire de culture de tissus grâce à la vente du matériel végétal. Les petits producteurs recevront le matériel végétal à des prix subventionnés tandis que les producteurs commerciaux devront les payer plus cher.

Les variétés les mieux acceptées seront produites en grande quantité ainsi que d'autres plantes alimentaires pour lesquelles il existe une demande au Nicaragua.

Le travail de diffusion et de vulgarisation sera coordonné de plus en plus par les organisations et les ONG locales. Dans cette



Figure 2. Brochures de vulgarisation distribuées aux agriculteurs.

perspective, le personnel de l'UNAN/VVOB a participé en 2001 à la fondation d'un réseau national sur les bananiers, *MUSANIC*.

Une étude de base de la situation socio-économique des paysans collaborant au projet a été effectuée afin de permettre la mesure de l'impact du projet d'ici quelques années. ■

Références

Daniells J., C. Jenny, D. Karamura & K. Tomekpe. 2001. *Musalogue: a catalogue of Musa germplasm. Diversity in the genus Musa*. INIBAP, Montpellier, France.

Diekmann M. & C.A.J. Putter. 1996. FAO/IPGRI Technical guidelines for the safe movement of germplasm. No. 15. *Musa* (2^{ème} édition). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome/International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

FAO. 2001. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2001. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. (Disponible en ligne à: http://www.fao.org/SOF/sofi/index_fr.htm).

Gold C. & Messiaen S. 2000. The banana weevil *Cosmopolites sordidus*. *Musa Pest Fact Sheet No. 4*. INIBAP, Montpellier, France.

Mourichon X., J. Carlier & E. Fouré. 1997. Les cercosporioses: Maladie des raies noires (cercosporiose noire) - Maladie de Sigatoka (cercosporiose jaune). *Maladies des Musa: fiche technique No. 8*. INIBAP, Montpellier, France.



Figure 3. Paysan cultivant des bananiers FHIA-03 dans son jardin dans la région de Leon.

Tableau 4. Variétés les plus appréciées et raisons de la préférence (N = 80).

Variété	Raison la plus importante
Plantain Faux corne* (Cuerno)	Marché
FHIA-03	Résistante à la sécheresse, taille du régime
TMBx 5295	Goût agréable
Bluggoe* (Cuadrado)	Résistante à la sécheresse, fermeté du fruit, goût
TMBx 1378	Forme du fruit, goût
Pelipita	Fermeté du fruit, goût

* variétés locales.

Tableau 5. Acceptabilité du goût du fruit et aspect (N = 80).

Variété	Goût du fruit			Aspect du fruit	
	Mode de préparation	Comparé avec	% supérieur ou identique	Comparé avec	% supérieur ou identique
FHIA-03	Mür	Bluggoe	95	Gros Michel	44
FHIA-01	Mür	Gros Michel	62	Bluggoe	68
Pisang lidi	Mür	Silk	37	Silk	13
TMBx 1378	Mür	Silk	99		
TMBx 5295	Frit mür	Faux corne	86	Faux corne	57
TMBx 5295	Frit vert	Faux corne	67		
TMPx 4479	Frit mür	Faux corne	75		
TMPx 4479	Frit vert	Faux corne	85	Faux corne	49
Pelipita	Frit vert	Faux corne	80	Faux corne	12
Pelipita	Frit mür	Faux corne	37		
Pisang ceylan	Mür	Silk	72	Silk	91

Koen Dens, G. Matton et S. Coessens sont coopérants du VVOB à l'UNAN ; M. Vargas est responsable du projet *Musa* de l'UNAN, *Laboratorio de Cultivo de Tejidos* ; Iglesia la Merced 1/2 C al N ; *Facultad de Ciencias*, UNAN-León, Nicaragua ; E-mail: viro@unanleon.edu.ni ; <http://www.unanleon.edu.ni/~viro/>

Ines Van den Houwe est chargée de la conservation du matériel génétique au Centre de transit de l'INIBAP, Kasteelpark Arenberg 13 – 3001 Leuven, Belgique. E-mail: Ines.Vandenhoutwe@agr.kuleuven.ac.be et Rony Swennen dirige le Laboratoire d'amélioration des plantes tropicales, *Katholieke Universiteit Leuven*, Kasteelpark Arenberg 13 – 3001 Leuven, Belgique. E-mail: Rony.Swennen@agr.kuleuven.ac.be; <http://www.agr.kuleuven.ac.be/dtp/tro/home.htm>

Utilisation de la technique RAPD pour l'identification et la classification de quelques cultivars de bananier au Vietnam

Nguyen Xuan Thu, Le Thi Lan Oanh
et Ho Huu Nhi

Les variétés de bananiers et bananiers plantain descendent de deux espèces sauvages, *Musa acuminata* (AA) et *Musa balbisiana* (BB). On distingue plusieurs groupes de cultivars possédant différents niveaux de ploïdie, de diploïde ($2n=2x=22$) à tétraploïde ($2n=4x=44$), et des génomes différents. Jusqu'ici, la classification et l'identification traditionnelles reposaient sur la morphologie et sur les caractères quantitatifs, mais l'utilisation de marqueurs moléculaires (ADN, isoenzymes) pour étudier la diversité des plantes, des animaux et des microorganismes s'est développée récemment.

La technique d'amplification aléatoire de l'ADN polymorphe (RAPD), qui utilise la réaction en chaîne par la polymérase (PCR) avec des amorces uniques ayant une séquence de nucléotides arbitraire a été mise au point par Williams *et al.* (1990) et Welsh et McClelland (1990). La technique RAPD s'est révélée utile pour la réalisation d'empreintes génétiques (Yang et Quiros 1993, Orozco-Castillo *et al.* 1994, Lanham *et al.* 1995). Dans cette étude, nous avons utilisé les RAPD pour identifier et classer quelques cultivars de bananier.

Matériel et méthodes

Matériel

Dans cette étude, six cultivars indigènes du Vietnam (tableau 1) ont été étudiés en utilisant les marqueurs RAPD fournis par l'Institut de génétique agronomique.

Isolation de l'ADN

L'ADN a été isolé à partir de feuilles de bananier en utilisant la méthode de Murray et Thompson (1980) avec certaines modifications. Quatre grammes de feuilles fraîches ont été broyées dans l'azote liquide en présence de sable de verre. La poudre obtenue à partir des tissus foliaires a été stockée à -20°C pendant 2 heures. Dix millilitres de tampon d'extraction [1,5% de bromure de cetyltriméthylammonium (CTAB), 100 mM de Tris-HCl (pH 8), 20 mM d'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) (pH 8), 1,4 mM de NaCl, 0,2% de mercaptoéthanol] thermostaté à 65°C ont

été ajoutés, et le mélange a été incubé à 65°C pendant 30 minutes. Le mélange a été agité doucement avec 1,5 fois le volume de chloroforme:isoamyle (24:1) pendant 20 minutes à température ambiante. Le sédiment a été enlevé par centrifugation à 3000 rpm pendant 20 minutes. L'ADN a été précipité en ajoutant 0,8 fois le volume de propanol glacial (ou bien 1,5 fois le volume d'éthanol à 96%). Le culot a été lavé 2-3 fois avec de l'éthanol à 70%. Pour finir, l'ADN a été redissous dans un volume minimal de TE (environ 200 μl).

Amplification de l'ADN

Douze amorces d'Operon Technologies, d'une longueur de 10 bases chacune, ont été utilisées pour amplifier l'ADN (tableau 2). La PCR a été effectuée dans des réactions de 25 μl contenant 20 ng de matrice (ADN génomique), 200 mM de chaque dNTP, 2,5 unités de Taq-polymérase, 15 ng d'amorces, 10 mM de Tris-HCl (pH 8,3), 50 mM de KCl, 1,5 mM de MgCl_2 , 0,001% (p/v) de gélatine et 20 ml d'huile minérale. Quarante-cinq cycles d'amplification ont été effectués, chacun comprenant une séquence de 30 s à 94°C , 1 min à 36°C et 2 min à 72°C . Les produits ont été analysés par électrophorèse sur gel d'agarose à 1,1% à 100 V pendant 3 heures, colorés avec 0,01% de bromure d'éthidium et photographiés sous lumière UV.

Analyse des données

Les coefficients de similarité entre les cultivars ont été calculés en utilisant la formule de Nei et Li (1979) :

$$S_{ij} = \frac{2N_{ij}}{N_i + N_j}$$

où :

N_{ij} = nombre de bandes en commun entre les cultivars i et j, et

N_i et N_j = nombre de bandes, respectivement pour les cultivars i et j.

Le dendrogramme des cultivars a été produit par ordinateur en utilisant le programme Ntsyspc 2.0.

Résultats et discussion

RAPD-PCR

Douze amorces ont été utilisées pour amplifier l'ADN génomique des bananiers. Neuf d'entre elles ont été amplifiées en donnant des produits d'amplification multiples par PCR (figure 1 : exemple avec l'amorce H08), et trois amorces (G6, Y14, Y15) n'ont pas donné de tels produits.

Il y avait deux types de bandes : les bandes monomorphes, présentes dans tous les cultivars, et les bandes polymorphes, présentes ou absentes dans tous les cultivars de manière asynchrone. Neuf amorces ont été amplifiées en 79 bandes, dont 67 (84,81%) étaient polymorphes et 12 (15,19%) monomorphes. Il a été démontré que la proportion élevée de bandes polymorphes était due à l'origine très différente des cultivars. Deux amorces (D07, G14) n'ont produit que 5 bandes, alors que H07 en a produit 17. La taille des bandes variait de 360 à 3200 Kb.

Similarité génétique

La formule de Nei et Li a permis de calculer les coefficients de similarité entre cultivars en se basant sur les données RAPD. Les coefficients de similarité reflétaient les relations entre cultivars. Les coefficients de similarité entre cultivars originaux de *M. acuminata* variaient entre 0,764 et 0,826, alors que pour les cultivars originaux de *M. balbisiana* ils étaient compris entre 0,696 et 0,835 (tableau 3). Les cultivars appartenant aux deux groupes avaient des coefficients de similarité faibles, compris entre 0,317 et 0,461.

Marqueurs RAPD spécifiques de certains cultivars

Les marqueurs RAPD spécifiques sont des bandes qui ne sont présentes que chez un seul cultivar. Dans cette étude, nous avons trouvé 12 marqueurs spécifiques pour 4 cultivars (tableau 4). Ces résultats indiquent que les RAPD peuvent être utilisés pour la sélection de lignées de bananier en agriculture.

Tableau 1. Cultivars et génotypes utilisés dans l'étude.

	Cultivar	Génotype		Cultivar	Génotype
1	Chuoi Tieu Xanh	AAA ($2n = 3x = 33$)	4	Chuoi Tay	ABB ($2n = 3x = 33$)
2	Chuoi Tieu Hong	AAA ($2n = 3x = 33$)	5	Chuoi La	ABB ($2n = 3x = 33$)
3	Chuoi Ngu	AA ($2n = 2x = 22$)	6	Chuoi Hot	BB ($2n = 2x = 22$)

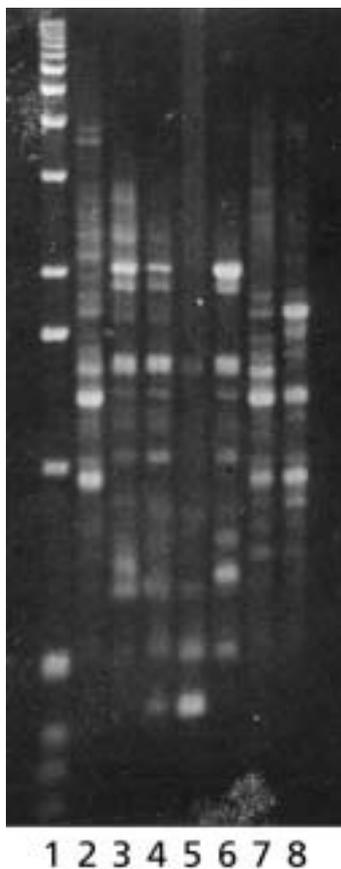


Figure 1. Résultats de l'analyse RAPD-PCR avec l'amorce H08.
1 : Echelle (1Kb) ; 2 : Chuoi Tay ; 3 : Chuoi Tieu Xanh ; 4 : Chuoi Tieu Xanh ; 5 : Chuoi Ngu ; 6 : Chuoi Tieu Hong ; 7 : Chuoi La ; 8 : Chuoi Hot.

Arbre phylogénétique des cultivars de bananier

Un arbre phylogénétique des cultivars de bananier étudiés a été construit sur la base des données RAPD en utilisant le programme Ntsyspc 2.0. L'arbre phylogénétique possède deux branches, l'une portant les cultivars issus de *M. acuminata* et l'autre portant les cultivars issus de *M. balbisiana* (figure 2). Ces résultats sont en accord avec l'analyse cytologique des ces cultivars de bananier.

Remerciements

Les auteurs remercient le Programme de recherches fondamentales qui a financé ce travail, et Inge Van den Bergh qui a revu cet article.

Références

Lanham P.G., R.M. Brennan, C. Hackett & R.J. McNicol. 1995. RAPD fingerprinting of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 90 : 166-172.
Murray M.G. & W.F. Thompson. 1980. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Res.* 8 : 4321- 4325.
Nei M. & W.H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetical variation in term of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 74 : 5267-5273.

Table 2. Amorces utilisées dans l'étude.

Amorce	Séquence de nucléotides	Amorce	Séquence de nucléotides
AA10	5'AGACGGCTCC 3'	H07	5'CTGCATCGTG 3'
AA14	5'AACGGCCAA 3'	H08	5'GAAACACCCC 3'
B17	5'AGGGAACGAG 3'	U01	5'ACGGACGTCA 3'
D07	5'TTGGCACGGG 3'	Y14	5'GGTCGATCTG 3'
G06	5'GTGCCTAACC 3'	Y15	5'AGTCGCCCTT 3'
G14	5'GGATGAGACC 3'	Y18	5'GTGGAGTCAG 3'

Tableau 3. Coefficients de similarité entre cultivars de bananier calculés en utilisant la formule de Nei et Li.

Cultivar	Tay	Hot	La	Tieu Xanh	Tieu Hong	Ngu
Tay	1,00					
Hot	0,826	1,00				
La	0,764	0,829	1,00			
Tieu Xanh	0,577	0,461	0,586	1,00		
Tieu Hong	0,500	0,373	0,489	0,835	1,00	
Ngu	0,477	0,317	0,422	0,782	0,696	1,00

Tableau 4. Marqueurs spécifiques de certains cultivars de bananier.

Chuoi La	Chuoi Hot	Chuoi Ngu	Tieu Hong
AA10-950	H07-500	H07-900	H07-800
	H07-1270		H07-400
	U01-1400		U01-700
			Y18-800

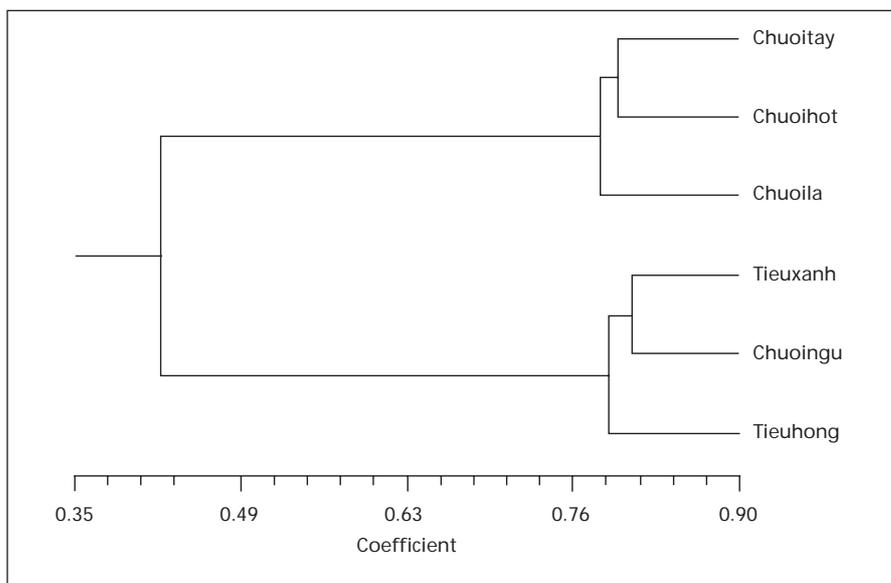


Figure 2. Dendrogramme des cultivars de bananier étudiés construit avec le programme Ntsyspc 2.0.

Orozco-Castillo C., K.J. Chalmers, R. Waugh & W. Powell. 1994. Detection of genetic diversity and selective gene introgression in coffee using RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 87 : 934-940.
Welsh J. & M. McClelland. 1990. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Res.* 18(24) : 7213-7218.
Williams J.G.K., A.R. Kubelik, K.J. Livak, J.A. Rafalski & S.V. Tingey. 1990. DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.* 18 : 6531-6535.

Yang X. & C. Quiros. 1993. Identification and classification of celery cultivars with RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 86 : 205- 212.

Nguyen Xuan Thu et **Le Thi Lan Oanh** travaillent à l'Institut de biotechnologie (IBT), Centre national des sciences naturelles et de la technologie du Vietnam (NCST-VN), rue Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam. E-mail : pb-ibt@hn.vnn.vn ; **Ho Huu Nhi** travaille à l'Institut national des sciences agronomiques du Vietnam (VASI), Van Dien, Hanoi, Vietnam. E-mail : nhivioasi@fpt.vn

Modes de consommation et dépenses des consommateurs de bananes et de bananes plantain à Nsukka Urban, Nigeria

A.R. Ajayi et M.O. Aneke

La banane et la banane plantain ont toujours été des aliments de base traditionnels très importants au Nigeria, aussi bien pour les populations rurales qu'urbaines. Elles sont une source de revenus pour les petits agriculteurs qui les produisent sur des concessions, des fermes pratiquant la culture mixte ou la monoculture à petite échelle (Baiyeri 1996, Ajayi et Baiyeri 1999).

La ville de Nsukka Urban est densément peuplée. Elle possède un grand marché central, qui fonctionne tous les jours. Les hommes, femmes et jeunes gens de Nsukka Urban et des communautés voisines convergent vers le marché pour vendre et acheter. On y trouve des produits agricoles tels que bananes, bananes plantain, légumes, piments, mangues et autres fruits, huile de palme, miel, igname, bétail, etc. Dans cette zone, les bananiers et les bananiers plantain sont cultivés dans des concessions, en mélange avec d'autres plantes. Chaque producteur de bananes et/ou bananes plantain dans la région possède moins de 50 pieds, et la majeure partie d'entre eux cultive plus de bananiers que de bananiers plantain (Baiyeri et Ajayi 2000). Cependant, le commerce de la banane et de la banane plantain est principalement le fait des femmes, particulièrement à Nsukka Urban, sur le campus de l'Université et dans les communautés environnantes. La vente des bananes et des bananes plantain procure des moyens de subsistance à de nombreux ménages dans la région.

Compte tenu de l'importance de ces plantes pour le bien-être économique, la bonne santé et la nutrition des ménages ruraux et urbains au Nigeria, il est très important de s'efforcer en permanence d'améliorer leurs modes de consommation et de commercialisation. Pour planifier un programme national d'amélioration de la commercialisation et de la consommation des bananes et bananes plantain, il est nécessaire de disposer de données sur les modes de consommation et les modalités de dépenses des consommateurs de ces fruits dans les zones rurales et urbaines. La vulgarisation agricole joue un rôle très important dans la collecte des données, la planification, la réalisation, le suivi et l'évaluation d'un tel programme. C'est un méca-

nisme fondamental à travers lequel les ménages peuvent apprendre les motifs conduisant au changement, la valeur du changement, les résultats qui peuvent être obtenus, les modalités du changement, et les incertitudes inhérentes au changement (Williams 1978).

Au Nigeria, les modes de dépenses des ménages varient d'un endroit à l'autre. Outre les revenus des ménages, des facteurs tels que la préférence d'un membre de la famille pour un produit particulier, la qualité et la quantité du produit vendu, l'environnement dans lequel le produit a été transformé et vendu, ainsi que le prix relatif des produits influencent également les modes de dépenses des ménages (Anyanwu 1985).

Les modes de consommation alimentaire, au sens large, ne couvrent pas seulement ce que les gens mangent ou consomment mais aussi les quantités et les formes sous lesquelles ces aliments sont consommés (Dury *et al.* 1999). Selon Olagoke (1989), les modes de consommation alimentaire varient d'un endroit à l'autre en fonction de facteurs tels que l'importance de la famille, le niveau d'éducation des membres de la famille, les prix relatifs des denrées, l'environnement dans lequel vivent les consommateurs, les valeurs sociales attachées à certaines denrées, la valeur nutritive des denrées, le type ou le statut des métiers des membres de la famille, les goûts et préférences du ménage, la saison ou la période de l'année, et la culture ou la religion des membres de la famille.

L'étude présentée ici a été réalisée dans le but d'évaluer les modes de consommation et de dépenses des consommateurs de bananes et de bananes plantain à Nsukka Urban, dans l'état d'Enugu, au Nigeria. Elle avait les objectifs suivants :

1. déterminer les modes de consommation de bananes et bananes plantain chez les ménages de Nsukka Urban, dans l'état d'Enugu ;
2. déterminer les modes de dépenses chez les consommateurs de bananes et bananes plantain à Nsukka Urban ;
3. déterminer le rôle des membres de la famille dans la prise de décision portant sur la consommation de bananes et bananes plantain à Nsukka Urban ;
4. déterminer les problèmes majeurs qui s'opposent à une consommation efficace

des bananes et bananes plantain dans la zone d'étude ; et enfin,

5. en tirer les conséquences pour un programme de vulgarisation visant à améliorer et à rendre plus efficace la conservation, la transformation, la commercialisation et la consommation des bananes et bananes plantain dans la zone d'étude.

Methodologie

Nsukka Urban se trouve au centre de la zone du Gouvernement local de Nsukka, dans l'état d'Enugu, au Nigeria. La superficie de Nsukka Urban est d'environ 45,38 km² (Oformata 1995). Elle comprend les secteurs suivants : le campus de l'Université du Nigeria, Onuiyi, Odenigbo, la zone réservée du gouvernement, Odenigwe, Ugwoye, Umuyo, Ngwuru, Owerre, Makashi et Isiakpu.

Parmi les onze secteurs ci-dessus, cinq ont été choisis par simple tirage au sort. Douze ménages ont été sélectionnés dans chacun de ces cinq secteurs, en utilisant des techniques de regroupement et d'échantillonnage au hasard. Au total, 60 ménages ont participé à l'étude, et le chef de chaque ménage a été interviewé.

Un programme de questionnaires structuré a été mis au point et utilisé pour recueillir les informations pertinentes auprès des consommateurs de bananes et de bananes plantain. Les données collectées ont été analysées en utilisant des graphiques de pourcentages de distribution et des histogrammes.

Résultats de l'enquête

Les modes de consommation et de dépenses pour les bananes et les bananes plantain chez les 60 ménages de Nsukka Urban enquêtés sont présentés dans les figures et tableaux ci-dessous.

Fréquence de consommation de bananes et bananes plantain

La figure 1 montre que la fréquence de consommation des bananes est plus élevée que celle des bananes plantain.

Origine des bananes et des bananes plantain consommées

La plupart des consommateurs dépendent du marché pour leur approvisionnement en bananes et bananes plantain. Une très faible proportion de consommateurs produit régulièrement ses fruits (figure 2).

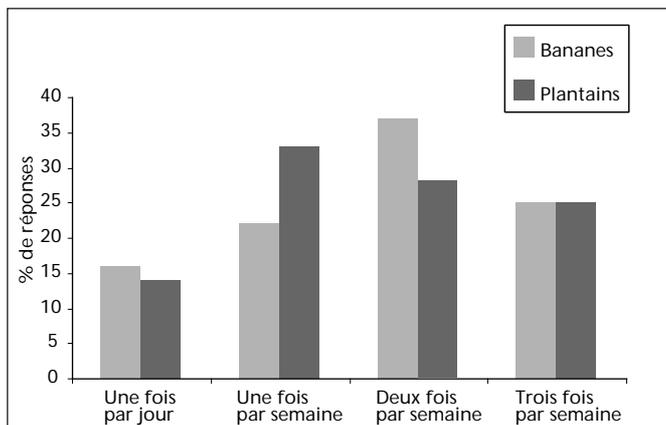


Figure 1. Fréquence de consommation de bananes et bananes plantain.

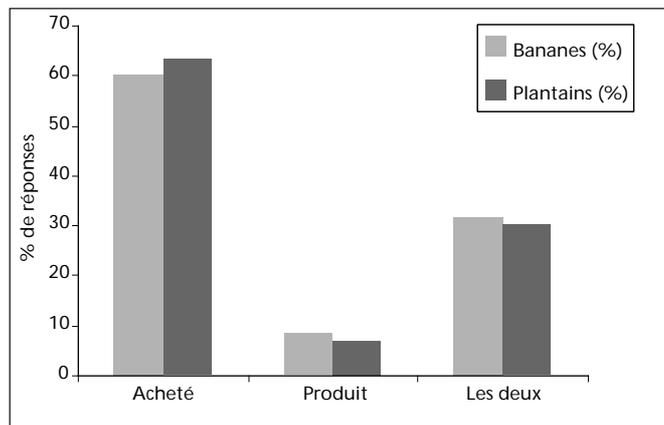


Figure 2. Distribution du pourcentage de réponses en fonction de l'origine des bananes et des bananes plantain.

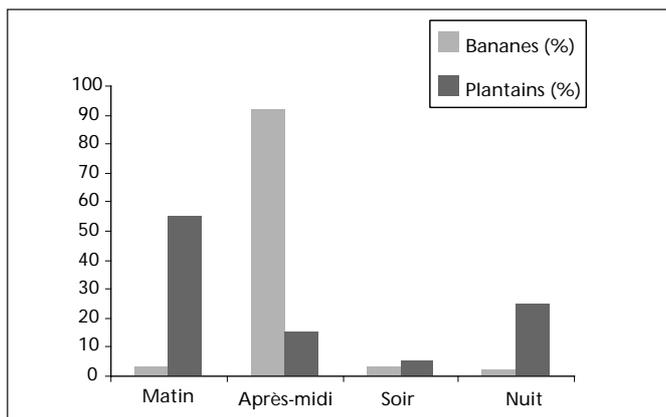


Figure 3. Distribution du pourcentage des consommateurs en fonction de leur moment préféré pour consommer des bananes et des bananes plantain.

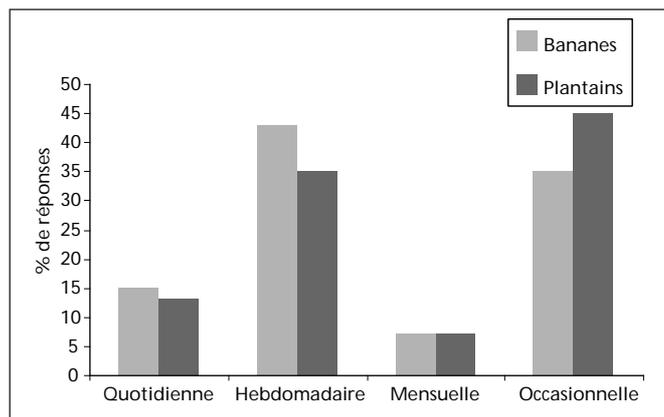


Figure 4. Fréquence des dépenses des consommateurs de bananes et bananes plantain.

Tableau 1. Types de repas à base de bananes plantain chez les ménages.

Type de repas	Petit déjeuner (%)*	Déjeuner (%)*	Dîner (%)*
Bananes plantain frites + bouillies	28,5	4,3	1,7
Potée de banane plantain	19,2	3,7	11,0
Bananes plantain + haricots	3,5	10,6	18,9
Bananes plantain + riz	2,3	9,6	21,1
Bananes plantain bouillies + ragoût	15,1	5,3	13,3
Bananes plantain écrasées + soupe	1,2	25,5	5,6
Bananes plantain + igname (écrasés)	4,7	10,6	17,8
Bananes plantain rôties	3,5	24,0	5,0
Bananes plantain bouillies	22,0	6,4	5,6

*réponses multiples

Moment préféré pour la consommation de bananes et bananes plantain

Il apparaît clairement que les gens préfèrent manger les bananes plantain (consommées bouillies, rôties ou frites) le matin et la nuit, et les bananes comme un 'snack' l'après-midi (figure 3).

Types courants de repas à base de banane plantain chez les ménages

Les personnes interrogées préfèrent les bananes plantain frites au petit-déjeuner. Pour le déjeuner, elles sont le plus fréquemment consommées écrasées ou rôties. Pour

le dîner, on les préfère accompagnées de riz, de haricots ou d'ignames (tableau 1).

Fréquence des dépenses des consommateurs de bananes et bananes plantain

Il faut noter que les bananes plantain sont plus chères que les bananes (12 N¹ ou 15 N par doigt de plantain et 5 N par doigt de banane). Cela pourrait expliquer pourquoi la majorité des consommateurs interrogés achètent plus régulièrement des bananes que des bananes plantain (figure 4).

¹ 10 N (Naira Nigérien) = 0,085 USD en mars 2002.

Proportion du revenu mensuel dépensé pour la consommation de bananes et de bananes plantain

La plupart des personnes interrogées dépendent seulement 1% de leur revenu en bananes et des bananes plantain (figure 5). Les principaux facteurs qui déterminent le pourcentage du revenu mensuel affecté à l'achat de bananes et de bananes plantain sont la disponibilité d'argent, suivie de près par l'intérêt de la famille, et enfin le prix des fruits (figure 6 - NB : plus d'un facteur a été donné).

Forme sous laquelle les bananes et bananes plantain sont achetées au marché

La majorité des bananes sont achetées mûres, alors que les bananes plantain sont de préférence achetées vertes (figure 7).

Réaction des ménages à l'évolution du prix des bananes et des bananes plantain

Le tableau 2 montre que la plupart des personnes interrogées ne modifient pas leurs habitudes d'achat quand le prix augmente, mais qu'ils achètent plus quand le prix baisse. Dans le cas des bananes plantain, plus de la moitié des personnes interrogées en

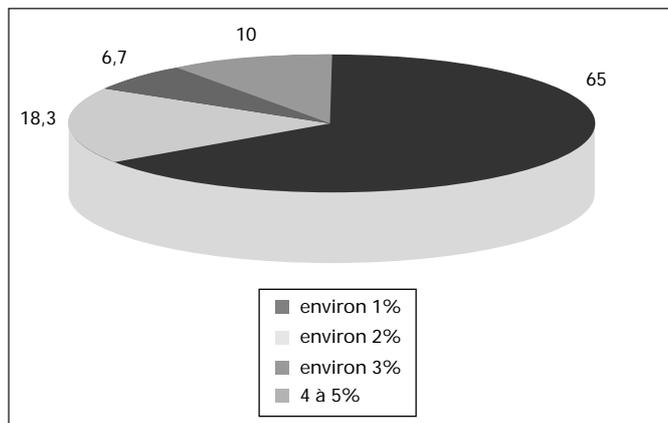


Figure 5. Distribution du pourcentage des personnes interrogées en fonction du pourcentage de leur revenu mensuel affecté à la consommation de bananes et de bananes plantain.

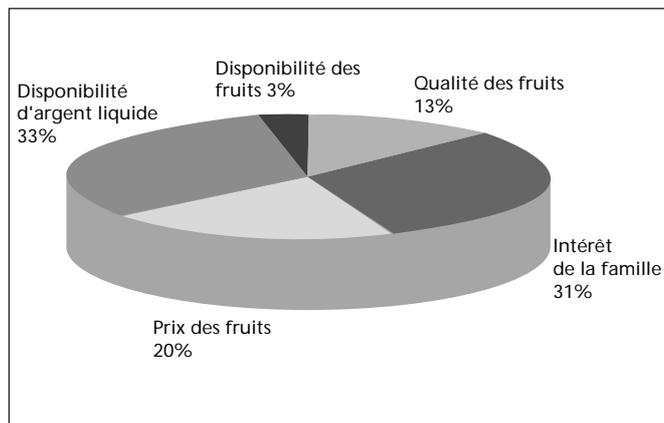


Figure 6. Distribution du pourcentage de personnes interrogées en fonction des facteurs déterminant le pourcentage de leur revenu mensuel affecté à l'achat de bananes et de bananes plantain.

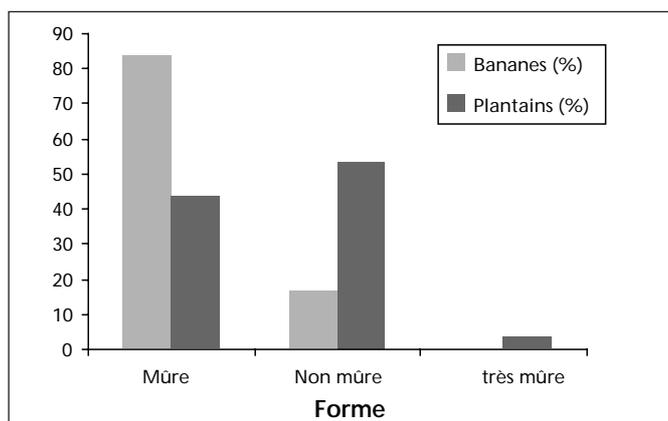


Figure 7. Distribution du pourcentage de personnes interrogées en fonction de la forme sous laquelle les bananes et les bananes plantain sont achetées.

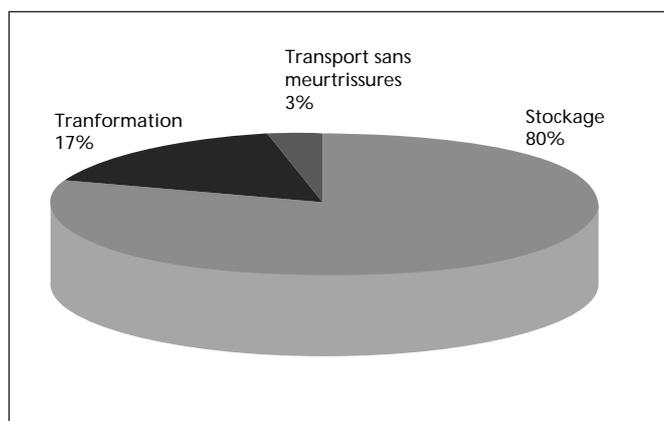


Figure 8. Principaux problèmes s'opposant à une bonne consommation de bananes et bananes plantain.

Tableau 2. Distribution du pourcentage des personnes interrogées en fonction de leur réaction à l'évolution du prix des bananes et bananes plantain.

Réaction à l'évolution du prix	Augmentation du prix de 10%		Baisse du prix de 10%	
	Banane (%)	Plantain (%)	Banane (%)	Plantain (%)
Achète la même quantité	75,0	41,7	25,0	20,0
Achète plus	0,0	0,0	75,0	80,0
Achète moins	25,0	58,3	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Tableau 3. Rôle dans la prise de décision au sein du ménage concernant les processus de consommation des bananes et bananes plantain.

Rôle dans la prise de décision	Banane			Plantain		
	M (%)	F (%)	E (%)	M (%)	F (%)	E (%)
Proportion du revenu mensuel	43,3	56,7	0,0	30,0	70,0	0,0
Quantité achetée	21,0	70,7	8,3	35,0	50,0	15,0
Forme sous laquelle les fruits sont achetés	8,3	75,0	16,7	30,0	60,0	10,0
Transformation	0,0	85,5	14,5	10,0	64,6	25,4
Stockage	0,0	75,3	24,7	0,0	86,2	13,8
Utilisation des peaux	50,0	11,7	38,3	70,0	4,7	25,3
Période de stockage	16,7	25,0	58,3	11,7	21,7	66,6
Intervalle d'achat	33,3	41,7	25,0	13,3	33,3	53,4
Qualité achetée	18,0	82,0	0,0	27,0	73,0	0,0

M = Mari, F = femme et E = Enfants

achèteraient moins si le prix augmentait, et 75% en achèteraient plus si le prix baissait.

Rôle dans la prise de décision au sein du ménage concernant les processus de consommation de bananes et des bananes plantain

Selon le tableau 3, c'est la femme qui joue le plus grand rôle dans la prise de décision concernant l'achat et la consommation des bananes et bananes plantain. Cependant, c'est le mari qui a le rôle prédominant en ce qui concerne l'utilisation des peaux, et les enfants pour la détermination de l'intervalle entre les achats et de la durée du stockage.

Principaux problèmes s'opposant à une bonne consommation de bananes et de bananes plantain

Trois grands problèmes s'opposant à une bonne consommation de bananes et de bananes plantain ont été identifiés par les personnes interrogées (figure 8). Ces facteurs comprennent (1) des problèmes liés au stockage, tels que les attaques de ravageurs (rats domestiques et insectes), le mûrissement excessif et la formation de moisissures due à des meurtrissures ; (2) des problèmes liés à la transformation, tels que le manque de savoir-faire technologique, des conditions climatiques défavorables, le

manque d'unités de transformation, une fourniture d'électricité insuffisante ou absente, etc. ; et enfin (3) le transport sans meurtrissures. Chukwu (1996) remarque qu'en raison d'un stockage inadéquat, d'une distribution insuffisante et du manque de techniques de transformation, de grandes quantités de bananes et de bananes plantain sont transformées en déchets.

Conclusions

L'analyse de ces résultats mène aux conclusions suivantes :

1. la fréquence de consommation des bananes est plus élevée que celle des bananes plantain ;
2. la majeure partie des personnes interrogées dépend du marché pour son approvisionnement en bananes et bananes plantain ;
3. les bananes sont consommées principalement l'après-midi, alors que les bananes plantain sont consommées principalement le matin ;
4. les repas à base de bananes plantain sont préparés et consommés sous des formes variées ;
5. les bananes plantain sont plus onéreuses que les bananes ;
6. les principaux facteurs qui déterminent le pourcentage du revenu mensuel dépensé pour l'achat de bananes et bananes plantain incluent la disponibilité d'argent liquide, l'intérêt de la famille, le prix, la qualité et la quantité des fruits ;
7. les bananes sont principalement achetées mûres, alors que les bananes plantain sont achetées vertes ;
8. les ménages réagissent à l'évolution du prix des bananes et des bananes plantain ;
9. les femmes jouent un plus grand rôle que leurs maris et enfants dans la prise de décision concernant l'achat et la consommation des bananes et bananes plantain ;
10. les principaux problèmes s'opposant à une bonne consommation de bananes et de bananes plantain dans la région concernent le stockage, la transformation et le transport.

Conséquences de ces résultats pour un programme de vulgarisation visant à améliorer la qualité et l'efficacité de la conservation, de la transformation, de la commercialisation et de la consommation des bananes et bananes plantain

1. Puisque les fluctuations des prix sur le marché des bananes et bananes plantain affectent les modes de consommation des ménages, il est nécessaire de mettre en place une organisation coopérative de consommateurs pour les achats en gros et la vente des fruits au détail. Des agents de vulgarisation compétents doivent être



Au Nigeria, les plantains "Faux Corne" sont très appréciés du fait de la taille de leurs doigts (Photo: R. Swennen, IITA).

attachés à chacune des organisations ainsi formées afin de suivre et d'évaluer les activités des membres et de leur fournir des informations si cela s'avère nécessaire.

2. Afin d'assurer la qualité de la conservation, de la transformation et de l'utilisation des bananes et bananes plantain, le projet de développement agricole de l'état (*State Agricultural Development Project*, ADP) doit organiser à l'intention des femmes commerçantes des ateliers de travail sur les méthodes de conservation, de transformation et d'utilisation efficace des bananes et des bananes plantain.
3. Le fait que la majeure partie des personnes interrogées achète les bananes et bananes plantain dont elles ont besoin sur les marchés et à des colporteurs montre qu'il devrait exister des canaux de distribution et de commercialisation efficaces pour améliorer l'accès des consommateurs aux fruits au moment opportun. L'ADP de l'état d'Enugu doit donc s'engager dans un programme visant à améliorer le traitement après récolte, la distribution et la stratégie de commercialisation des bananes et bananes plantain, destiné aux producteurs ruraux et aux vendeurs.
4. En raison de leur rôle prépondérant dans la prise de décision concernant la consommation des bananes et bananes plantain, les femmes représentent des cibles privilégiées pour l'ADP dans ses activités visant à améliorer les modes de consommation et d'achat des bananes et bananes plantain dans les ménages au moyen d'activités éducatives appropriées ; cependant, l'importance du ménage en tant qu'unité de base des activités de vulgarisation ne doit pas être

oubliée. Tous les membres du ménage doivent donc être fortement impliqués dans tout programme de vulgarisation ayant pour but d'améliorer les modes de consommation et d'achat des bananes et des bananes plantain dans la zone d'étude. ■

Références

- Ajayi A.R. & K.P. Baiyeri. 1999. Household decision-making role in backyard banana and plantain production in the Nsukka agroecological zone in southeastern Nigeria. Pp. 719-727 in *Bananas and Food Security. Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire* (C. Picq, E. Fouré and E.A. Frison, eds). Proceedings of an International symposium held in Douala, Cameroon, 10-14 November 1998.
- Anyanwu C.U. 1985. An evaluation of the relationship between income level, expenditure and food consumption pattern in UNN. B. Agric. Research Project, Department of Agricultural Economics, University of Nigeria, Nsukka.
- Baiyeri K.P. 1996. Characterization, correlation, path-analysis and selection indices of *Musa* genotypes under different environments. A PhD Research Proposal, Department of Crop Science, University of Nigeria, Nsukka.
- Baiyeri K.P. & A.R. Ajayi. 2000. Status and constraints of *Musa* spp. production in a sub-humid zone of Nigeria. Pp. 73-77 in *Proceedings of the First International Conference on Banana and Plantain for Africa* (K. Craenen, R. Ortiz, E.B. Karamura and D.R. Vuylsteke, eds). Acta Horticulturae 540.
- Chukwu U.E. 1996. Effect of post-harvest injury on shelf-life and extrusion processing of *Musa* spp. fruits. A PhD Research Proposal, Department of Food Science, University of Ibadan, Ibadan, Oyo State, Nigeria.
- Dury S., N. Bricas, J. Tchango Tchango & A. Bikoï. 1999. La consommation et les critères de qualité du plantain à Douala et à Yaoundé. Pp. 507-523 in *Bananas and Food Security. Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire* (C. Picq, E. Fouré and E.A. Frison, eds). Proceedings of an International symposium held in Douala, Cameroon, 10-14 November 1998.
- Ofomata G.E. 1975. Nigeria in Maps. Eastern State Ethiope Publishing Company, Benin City, Nigeria.
- Olagoke M.A. 1975. Food consumption patterns in the Obafemi Awolowo University. BA Research Project, Faculty of Agriculture, Ile-Ife, Osun State, Nigeria.
- Williams S.K.T. 1978. Rural development in Nigeria. Obafemi Awolowo University Press, Ile-Ife, Osun State, Nigeria.

Les auteurs travaillent au *Department of Agricultural Extension, Faculty of Agriculture, Université du Nigeria, Nsukka*. Tél. : +234 042 770815 ou 771019, Fax : +234 02 770664 ; E-mail : MISUNN@aol.com

Caractérisation moléculaire de bananiers (*Musa* spp.) nains au moyen des AFLP

Katholieke Universiteit Leuven, Faculté de sciences agricoles et biologiques appliquées, Laboratoire d'amélioration des plantes tropicales, Leuven, Belgique

Dissertationes de Agricultura No. 515, 2002

Iris Engelborghs



Les bananiers sont l'espèce fruitière la plus importante au monde et montrent une grande diversité de forme et de taille, dont l'une est un type nain. Contrairement au type normal, les variants nains ont un pseudostem plus court et des feuilles plus larges. Comme ces plantes ont le même nombre de feuilles que le variant normal, leur capacité photosynthétique n'est pas réduite et la taille des régimes est donc quasiment identique. De plus, leur hauteur réduite les empêche de tomber pendant les tempêtes tropicales. Ces caractéristiques font du variant nain une plante intéressante pour le cultivateur de bananiers sous les tropiques. Différentes variétés naines spontanées existent, qui ont un variant normal, mais ce phénotype est également souvent obtenu par culture *in vitro*, par exemple dans une collection *in vitro* ou pendant la multiplication rapide *in vitro*.

Vos *et al.* (1995) ont décrit la technique de polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP) comme une « technique nouvelle et très puissante de patron génétique de l'ADN, pour des ADN de toute origine ou complexité ». Cette technique de cartographie est basée sur l'amplification sélective par PCR de fragments de restriction à partir d'un produit de digestion totale d'ADN génomique et comprend trois étapes : 1) la restriction de l'ADN et la ligation d'oligonucléotides adaptateurs, 2) l'amplification sélective de séries de fragments de restriction, et 3) l'analyse du gel des fragments amplifiés. Avec cette méthode, des séries de fragments de restriction sont visualisées par

PCR sans que l'on en connaisse la séquence de nucléotides. La puissance de cette technique d'empreintes a été évaluée sur quelques espèces d'importance mondiale, mais pas sur les *Musa*. Elle a donc été optimisée pour la première fois chez le bananier. De plus, la technique a été adaptée à la détection non-radioactive des patterns AFLP en utilisant une méthode de détection plus récente. Des amorces marquées à la fluorescéine ont été utilisées dans les réactions PCR, permettant ainsi la séparation et la détection par ordinateur sur un gel de séquençage.

L'évaluation de la puissance de la technique AFLP et de ses variantes AFLP-TE (trois-endonucléase), AFLP-ADNc et la technique de polymorphisme amplifié sensible à la méthylation (MSAP) pour la caractérisation et la détection précoces des types nain a été effectuée dans cette étude sur un ensemble de paires de bananiers nain-normal. Le nain 'Curare enano' et son hors-type de taille normale généré *in vitro* ont été utilisés les premiers pour l'optimisation de la technique AFLP. L'analyse a ensuite été étendue à trois variétés naines spontanées, respectivement 'Cachaco enano', 'Figue rose naine' et 'Prata'. La variété extra naine 'Dwarf parfitt', la variété Cavendish normale et la variété 'Giant Cavendish' ont également été analysées.

Des patterns différentiels AFLP, TE-AFLP, AFLP-ADNc, AFLP-ADNc-TE et MSAP ont été obtenus et différents niveaux de polymorphisme ont été observés entre le type normal et le type nain, selon la technique, la combinaison d'amorces et la variété. Pour chaque variété, une distinction a pu être faite entre le type nain et le type normal. Cependant, aucun fragment spécifique du nain, commun à toutes les variétés naines n'a pu être trouvé, ce qui est une indication que 1) soit les polymorphismes observés ne sont pas reliés au phénotype, 2) soit les variétés différentes ont une origine différente, 3) ou bien plusieurs gènes sont impliqués dans le processus. Des fragments différentiels ont été clonés et séquencés. Des amorces ont été construites avec les séquences obtenues et utilisées avec de l'ADN génomique des variétés respectives pour confirmer la nature différentielle et unique des fragments. Cependant, la spécificité a été perdue.

A côté des analyses au niveau de l'ADN décrites ci-dessus, certains essais physiologiques ont été réalisés sur les paires nain-normal. La relation entre le nanisme et l'acide gibbérellique (AG) est décrite pour les mutants nains de plusieurs espèces, par exemple le riz et le blé, *i.e.* un groupe (in)sensible à l'AG et un groupe AG-déficent. L'influence de l'AG a été testée dans cette étude sur la croissance *in vitro* de paires de bananier nain-normal. L'(in)sensibilité est apparue comme étant variété-dépendante, ce qui suggère que les différentes variétés naines sont apparues de manière différente et que d'autres mécanismes pourraient être impliqués que la seule voie de l'AG. Quand elles sont cultivées sur ancymidol (un inhibiteur de la synthèse d'AG), la croissance *in vitro* de toutes les variétés naines testées a été inhibée, ce qui indique que ces plantes ne sont pas AG-déficientes, et que la transduction du signal après la synthèse doit être bloquée.

De ces résultats, on peut conclure que la technique AFLP permet une cartographie rapide et précoce de ces types particuliers de bananiers nains, que le mécanisme déterminant le nanisme est complexe et qu'il semble impliquer l'acide gibbérellique, la (dé)méthylation... et que les variétés naines analysées ici ont probablement été formées par des mécanismes différents. ■

Référence

Vos P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper & M. Zabeau. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. Nucl. Acids Res. 23:4407-4414.

Etude de l'interaction entre champignons mycorrhiziens arbusculaires et nématodes parasites des plantes chez *Musa* spp.

Katholieke Universiteit Leuven, Faculté de sciences agricoles et biologiques appliquées, Laboratoire d'amélioration des plantes tropicales, Leuven, Belgique
Dissertationes de Agricultura No. 517, 2002

Annemie Elsen

Les maladies et ravageurs sont les contraintes majeures pour la productivité des bananiers et bananiers plantain. Les nématodes causent d'importantes pertes de rendement en Amérique latine, en Afrique de l'Ouest et de l'Est et en Asie. Généralement, les nématodes du bananier sont contrôlés par des nématicides. Ces produits sont non seulement très coûteux mais également extrêmement toxiques pour les organismes non-cibles, y compris les utilisateurs, et ils polluent l'environnement. Les champignons arbusculaires mycorrhiziens (CAM) sont des symbiotes obligatoires qui colonisent de manière biotrophique le cortex racinaire et développent un mycélium extramatriciel qui aide la plante à capter l'eau et les nutriments minéraux du sol, en échange du carbone comme source d'énergie. De plus, les CAM augmentent la capacité des plantes à contrôler la dissémination des pathogènes du sol. Chez *Musa*, l'association se produit naturellement quand les plantes sont transplantées au champ. L'association des CAM avec les nématodes parasites et l'effet bénéfique de la symbiose mycorrhizienne sur la croissance de la plante et la résistance/tolérance aux nématodes a conduit à des recherches sur le potentiel des CAM à limiter les pertes de rendement dues aux nématodes.

Dans la première partie de notre étude, la dépendance mycorrhizienne relative (DMR) et l'interaction CAM-nématodes ont été étudiées sur quatre génotypes de *Musa*, 'Grande naine', 'Gros Michel', 'Pisang jari buaya' et 'Yangambi km5', sélectionnés pour leur réponse connue aux nématodes. La mycorrhization avec *Glomus mosseae* (CAM) a résulté en une croissance des plants significativement meilleure, même en présence de *Radolphus similis* et *Pratylenchus coffeae*. Aucune différence de DMR n'a été observée entre les quatre génotypes. *Glomus mosseae* a pu protéger 'Grande naine' et 'Pisang jari buaya' contre *R. similis* et *P. coffeae* puisque la reproduction des nématodes a été supprimée. Aucune suppression n'a été observée uniquement dans le cas de *R. similis* (population indoné-

sienne à faible pathogénicité) sur 'Pisang jari buaya'. Cependant, lorsque la reproduction est déjà très faible (due à la faible valeur reproductive adaptative de la population de nématodes et/ou la réponse de résistance de la plante hôte du génotype testé), la présence de CAM n'a pas d'effet sur la reproduction des nématodes. Les CAM réduisent la nécrose racinaire causée par *P. coffeae*. Pour *R. similis*, aucune reproduction n'a été observée. Les nématodes réduisent la fréquence de mycorrhization sans réduire l'intensité de l'association mycorrhizienne.

Dans la seconde partie, la DMR et l'interaction CAM-nématodes ont été étudiées sur des génotypes de *Musa* différant par leur morphologie racinaire. L'influence des CAM sur le système racinaire et l'influence de l'altération du système racinaire sur la reproduction des nématodes ont été examinées. La mycorrhization avec *G. mosseae* entraîne une meilleure croissance des plants, même en présence de *P. coffeae*. L'effet des CAM sur le système racinaire est reliée à la DMR du génotype. Les génotypes de *Musa* avec une DMR faible ne subissent pas de changement dans la ramification de leur système racinaire en réponse à la mycorrhization. Par contre, chez les génotypes avec une DMR élevée, le système racinaire sera plus ramifié. Nous avons montré que *P. coffeae* affecte également le système racinaire en réduisant la ramification. L'effet des CAM sur la reproduction des nématodes n'est pas très clair. La densité de population des nématodes tend à diminuer, mais sans effet significatif dans l'essai avec 'Obino l'ewai'

Dans le système racinaire, il apparaît que la diminution de la ramification causée par les nématodes est contrebalancée par l'augmentation de la ramification causée par les CAM. L'application de CAM pourrait être utilisée comme une stratégie pour diminuer la susceptibilité aux nématodes.

Dans la troisième partie de notre étude, les interactions CAM-nématodes ont été étudiées en conditions *in vitro*. Tout d'abord, des cultures aseptiques de nématodes ont été établies en utilisant des cals de luzerne comme tissu hôte. Jusqu'à présent, l'absence de systèmes de culture parfaite-

ment stériles limitait les études *in vitro* sur les interactions hôte-nématodes et les études des interactions CAM-nématodes. Deuxièmement, trois systèmes modèles ont été développés : des racines de *Daucus carota* transformées avec un T-ADN Ri, des plants de *Musa in vitro* et des plants d'*Arabidopsis thaliana in vitro*.

Enfin, les racines de *D. carota* transformées ont été utilisées pour étudier l'interaction CAM-nématodes en conditions stériles. Les résultats rapportés dans cette étude ont confirmé l'effet suppresseur des CAM sur la reproduction des nématodes. *Glomus intraradices* a pu supprimer les populations de *R. similis*, *P. coffeae* et dans une moindre mesure de *M. javanica* dans les racines. Le développement interne et externe des CAM n'a pas été affecté par la présence de ces nématodes parasites des plantes.

Bien que ce système *in vitro* ait plusieurs limitations, il y a encore des raisons légitimes d'utiliser ce système pour étudier les interactions CAM-nématodes. Les CAM développent des appressoria, des arbuscules et des vésicules dans le cortex racinaire, produisent un mycélium extraradical abondant et des spores et bouclent leur cycle vital *in vitro*. La colonisation précoce se produit d'une façon semblable à celle des conditions *in vivo*. Les nématodes *R. similis* et *P. coffeae* peuvent infecter les racines et se reproduire dans celles-ci et causer des dégâts semblables dans les racines *in vitro* et *in vivo*. De plus, les effets de l'interaction reflètent ceux observés *in vivo*. Bien que le système dixénique utilisé soit artificiel, il pourrait représenter un outil de valeur pour étudier les interactions CAM-nématodes, complémentaire des approches expérimentales classiques. ■

Monde

Evaluation avec la participation des agriculteurs et dissémination de matériel génétique amélioré de *Musa*

L'INIBAP est l'agence exécutrice d'un important projet de quatre ans du Fonds commun pour les produits de base (CFC) qui a commencé en novembre 2001. L'objectif de ce projet est de contribuer à améliorer la sécurité alimentaire et les revenus des petits agriculteurs dans des systèmes agricoles basés sur le bananier, à travers la distribution et l'évaluation d'hybrides améliorés de *Musa* adaptés à la consommation et au commerce local. Le projet implique sept pays, à savoir la République démocratique du Congo, l'Équateur, la Guinée, Haïti, le Honduras, le Nicaragua et l'Ouganda.

Le projet sera réalisé en deux phases. La première phase inclut la multiplication de matériel de plantation d'au moins 10 variétés améliorées de *Musa* dans chaque pays et la distribution de ces plants aux fermiers pour évaluation à la ferme. Au moins 150 fermiers par pays participent aux essais. La seconde phase consistera en un appui financier sous la forme de prêts aux petits paysans pour leur permettre d'acheter du matériel de plantation et les intrants essentiels pour une production à plus grande échelle d'hybrides améliorés. Le projet comprendra aussi des études de marché sur les hybrides améliorés et la formation des agriculteurs aux techniques de production améliorées, en se concentrant sur la gestion intégrée des ravageurs et maladies. Le principal résultat du projet sera la production accrue d'hybrides de *Musa* améliorés par les petits paysans. Ces variétés auront des rendements supérieurs et ne requerront pas de produits chimiques pour le contrôle des ravageurs et maladies. De plus, les paysans et les entrepreneurs seront aidés pour mettre en place des activités commerciales liées aux bananes (production de matériel de plantation pour la vente, etc.), contribuant ainsi à la génération de revenus supplémentaires pour les communautés rurales. Les principaux bénéficiaires seront les petits cultivateurs de bananiers.

Pour des informations supplémentaires sur le projet, contacter Suzanne Sharrock, coordinateur du projet, au siège de l'INIBAP.

Afrique

Le troisième Symposium international sur la flétrissure bactérienne du bananier s'est déroulé en Afrique du Sud du 4 au 8 février 2002. Cent dix scientifiques du monde entier ont participé au troisième Symposium sur la flé-

trissure bactérienne et présenté plus de 100 communications, soit oralement soit sous forme de poster. Les aspects discutés incluaient : l'épidémiologie, la gestion des maladies, la sélection et la mise en place d'essais de résistance aux maladies, le développement des maladies et la réponse des plantes-hôtes, la génétique, la diversité et le diagnostic des pathogènes.

La flétrissure bactérienne, causée par *Ralstonia solanacearum*, est citée comme étant l'une des contraintes majeures pour de nombreuses plantes cultivées telles que la pomme de terre, la tomate, l'arachide, la banane, le tabac et le gingembre. Dans de nombreux cas, la maladie cause des pertes de rendements très significatives.

Il existe encore un grand fossé dans les progrès de la recherche entre pays développés et en développement. Dans les pays développés, les scientifiques sont généralement plus intéressés par les aspects moléculaires du pathogène, tels que la génétique des pathogènes, leur diversité et leur diagnostic. Excepté pour les diagnostics, les autres aspects étudiés ne sont pas directement liés au contrôle de la maladie. Les recherches réalisées sur le contrôle de la maladie par les scientifiques des pays en développement, dans lesquels la maladie est plus sérieuse et répandue, doivent donc être renforcées. Certains travaux sur l'amélioration et les tests de résistance à la maladie ont été menés et de bons résultats ont été obtenus pour l'arachide et la pomme de terre. Cependant, jusqu'à présent, très peu de choses ont été réalisées pour de nombreuses autres plantes telles que le bananier et le gingembre.

Génétique du pathogène

Des progrès significatifs ont été réalisés dans l'étude du génome de *R. solanacearum*. Le pathogène a un chromosome de 3 716 413 paires de bases (pb) et un mégaplasmide de 2 094 509 pb, qui codent ensemble pour l'expression de plus de 5000 protéines. Le chromosome abrite tous les gènes essentiels, alors que le mégaplasmide est impliqué dans la biosynthèse de divers acides aminés, cofacteurs et dans l'adaptation aux environnements. Il y a environ 200 gènes candidats pour la pathogénicité, distribués à la fois sur le chromosome et le mégaplasmide. Ces informations sont essentielles pour comprendre la biodiversité chez *R. solanacearum* en relation avec la spécificité de l'hôte. Traditionnellement, les souches de *R. solanacearum* sont groupées en cinq races, basées sur la gamme d'hôtes et cinq biovars, basés sur l'oxydation de certaines sources de carbone.

Un nouveau schéma de classification, basé sur les analyses moléculaires de *R. solanacearum*, a été proposé. Les souches de *R. solanacearum* sont classifiées en quatre phylotypes : le phylotype I «Asie» (incluant les biovars 3 et 4, les races

1, 4 et 5), le phylotype II «Amérique» (biovars 1 et 2, races 1, 2 et 3), le phylotype III «Afrique» (biovars 1 et 2) et le phylotype IV «Indonésie» (biovars 1, 2, *Pseudomonas syzygii* et bactérie de la maladie du sang – BDB). Ceci montre que les souches d'Indonésie, incluant *P. syzygii*, qui cause la maladie de Sumatra du giroflier, et la BDB sur le bananier, sont séparées des autres souches.

Détection

Divers kits de diagnostic ont été développés, spécifiquement pour des utilisations en quarantaine et pour suivre l'évolution du pathogène dans des matériels végétaux infectés de manière symptomatique et latente, dans l'eau de surface, des eaux de lavage des légumes et des effluents de transformation. Les méthodes utilisées sont l'isolation sélective et l'enrichissement, les bioessais, l'immunofluorescence, la sérologie et la réaction en chaîne par polymérase (PCR). Pour l'utilisation dans les pays en développement, les méthodes sérologiques telles que l'ELISA sont plus appropriées car elles sont moins coûteuses.

Le quatrième Symposium aura lieu en 2007, probablement en Grande Bretagne.

La Société américaine de pathologie végétale publiera les communications présentées pendant le Symposium.

Des informations supplémentaires sur le symposium peuvent être obtenues auprès du Dr Supriadi, Research Institute for Spice and Medicinal Crops, Jalan Tentara Pelajar No. 3, Bogor 16111, Indonésie – Fax : (0251) 327010.

Asie et Pacifique

Musa acuminata au Nord de Bornéo

Un rapport préliminaire sur le statut de *Musa acuminata* au Nord de Bornéo a été préparé récemment par Markku Häkkinen et Edmond De Langhe. Ce rapport est basé sur une étude de *Musa* au Sabah, à Sarawak et à Brunei, réalisée par le premier auteur en août 2001. Bien que le thème principal de l'étude ait été la section des Callimusa, un nombre élevé de photos de *Musa acuminata* a également été pris. Grâce à l'expertise d'Edmond De Langhe, un essai d'identification taxonomique des plantes a été réalisé.

Les photos montrent que toutes les plantes présentent les caractéristiques de base de *M. acuminata*, avec le bourgeon mâle typique en toupie, l'inflorescence et le régime horizontaux à obliques, et des doigts plutôt minces. Les fleurs apparaissent blanches à blanc-crème, mais les détails n'étaient pas visibles sur les photos.

Les spécimens en question entraient dans les quatre catégories ci-dessous :

- *Musa acuminata* ssp. *microcarpa* ou *truncata*
- *M. acuminata* de statut incertain
- Diplôides AA comestibles
- Accessions non classifiées.

Un groupe *microcarpa-truncata* ?

Le résultat le plus important de la visite d'Häkkinen au Nord de Bornéo, une région précédemment peu explorée pour les bananiers sauvages, est la domination d'une population sauvage de *M. acuminata* avec une combinaison de caractéristiques typiques des sous-espèces *microcarpa* et *truncata*. L'observation de types de bourgeons mâles jaune-vert représente une première pour ce caractère chez ces sous-espèces. Il est possible que les deux sous-espèces supposées forment en fait une large population commune, et des études complémentaires sur ce matériel dans une collection en champ sont nécessaires pour confirmer le statut des accessions dans ce groupe.

Des *M. acuminata* de statut incertain

Un certain nombre d'accessions étaient caractérisées par un bourgeon mâle modérément à fortement imbriqué et une tendance de la bractée à être rose/rouge/pourpre. Les bourgeons mâles avec des bractées visiblement imbriquées sont caractéristiques des sous-espèces *siamea* et *burmannica*, mais ne sont pas attendus chez des *acuminata* à Bornéo ou les îles indonésiennes, à l'exception de Java. Des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer si ces diploïdes comestibles sont effectivement des plantes sauvages.

Des diploïdes AA comestibles

Un certain nombre de plantes sont enregistrées comme diploïdes AA comestibles. Parmi elles, il y a des plantes qu'on a trouvées peuplant de grandes zones au bord des routes, comme le font les véritables populations sauvages. Puisqu'il n'y avait pas de villages à proximité, elles pourraient correspondre à des reliques d'une population humaine ancienne.

Conclusions

Les résultats présentés dans ce rapport sont de nature préliminaire et provisoire, étant basés uniquement sur l'étude de photos. Cependant, ils constituent une base pour des études plus poussées, que les auteurs espèrent avoir stimulées par la publication de ce document.

Des copies du rapport, incluant des photos en couleur de toutes les accessions, sont disponibles au format PDF sur le site Web de l'INIBAP : (<http://www.inibap.org/publications/borneo.pdf>) ou en format imprimé au siège de l'INIBAP à Montpellier.

Etude de l'association entre les nématodes et les bananiers au Vietnam

Inge Van den Bergh, chercheur associé VVOB/INIBAP, a été basée au Département d'Agro-biotechnologie de l'Institut des sciences agricoles du Vietnam (VASI) à Hanoi, Vietnam d'octobre 1997 à décembre

2001 pour réaliser une étude sur l'association entre les nématodes et les bananiers au Vietnam.

Le projet était financé par l'ACIAR (Centre australien pour la recherche agricole internationale), l'INIBAP et la VVOB (Association flamande pour la coopération pour le développement et l'assistance technique).

Le projet avait deux objectifs principaux :

Renforcement des capacités : améliorer les infrastructures locales pour la recherche en nématologie et former les scientifiques locaux dans ce domaine ;

Recherche scientifique : parfaire la compréhension des différents aspects de l'association entre les nématodes et les bananiers au Vietnam, afin d'améliorer la production bananière locale. Plus spécifiquement :

- Obtenir une image plus détaillée de la présence des différentes espèces de nématodes sur les bananiers dans différentes régions du Vietnam ;
- Augmenter les connaissances sur la dynamique des populations, les dommages et le potentiel de perte de rendement causés par les plus importantes espèces de nématodes sur les bananiers ;
- Passer en revue le matériel génétique de *Musa* vietnamien pour leur résistance aux espèces de nématodes les plus importantes.

Activités réalisées et résultats obtenus

L'infrastructure générale des laboratoires a été améliorée et différents équipements ont été achetés. Une connexion courriel/internet a été établie afin d'améliorer les communications entre les différents partenaires du projet ainsi qu'avec d'autres nématologistes dans le monde entier et pour avoir accès aux informations via Internet.

Au cours du projet, deux membres du Département d'agrobiotechnologie du VASI ont suivi le cours international de troisième cycle de nématologie en Belgique :

Duong Thi Minh a présenté sa thèse intitulée «Etudes *in vivo* et *in vitro* de *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* associés au bananier» en 1999 (Responsable : Prof. D. De Waele).

Nguyen Thi Tuyet a présenté sa thèse intitulée «Dépistage *in vivo* et *in vitro* de résistance à *Radopholus similis* chez les *Musa*» en 2000 (Responsable : Prof. D. De Waele).

Recherche scientifique réalisée par le chercheur associé VVOB/INIBAP

1. Evaluation de la présence et de la distribution des nématodes sur des espèces sauvages de *Musa* dans leurs habitats naturels au Nord Vietnam

Trois voyages d'étude ont été effectués dans les habitats naturels du Nord Vietnam et des échantillons de racines de trois espèces sauvages de bananier ont été récoltés. A l'exception de *R. similis*, les espèces de

nématodes des *Musa* les plus importantes, à savoir *Meloidogyne* spp., *P. coffeae* et *H. multicinctus*, ont été trouvées. Ceci indique qu'au Vietnam, les sols naturels sont infestés par ces espèces et que les trois espèces de bananiers sauvages sont sensibles à celles-ci.

2. Evaluation de la présence et distribution des nématodes chez les cultivars de *Musa* au Nord et Centre Vietnam

Cinq voyages d'étude ont été effectués dans six provinces du Vietnam du Nord et du Centre et des échantillons de racines de trois génotypes de bananiers couramment cultivés ont été prélevés. A nouveau, *Meloidogyne* spp., *P. coffeae* et *H. multicinctus* ont été trouvés, mais pas *R. similis*. Les paramètres de dommages ont montré une relation claire avec la présence de certaines espèces de nématodes dans les racines. Par exemple, les galles nodulaires des racines étaient positivement corrélées avec le nombre de *Meloidogyne* spp. dans les racines, alors que les nécroses racinaires étaient corrélées positivement avec le nombre de *P. coffeae* trouvés dans les racines.

3. Influence d'une population de *Pratylenchus coffeae* et de *Meloidogyne* spp. sur la croissance des plants et la production de bananes

Plus de 150 plants de bananiers ont été plantés au champ, dont un tiers a été inoculé avec *P. coffeae*, un tiers avec *Meloidogyne* spp. et un tiers a été gardé exempt de nématodes (plantes témoins). Les résultats préliminaires ont montré que l'infection avec *P. coffeae* et *Meloidogyne* spp. pouvait réduire la hauteur des plantes et le nombre de feuilles érigées, en comparaison avec les plantes témoins non infectées.

4. Dynamique d'une population de *Pratylenchus coffeae* collectée sur des *Musa* au Nord Vietnam

La reproduction de *P. coffeae* sur des disques de carotte en conditions *in vitro* a pu être décrite par l'équation de Gompertz : $\log(nem + 1) = 0.725 + 2.561 \exp[-\exp(1.742(5.044 - \text{temps}))]$.

A partir d'un essai en serre qui a été répété tous les mois sur une période d'un an, il a pu être observé que la température a un fort effet sur le taux de reproduction de *P. coffeae* chez le bananier. Pendant les mois d'hiver, la reproduction était très faible, alors que pendant les mois d'été, la population augmentait significativement. L'étendue des nécroses racinaires suivait plus ou moins le même modèle.

Un essai en serre a été mis en place pour évaluer l'influence de l'irrigation sur la reproduction de *P. coffeae*. Un déficit en eau a eu un effet négatif très important sur la croissance des plants, alors que les nématodes pouvaient encore bien se reproduire. Une fourniture d'eau très élevée a réduit légèrement la croissance générale des plants, mais les nématodes pouvaient à

peine se reproduire. Un volume d'eau intermédiaire a été le meilleur pour la croissance des plants, mais il était également favorable à la reproduction des nématodes.

La reproduction d'une population de *P. coffeae* sur des plants de bananier au champ a été suivie pendant plus d'un an. Les résultats préliminaires indiquent que la température et la pluviométrie ont un effet sur le taux de reproduction des nématodes.

5. Evaluation de matériel génétique vietnamien de *Musa* pour la résistance à une population de *Pratylenchus coffeae* en serre

Vingt-quatre génotypes de bananiers vietnamiens ont été évalués pour leur résistance à *P. coffeae* en serre. Les génotypes les plus prometteurs sont "Tieu xanh", "Tieu mien nam", "Com chua", "Com lua", "Man" et "Ngu thoc".

6. Etude de matériel génétique vietnamien de *Musa* pour la résistance à une population de *Meloidogyne* en serre

Vingt-deux génotypes de bananiers vietnamiens ont été étudiés pour leur résistance à *Meloidogyne* en serre. Aucune source de résistance n'a été trouvée.

7. Etude de matériel génétique vietnamien de *Musa* pour la résistance à *Meloidogyne* spp. en champ

Huit génotypes de bananiers vietnamiens, "FHIA-01", "FHIA-02" et "Yangambi Km 5" ont été évalués pour leur réponse comme plante-hôte de *Meloidogyne* spp. en conditions de champ. "FHIA-01", "Ngu thoc", "Tay" et "Com lua" se sont révélés moins susceptibles à *Meloidogyne* spp. "FHIA-01", "Ben tre" et "Bom" étaient moins sensibles à l'activité de formation de nœuds de *Meloidogyne* spp. Le nombre de juvéniles récupérés sur les racines était fortement influencé par les conditions climatiques. Pendant la saison froide et sèche, leur nombre chutait significativement. Le nombre de femelles pondant des œufs dans les racines (FPO) était beaucoup moins influencé par les conditions de l'environnement : il y avait une stagnation pendant la saison froide et sèche mais pas de déclin. *Meloidogyne* spp. semble passer l'hiver sous forme d'œufs groupés en masses. La formation de galles nodulaires et les FPO peuvent être utilisées facilement comme paramètres pour estimer l'infection des *Musa* avec *Meloidogyne* spp. Aucun effet des nématodes n'a été trouvé sur la croissance des plantes. Le nombre de nématodes dans les plantes semble être relié au stade physiologique des plantes. Les nombres de nématodes les plus élevés ont été trouvés pendant la floraison.

Recherche scientifique réalisée par Duong Thi Minh Nguyet et Nguyen Thi Tuyet

Duong Thi Nguyet a initié un programme de recherche sur la présence de *Radopholus similis* au Vietnam et ses aspects morphologiques et biologiques. Deux études ont été

réalisées à Tay Nguyen (hautes terres occidentales) pour évaluer la présence de *R. similis* sur le caféier, le durian, le bananier, etc. Une population de *R. similis* a été collectée sur des racines de durian ; elle est maintenue sur des disques de carotte en conditions *in vitro*. Puisque *R. similis* est toujours un pathogène de quarantaine au Vietnam, Duong Thi Minh Nguyet est allée en Belgique pour une période de trois mois pour étudier la population collectée. Elle a déterminé que la température optimale pour la reproduction de *R. similis* originaire du Vietnam sur des disques de carotte est 25 °C. Elle a également comparé la reproduction de cette population vietnamienne avec des populations d'Ouganda et d'Indonésie.

Nguyen Thi Tuyet étudie la biodiversité de *Pratylenchus coffeae* au Vietnam. Elle collecte des populations de *P. coffeae* sur diverses plantes cultivées et à différents endroits au Vietnam pour étudier la diversité morphologique, biologique et génétique entre les différentes populations.

Gestion intégrée de la maladie de Panama (fusariose)

du bananier au Kerala

La fusariose du bananier causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* est l'une des menaces sérieuses sur la culture du bananier au Kerala. Les sols acides de cet état et la sensibilité des variétés commerciales majeures permettent une dispersion aisée de la maladie à travers la région, causant des pertes de rendement de 10 à 15 %.

Les symptômes de la maladie apparaissent avec le jaunissement des feuilles les plus anciennes, qui s'étend rapidement des marges à la nervure centrale. Ces feuilles pendent, blanchies, autour du pseudotrunc et l'infection s'étend à toutes les feuilles excepté celles du sommet, qui pendent. La feuille du cœur blanchit également au bout de 3-4 semaines. La plante montre des fentes longitudinales avec un gonflement et une elongation du pseudotrunc. Quand le rhizome est tranché, la décoloration des faisceaux vasculaires peut être observée et la tige coupée sent le poisson pourri.

Une étude réalisée par Estelitta *et al.* a révélé que la maladie est observée couramment dans tous les districts du Kerala, causant des dégâts sérieux aux cultures. Il a également été remarqué que "Nendran", la variété commerciale la plus importante de l'Etat, était sensible à la maladie de Panama alors que le groupe Cavendish, "Palayankodan", "Karpooravally" et des variétés à cuire telles que "Monthan", "Kanchikela", etc. ne sont apparemment pas affectées par la maladie.

Plusieurs études ont été conduites à la Station de recherches sur le bananier de Kannara (Université agricole du Kerala) sur les pratiques de gestion intégrée pour lutter contre la maladie de Panama. Le pathogène a été trouvé dans le sol et son entrée dans la



Eclatement longitudinal d'un pseudotrunc du à la maladie de Panama.

plante hôte s'effectuait par les racines. Puisque les conidies peuvent survivre dans le sol jusqu'à au moins sept ans, un ensemble de pratiques agronomiques sont recommandées, en se basant sur les résultats des études.

La préparation du champ devrait être réalisée de façon systématique. Dans les zones affectées par la maladie, il est recommandé de laisser les trous se dégrader pendant une semaine ou plus et de brûler le sol avec des feuilles sèches. La sanitation du champ, particulièrement l'arrachage des mauvaises herbes est nécessaire, car elles deviennent des hôtes alternatifs importants.

Dans les zones propices à la maladie, il est suggéré de cultiver des variétés tolérantes. Dans les autres cas, les rejets doivent être sélectionnés dans des zones exemptes de maladie. Le trempage des rejets après épluchage dans une solution de carbendazim à 0,2 % est apparu comme une mesure prophylactique efficace.

Il a également été trouvé que l'application de chaux à raison d'1 kg par plant comme amendement du sol avant la mousson et un bon drainage aidaient à contrôler la maladie.

De plus, les études ont montré que l'utilisation d'engrais organiques pour la culture du bananier pouvait permettre aux plantes de mieux résister à la maladie, probablement grâce à l'amélioration de la structure du sol par une meilleure aération.

Dans le cas d'apparition de la maladie, l'arrachage et la destruction des plants malades sont recommandés pour contrôler sa dissémination plus large. L'application de chaux à raison de 0,5 – 1 kg dans les trous

des plantes malades et dans les cuvettes entourant les plantes a également donné des résultats encourageants pour contrôler une dissémination plus large de la maladie.

Des essais réalisés avec différents produits chimiques pour lutter contre la maladie de Panama ont montré qu'injecter dans les cormes une solution à 2 % de carbendazim à raison de 3 ml/corme pendant les 5^e, 7^e et 9^e mois après la plantation pouvait aider à contrôler la maladie. Arroser le sol avec 0,2 % de carbendazim s'est également avéré efficace.

Comme, au Kerala, les variétés commerciales sont souvent cultivées à grande échelle dans des zones humides, des études ont indiqué que la rotation des cultures, la jachère intermittente, l'inondation suivie d'une jachère sont aussi des moyens efficaces pour réduire la dissémination de la maladie.

Des informations supplémentaires peuvent être obtenues auprès de S. Estelitta, Professeur associé, Kerala Agricultural University, Mannuthy, Thrissur, Kerala, Inde.

Compatibilité croisée de certains clones de bananiers

Avant de démarrer un programme d'hybridation pour l'amélioration du bananier, la compatibilité croisée des parents choisis doit être évaluée. Un tel travail est en cours aujourd'hui en Inde, à l'Université agricole du Tamil Nadu (TNAU). Dix-sept variétés, comprenant des triploïdes commerciaux, des diploïdes et des hybrides synthétiques produits par la TNAU ont été inclus dans l'étude (voir le tableau 1). Des anthères ont été récoltées sur les parents mâles juste avant la déhiscence et les grains de pollen extraits et étalés sur les stigmates des fleurs femelles des parents femelles le jour

Tableau 1. Détails sur les parents utilisés.

Parents femelles	Parents mâles
Triploïdes	Triploïdes
Karpooravalli (ABB)	Robusta (AAA)
Red banana (AAA)	Red Banana (AAA)
Rasthali (AAB)	
Nendran (AAB)	
Diploïdes	Diploïdes
Nivediyakadalli (AA)	Nivediyakadalli (AA)
Matti (AA)	Pisang lilin (AA)
Sannachengadalli (AA)	Sannachengadalli (AA)
Anaikomban (AA)	Anaikomban (AA)
Ambalakatalli (AA)	Ambalakatalli (AA)
Ney poovan (AB)	Erachivazhi (AA)
Hybrides synthétiques	Hybrides synthétiques
H-59 (AA)	H-59 (AA)
H-97 (AA)	H-97 (AA)
H-66 (AAA)	H-66 (AAA)
H-201 (AB)	H-201 (AB)

Tableau 2. Production moyenne de graines dans les croisements ayant réussi.

Nom du croisement	No. de fleurs pollinisées	No. de graines obtenues	Graines/fruit
3x X 3x			
Karpooravalli x Robusta	150	187	1,250
3x X 2x			
Karpooravalli x Pisang lilin	185	5	0,027
Karpooravalli x H-110	120	8	0,067
2x X 2x			
Matti x Pisang lilin	30	30	1,000
H-201 x Anaikomban	102	152	1,490
H-201 x Pisang lilin	79	427	5,405
H-201 x H-110	53	90	1,700
H-201 x Anaikomban	11	24	2,182
H-201 x Pisang lilin	12	4	0,333
H-201 x Robusta	11	1	0,091

de leur ouverture, tôt le matin, entre 6 et 9 heures, quand la réceptivité du stigmate est bonne et assurée par une viscosité au toucher. Après la pollinisation, les fleurs ont été couvertes avec des sacs en papier perforés. Une fois mûrs, les doigts ont été coupés longitudinalement et les graines, lorsqu'elles étaient présentes, ont été extraites avec soin.

Parmi les 74 combinaisons croisées testées, une compatibilité a été trouvée dans seulement huit combinaisons (tableau 2), indiquant ainsi l'existence d'une compatibilité entre clones. Les croisements réussis étaient entre diploïde x diploïde et triploïde x diploïde. Parmi les 10 parents mâles testés, "Pisang lilin" et "Anaikomban" étaient compatibles avec tous les parents femelles. "Nendran", qui avait été rapporté précédemment comme étant femelle stérile (Alexander 1970) a été confirmé femelle stérile dans cette étude. L'étude a indiqué qu'à l'exception de "Karpooravalli", les clones d'importance commerciale ont un pourcentage très bas de fertilité femelle, et que les diploïdes donnent les meilleurs clones femelles fertiles. Cependant, la formation des graines était bonne dans le croisement triploïde x triploïde Karpooravalli x Robusta, ce qui indique la possibilité d'une nouvelle voie dans l'amélioration du bananier, en amenant le génome "Cavendish" dans des nouveaux hybrides. H-201 (Pedigree : Barelichinia x Pisang lilin x Robusta) est un bon parent femelle et a été hybridé avec des parents tant diploïdes que triploïdes (Robusta). Sathiamoorthy et Balamohan (1993) ont rapporté que H-201 était un parent femelle potentiel, particulièrement pour la synthèse de triploïdes d'origine bispécifique. La formation de graines était maximale chez H-201 x Pisang lilin, suivi par H-201 x Anaikomban et Karpooravalli x Robusta. Dans d'autres combinaisons qui avaient réussi, la production de graines était très faible, bien que les croisements soient compatibles.

Références bibliographiques

- Alexander M.P. 1970. Mega and microsporophyte fertility of some banana varieties. Pp. 27-28 *in* Proceedings of the 3rd International Symposium on Tropical and Subtropical Horticulture. Today and Tomorrow Publishers, New Delhi.
- Sathiamoorthy S. & T.N. Balamohan. 1993. Improvement of banana. *in* Advances in Horticulture Vol. I - Fruit Crops Part I. (K.L. Chadha and O.P. Pareek, eds). Malhotra Publishing House, New Delhi, India.

Des informations supplémentaires sur ce travail peuvent être obtenues auprès de : V. Krishnamoorthy, Dept of Fruit Crops, Horticultural College and Research Institute, TNAU, Coimbatore-641003, Tamil Nadu, Inde.

Collecte de matériel génétique de bananier dans le nord-est de l'Inde

Les états du nord-est de l'Inde, à savoir Assam, Arunachal Pradesh, Meghalaya, Tripura, Mizoram et Manipur sont une riche source de biodiversité naturelle chez les *Musa*. Depuis 1988, l'INIBAP a financé une série de missions de collecte de *Musa* dans cette région. Elles ont été conduites par le Centre national de recherche sur le bananier (NRCB) à Trichy. Des spécimens des espèces sauvages *Ensete glaucum*, *Musa balbisiana*, *M. acuminata*, *M. ornata* et d'autres espèces de *Rhodochlamys* ont été collectées, de même qu'une gamme de variétés cultivées. Tout le matériel collecté a été établi dans la banque de gènes du NRCB pour son identification formelle et sa caractérisation.

Dans l'Arunchal Pradesh, il a été noté que là où des bananiers *Eumusa* et *Rhodochlamys* poussaient ensemble, les *Rhodochlamys* avaient une éco-compatibilité plus proche avec *M. acuminata* qu'avec *M. balbisiana*, bien que *M. acuminata* soit clairement dominant sur les espèces *Rhodochlamys*. Dans l'Assam, à Bhimkol, un clone de *balbisiana* produisant des graines est couramment planté dans les arrière-

Tableau 3. Détails des espèces sauvages de *Musa* collectées pendant l'exploration dans l'Inde du Nord-Est.

Genre	Section	Espèce	Site de collecte	Nombre d'accessions	Utilisation
Ensete		<i>E. glaucum</i>	Assam, Tripur, Mizoram	1	Fibre, légume, ornement
Musa	Eumusa	<i>M. balbisiana</i>	Assam, Tripur, Mizoram	1	Fruit, légume
		<i>M. acuminata</i>	Assam, Tripur, Mizoram	9	Fruit, légume
	Rhodochlamys	<i>M. ornata</i>	Assam, Mizoram	1	Ornement
		Non identifiée	Assam, Tripur, Mizoram	5	-

cours pour ses qualités médicinales. Bien qu'il produise des graines, celles-ci sont suffisamment molles pour que le fruit puisse être consommé avec ses graines. Dans toute la région, la pratique inhabituelle de vendre les bourgeons mâles a été remarquée. Les bourgeons mâles immatures de bananiers sauvages sont récoltés même avant la pousse et sont utilisés pour la préparation de plats particuliers.

Un résumé des espèces sauvages collectées pendant les missions est donné dans le Tableau 3.

Nouvelles de l'INIBAP

Recrutements

Hélène Laurence, stagiaire du Ministère des Relations internationales du Québec, a pris ses fonctions en tant qu'assistante de recherche à l'INIBAP en janvier 2002. Elle est affectée au bureau régional de l'INIBAP à Kampala, où elle commencera à étudier l'impact des variétés améliorées de bananes (*Musa*) sur les moyens de subsistance des ménages en Afrique de l'Est. Elle travaillera en étroite collaboration avec les chercheurs de l'INIBAP et les partenaires régionaux des Systèmes nationaux de recherche agricole. Hélène est spécialisée en Géographie (BSc) et en Agrométéorologie (MSc).

Olivier Guinard, également financé par le Ministère des Relations internationales du Québec, est arrivé au siège de l'INIBAP à Montpellier en avril 2002. Ce stagiaire québécois travaillera pendant six mois sur un projet visant à utiliser la base de données MGIS (Musa *Germplasm Information System*) pour effectuer une série d'études de traceurs sur les accessions importantes et visualiser les coordonnées géographiques pour les différentes accessions. Olivier est titulaire d'un diplôme en biologie (BSc) spécialisé en biologie et biotechnologie moléculaire de l'Université de Québec à Montréal, et vient d'obtenir sa maîtrise de biologie moléculaire (MSc). Il est bilingue français/anglais et possède également de bonnes notions d'espagnol.

Cours de formation sur le MGIS en Afrique

22-27 avril 2002, CARBAP, Nyombé, Cameroun

Un cours de formation à l'utilisation du Système d'information sur le matériel génétique de *Musa* (MGIS) pour la gestion des informations concernant les ressources génétiques des *Musa* s'est tenu récemment pour les responsables de collections de matériel génétique de *Musa* en Afrique. L'objectif de ce cours de formation était de procurer à ces responsables une expertise et des outils pour mieux gérer les informations relatives aux accessions de leurs collections. L'utilisation du MGIS leur permettra également d'échanger des informations sur les ressources génétiques avec d'autres chercheurs et responsables de collections dans le monde entier. Ce cours de formation s'est tenu grâce au financement du Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA).

Le cours de formation a réuni 23 participants d'Afrique occidentale, centrale, orientale et australe (voir liste ci-dessous). Le cours a été délivré en français et en anglais, avec une traduction assurée par les formateurs. Tous les documents et le matériel de formation étaient fournis dans les deux langues.

Le cours comprenait à la fois une formation au champ et sur ordinateur. Des exercices d'identification taxonomique et botanique de variétés ont été effectués au champ en utilisant la liste de descripteurs publiée par l'IPGRI, l'INIBAP et le CIRAD. L'importante collection de matériel génétique gérée par le CARBAP a offert une excellente ressource pour les exercices de terrain. Cette collection comprend plus de 400 accessions, qui représentent une très large gamme de variétés africaines, particulièrement de bananiers plantain, mais également certaines variétés de bananiers d'altitude d'Afrique de l'Est.

En ce qui concerne la formation sur ordinateur, les participants ont appris à installer le logiciel MGIS sur leurs ordinateurs, créer des comptes, entrer de nouveaux enregistrements et effectuer des recherches d'infor-

mations dans la base de données globale. Ils ont également été formés aux procédures d'échange de données avec la base de données globale.

Musaid.win, un logiciel développé par le CIRAD pour aider à l'identification de variétés inconnues, a également été présenté par M. Xavier Perrier de l'Unité de biométrie du CIRAD. Ce logiciel a été fourni à tous les participants du cours.

Les participants étaient unanimes sur le fait que la formation fournissait un outil utile pour la gestion d'informations sur les ressources génétiques et ont souligné l'importance de collecter et gérer ces informations en utilisant un format standard. L'atelier a également permis aux responsables de collections d'établir des contacts avec leurs collègues de la région dans son ensemble et d'identifier des personnes ressource à même de les aider dans leur travail futur.

A la suite du cours de formation sur le MGIS, un atelier sur les "noms et synonymes des bananiers plantain" a eu lieu avec les participants d'Afrique occidentale et centrale. Kodjo Tomekpe a conduit l'atelier en utilisant des données et des photos provenant du MGIS. Une version préliminaire d'une liste de noms de variétés a été établie, qui devra être confirmée par des études ultérieures sur les variétés au champ.

L'INIBAP remercie vivement le CTA et le CARBAP pour leur soutien efficace dans l'organisation de ce cours de formation.

Liste des participants

Membres d'organisations nationales

Sylvestre M. Rogers, Station de recherche sur le riz, Rokupr, Sierra Leone ;
 Guilavogui Zeze, Institut de recherche agricole de Guinée (IRAG), CRA Sérédou, Guinée ;
 Simplicie Koffi Kouassi, Centre national de recherche agronomique (CNRA), Côte d'Ivoire ;
 Lawrence Aboagye, Centre de ressources génétiques végétales, Niaouli, Ghana ;
 Flore Sindemion, Institut national de recherches agricoles du Bénin (INRAB) ;
 Antoine Mputu Kena Kudia, Institut national pour l'étude et la recherche agronomique (INERA), Ndouaniang, RDC ;
 Clotilde Nngigone Ella, Institut de recherches agronomiques et forestières (IRAF), Gabon ;
 Fernand Mouketo, Centre de recherche agronomique de Loudima (CRAL), Congo ;
 Selome Y. Dogbe, Institut togolais de la recherche agronomique (ITRA) ;
 Olagorite Adetula, Institut national de recherche horticole (NIHORT), Nigeria ;
 Robert Muhwezi, Organisation national de recherche agricole (NARO), Ouganda ;
 Mkulila Shaban, Institut de recherche et développement agricole (ARDI), Tanzanie ;

Margaret Onyango, Institut de recherche agricole du Kenya (KARI), Kenya ;
 Antoine Nsabimana, Institut des sciences agronomiques du Rwanda (ISAR) ;
 Ferdinand Ngezahayo, Institut de recherches agronomique et zootechique (IRAZ), Burundi ;
 Dickson L.N. Banda, Département de recherche agricole et de services techniques, Malawi ;
 Dejene Abera, Organisation de recherche agricole éthiopienne (EARO), Ethiopie ;
 Connie Fraser, Institut pour les plantes tropicales et sub-tropicales (ITSC), Afrique du Sud.

Membres d'organisations régionales/ internationales

William Nguéack, Centre africain de recherches sur bananiers et plantains (CARBAP), Cameroun ;
 Chyka Okarter et Perpetua Udu, Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Station de recherche d'Onne, Nigeria ;
 Emmanuel Njukwe, Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Mbalmayo, Cameroun ;
 Deborah Karamura, INIBAP, INIBAP-ESA, Ouganda.
 Personnes ressources
 Kodjo Tomekpe CARBAP, Cameroun ;
 Ekow Akyeampong, INIBAP – MUSACO, Cameroun ;
 Elizabeth Arnaud et Suzanne Sharrock, Siège de l'INIBAP, France ;
 Xavier Perrier, CIRAD, France.

Système d'information géographique (SIG) et diversité des *Musa*

L'INIBAP étudie actuellement la possibilité d'utiliser un nouveau Système d'information géographique (DIVA) afin d'analyser la répartition spatiale des ressources génétique de *Musa*. DIVA a été développé par le Centre international de la pomme de terre (CIP) avec l'appui de la FAO, du CGIAR's *System-wide genetic resources programme* (SGRP) et de l'IPGRI. Un cours de formation s'est tenu récemment au siège de l'INIBAP à Montpellier afin de former le personnel à l'utilisation de ce logiciel et d'évaluer sa pertinence pour le traitement des données disponibles dans le MGIS, et plus particulièrement les données relatives aux missions de collecte. L'INIBAP espère pouvoir utiliser le logiciel DIVA pour les activités suivantes :

- Prédiction de la localisation d'espèces ou de variétés particulières ;
- Prédiction de la localisation de matériel génétique possédant des caractères spécifiques ;
- Identification des zones de grande diversité aux niveaux génétique et des espèces ;
- Identification des lacunes de couverture géographique au cours des missions de collecte (comparaison avec les zones de production) ;

- Information sur les effets potentiels des changements de climat et d'autres facteurs pouvant entraîner une érosion génétique sur la distribution des espèces sauvages ;
- Comparaison entre la distribution des espèces et celle des maladies et ravageurs ;
- Prédiction et évaluation de l'impact (par exemple celui de nouvelles variétés).

Pour en savoir plus sur le logiciel DIVA, visitez le site web du CIP (<http://www.cipotato.org/diva/>). Le logiciel est gratuit et peut être téléchargé du site web avec son manuel d'utilisation.

Cinquième réunion du comité de pilotage régional de MUSACO

Du 11 au 22 février 2002, le comité de pilotage régional du réseau *Musa* pour l'Afrique occidentale et centrale, MUSACO, s'est réuni à Cotonou, Bénin, pour sa réunion annuelle. Ont participé des représentants du Bénin, Cameroun, République du Congo, Côte d'Ivoire, Gabon, République démocratique du Congo, Ghana, Guinée, Sierra Leone de même que ceux du CARBAP (anciennement CRBP), de l'IITA et de l'INIBAP. Le Togo a été admis en tant que 13^e membre du réseau à cette réunion.

Dans son discours officiel d'ouverture, le Dr David Arodokou, Directeur scientifique de l'Institut national des recherches agricoles du Bénin, agissant au nom de son Directeur général, a souligné que le bananier et le bananier plantain sont des cultures qui pourraient contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle, à la disparition de la pauvreté et à la création d'emplois au Bénin. Le bananier et le bananier plantain sont deux des plantes cultivées que le Bénin promeut aujourd'hui pour diversifier la base des plantes alimentaires. Il a rapporté que 33 % des foyers au Bénin consomment régulièrement des plantains et que la production de *Musa* au Bénin a augmenté,

passant de 22 000 tonnes en 1998 à 45 000 tonnes en 2001. Il espère que les recherches effectuées dans le réseau aideront à trouver des solutions aux contraintes auxquelles sont confrontés les paysans du Bénin, telles que le manque de matériel de plantation sain, les maladies et ravageurs et la transformation post-récolte des fruits.

Adoption du rapport de la réunion d'Accra

Le premier point à l'ordre du jour était l'adoption des minutes de la dernière réunion du comité de pilotage régional tenu à Accra en avril 2001. Avant que les membres ne les adoptent, ils ont voulu savoir si les recommandations de cette réunion avaient été mises en œuvre. Le Président et le secrétaire ont apporté les informations suivantes sur les diverses recommandations faites à Accra :

- Le cours de formation sur les cercosporioses a eu lieu en Malaisie en juin 2001. Kobenan Kouman du CNRA, Côte d'Ivoire et Ekow Akyeampong étaient les deux participants d'Afrique occidentale et centrale. Un second cours de formation sur la manipulation post-laboratoire des plantules issues de culture *in vitro* et sur la multiplication rapide du matériel de plantation de *Musa* a été organisé au CARBAP, à Nyombé du 2 au 7 décembre 2001 pour les pays francophones du réseau.
- Les neuf pays qui ont reçu des fonds de l'INIBAP ont collecté et envoyé les informations de base secondaires au secrétariat du réseau. Un rapport est actuellement préparé par un jeune cadre professionnel détaché auprès du bureau par la FAO.
- En ce qui concerne la participation aux groupes de travail de PROMUSA des scientifiques de la sous-région, seuls le Bénin, la Côte d'Ivoire, le Gabon et le Ghana ont envoyé les noms de chercheurs intéressés au secrétariat de PROMUSA



Participants de la 5^e réunion de MUSACO.

par l'intermédiaire du Dr Adiko, représentant de l'Afrique occidentale et centrale au comité de pilotage de PROMUSA.

- A la date de la réunion, aucune nouvelle n'avait été reçue de la CORAF concernant les huit initiatives écrites en collaboration avec le CARBAP qui avait été envoyées en réponse à son appel à projets.
- Sur la question des bourses de l'IITA, les membres ont été informés que M. Ben Banful, ancien représentant du Ghana au comité de pilotage de MUSACO a reçu une bourse de thèse de l'IITA.

Nouvelles des pays sur les *Musa*

Chaque représentant national a présenté un bref rapport sur les nouvelles activités qui se développent dans son pays.

Pour populariser la production de bananes et de bananes plantain en Sierra Leone, des pépinières et des parcelles de démonstration ont été mises en place dans quatre districts. Elles seront étendues à quatre districts supplémentaires. De plus, des variétés locales ont été collectées et plantées à des fins de caractérisation.

Comme en Sierra Leone, pour relancer la production de bananes et de bananes plantain dans les régions du littoral et de la forêt en Guinée (Conakry), des pépinières ont été établies pour produire du matériel de plantation sain qui sera distribué aux fermiers. Parmi les variétés qui seront données aux paysans, figurent des hybrides de l'IITA et du CARBAP.

Des études sont prévues en Côte d'Ivoire pour tenter d'expliquer l'observation selon laquelle *Pratylenchus* spp. semble remplacer *Radopholus similis* comme le principal nématode chez *Musa*. L'IITA est intéressé par les changements dans la composition des espèces et va examiner la possibilité de proposer une bourse de doctorat pour travailler sur ce sujet en collaboration avec la KULeuven. Il a été recommandé qu'une étude nématologique soit conduite dans tous les pays membres afin de déterminer si la diversité des nématodes et l'abondance relative des espèces restent les mêmes qu'auparavant.

L'autre nouvelle activité en Côte d'Ivoire est la technologie de plantation à haute densité que les scientifiques ivoiriens sont en train de tester en station. Les essais de plantation à haute densité menés en Côte d'Ivoire ainsi qu'au Cameroun sont la conséquence d'une visite faite par dix scientifiques, fermiers et agents de vulgarisation d'Afrique occidentale et centrale en République Dominicaine et au Costa Rica pour étudier les technologies de production de plantain en plantation à haute densité qui sont utilisées dans ces pays. La délégation a été impressionnée par les augmentations de rendement (jusqu'à 60 %) qui ont été obtenues en Amérique latine et dans les Caraïbes par la gestion du plantain "Faux

corne" comme une plante annuelle, à des densités de 2500 à 5000 plants à l'hectare.

Le nouveau représentant du Ghana au comité de pilotage, Anno-Nyako, a informé les participants que l'amélioration des *Musa* a commencé au Ghana. Un laboratoire de biologie végétale avec une unité de culture de tissus a été établi au Gabon.

Pour sa première participation à la réunion, le représentant togolais, le Dr S. Dogbe, a présenté une vue d'ensemble de la recherche sur les bananiers et les bananiers plantain dans son pays. Ceux-ci sont cultivés dans la zone de cacaoyer/caféier comme plantes d'ombrage pour ces cultures de rente. Le programme possède une collection en champ qui contient 32 accessions, dont un grand nombre est originaire du Ghana. Un problème majeur auquel est confrontée la production des plantes cultivées au Togo est le manque de matériel de plantation de bonne qualité.

Le point sur les projets régionaux

Les membres ont fait le point sur les deux projets régionaux, à savoir l'évaluation de matériel génétique de *Musa* et la production périurbaine de *Musa*.

Les essais d'évaluation de matériel génétique ont été mis en place dans presque tous les pays du réseau, mais seule la Côte d'Ivoire a effectué la première récolte. Il a été rapporté que "FHIA-23" est la variété la plus productive parmi les variétés évaluées en Côte d'Ivoire ("FHIA-18", "FHIA-01" et "SH-3460"), mais elle a également le plus long cycle de production. La pression d'inoculum de la cercosporiose noire était si forte qu'à la récolte, "Orishele", la variété de plantain susceptible, n'avait virtuellement plus de feuilles fonctionnelles. En conséquence,



"CRBP-39", l'un des hybrides sélectionnés pour le projet de production périurbaine de *Musa*. (photo : CRBP)

le poids des régimes d'"Orishele" était bas en comparaison avec l'hybride résistant "CRBP-39", qui conservait six feuilles jusqu'à la récolte. Des tests pour déterminer l'acceptation des fruits par les consommateurs sont en cours, mais les résultats ne sont pas encore disponibles.

Le projet de production périurbaine de *Musa* progresse de façon satisfaisante au Bénin avec les vitroplants fournis par le CARBAP. Parmi les hybrides établis au Bénin, on trouve "FHIA-25", "FHIA-18", "FHIA-23" et "CRBP-39". La survie des plants au champ a été très élevée, et il en est de même de l'enthousiasme de 40 fermiers participant à l'essai. La visite de certaines des fermes a généré énormément d'intérêt du fait que les plantes poussent très bien. Les chercheurs et les paysans ont échangé leurs vues sur les approches de recherche participatives. Ces discussions ont continué quand les scientifiques sont retournés le lendemain sur le lieu de la réunion. Une étude de la production périurbaine de *Musa* conduite au Bénin a révélé que 56 % des paysans producteurs de *Musa* cultivent des plantains sur des parcelles d'une taille moyenne de 0,8 hectares. Egalement au Bénin, la fourniture insuffisante de matériel de plantation est citée comme le goulot d'étranglement pour l'expansion de la production.

Le projet périurbain n'a pas vraiment démarré au Ghana car l'institution nationale qui était supposée fournir le matériel de plantation ne l'a pas fait. Du matériel importé d'Afrique du Sud a été sevré et sera fourni aux paysans au début de la saison des pluies.

Institutions internationales et régionales

Le CARBAP et l'IITA ont chacun envoyé une délégation de plusieurs scientifiques pour présenter les différents domaines de recherche sur *Musa* dans leurs centres. Le Dr Lutaladio, qui représentait la FAO, a parlé de la collaboration avec le réseau.

Le CARBAP a présenté les avancées faites par ses programmes concernant l'amélioration des bananiers plantains, l'agronomie et les systèmes intégrés, la pathologie végétale et les ravageurs avec l'approche de gestion intégrée des ravageurs (maladies des taches foliaires, nématodes et charançon), les technologies après récolte et les aspects socio-économiques. Les réalisations du centre incluent le développement et le transfert de techniques de multiplication *in vivo* pour produire un nombre élevé de matériel de plantation sain, et l'hybride "CRBP-39" de type plantain qui a été mis sur le marché et distribué au sein du réseau MUSACO ainsi qu'à plus de 40 pays dans le monde dans le cadre de la 3^e phase du Programme international d'évaluation des *Musa* coordonné par l'INIBAP. Des triploïdes secondaires avec une résistance aux maladies ont été créés

par différentes voies d'amélioration et des bananiers plantain hybrides de taille réduite et avec une production précoce sont en cours d'évaluation. Des en-cas, des aliments infantiles et des farines à base de banane et de plantain ont été créés.

Les présentations de l'IITA traitaient de la recherche participative, de la gestion intégrée des ravageurs, de l'amélioration de *Musa* et d'agronomie. Dans des évaluations participatives conduites avec des fermiers dans l'est du Nigeria, les paysans préféraient « PITA-14 », l'un des hybrides de type plantain de l'IITA par rapport à « Agbaba », la variété locale. « PITA-14 » permettait également des bénéfices plus élevés. Les participants ont été informés d'un projet pilote financé par l'USAID dans lequel des hybrides développés au CARBAP, à l'IITA et à la FHIA sont évalués chez des fermiers au Nigeria. On espère qu'après la phase pilote, le projet sera étendu à d'autres pays d'Afrique occidentale et centrale. L'IITA continue à développer des bananiers plantain hybrides avec une résistance supérieure ou une tolérance aux maladies, en utilisant une approche pratique physio-génétique et biotechnologique pour contrôler le virus de la mosaïque à tirets, et des caractéristiques agronomiques favorables telles que la précocité, la stature ramassée et un bon enracinement. La recherche en gestion intégrée des ravageurs a inclus le développement et l'essai de méthodes telles que l'utilisation d'eau chaude ou bouillante pour nettoyer les rejets contaminés par des ravageurs. Des études sont également en cours pour déterminer l'efficacité de plantes nématicides telles que *Flemingia* plantées en intercalaires dans les champs de plantains.

Les quatre projets de l'INIBAP, à savoir la gestion du matériel génétique, l'amélioration du matériel génétique, l'information et la communication et les réseaux régionaux ont été brièvement décrits et les activités de chaque projet en Afrique ont été mentionnées. Les objectifs et le *modus operandi* de PROMUSA, le programme global d'amélioration des *Musa*, coordonné depuis le siège de l'INIBAP ont également été présentés.

Le Dr Lutaladio, représentant de la FAO à la réunion, a retracé l'histoire de la collaboration entre son département et l'INIBAP. En 1999, l'AGPC/FAO et l'INIBAP ont discuté de collaborations sur la collecte et l'échange d'informations et le transfert de technologies. Un jeune cadre professionnel (YPO) a été recruté et mis en poste au secrétariat de l'INIBAP/MUSACO pour développer des outils pour la collecte et la compilation d'informations de base et pour incorporer les informations collectées dans HORTIVAR, une base de données sur les performances des cultivars de plantes horticoles en relation avec les conditions d'environnement et les pratiques culturales. Le YPO doit en plus intervenir dans le programme d'horticulture urbaine et péri-

urbaine dans le cadre de l'aspect sécurité alimentaire et doit aider au développement de projets. Le Dr Lutaladio a informé l'assemblée que le YPO a préparé des rapports préliminaires sur les différentes tâches qui lui ont été assignées au début de son engagement.

Dans le futur immédiat, la FAO va aider au moins deux pays membres de MUSACO à développer des projets pour l'amélioration de la production de bananes et de bananes plantain pour les petits planteurs au moyen de la mise en place de systèmes de multiplication efficaces et rentables pour la production de matériel de plantation sain. La FAO va collaborer avec MUSACO, le CARBAP et l'IITA pour collecter et caractériser du matériel génétique de *Musa* dans le bassin du Congo, pour améliorer les laboratoires de culture de tissus et les pépinières dans certains pays et pour former des chercheurs à la manipulation de vitroplants, l'indexation de virus et la production rapide de matériel de plantation. Enfin, la FAO va appuyer le développement d'un protocole de multiplication en masse et de distribution de matériel de plantation de qualité.

Fonctionnement du réseau

Les délégués ont discuté des moyens d'améliorer la façon dont fonctionne le réseau. Dans un premier temps, il a été décidé que des groupes de travail basés sur les priorités de recherche identifiées devraient être créés. Ces groupes se réuniront aussi souvent que nécessaire selon les ressources disponibles. Des groupes de travail doivent être formés immédiatement sur 1) la multiplication rapide de matériel de plantation sain, 2) les systèmes de production de bananiers plantain rentables et 3) la recherche participative avec les paysans. Il a été demandé au secrétaire du réseau d'identifier des responsables pour chacun des trois groupes de travail. Les activités proposées par les groupes de travail seront approuvées et leur mise en œuvre suivie par le comité de pilotage. Les mauvaises communications entre les membres et entre les membres et le secrétariat ont été attribués à un équipement insuffisant en matière de technologies de l'information dans beaucoup des stations de recherche dans lesquelles les programmes d'amélioration des *Musa* sont basés.

Recommandations

L'assemblée a fait les recommandations suivantes :

- Une étude doit être conduite dans tous les pays membres pour déterminer la diversité et la prévalence des nématodes de *Musa* en Afrique occidentale et centrale ;
- L'INIBAP, l'IITA et le CARBAP doivent aider MUSACO à organiser des cours de formation sur l'évaluation du matériel génétique et les méthodes de recherche participative ;

- Tous doivent attendre les résultats des essais de plantation à haute densité menés par le CNRA en Côte d'Ivoire et le CARBAP au Cameroun, avant de disséminer cette technologie auprès des paysans ;
- Des groupes de travail sur a) la multiplication rapide de matériel de plantation sain ; b) les systèmes de production rentable de plantains et c) la recherche participative avec les fermiers doivent être créés immédiatement au sein du réseau ;
- Un projet doit être développé pour chercher des fonds afin de doter tous les programmes nationaux de l'équipement de base en technologie de l'information et d'un accès à Internet.

MUSACO 2003

Le prochain comité de pilotage aura lieu à l'IRAG en Guinée (Conakry) pendant la première semaine de mars 2003, sous la présidence de M. Bernadin Lokossou, représentant du Bénin qui a été élu pour remplacer Mme Adèle Sambo du Gabon.

2^e atelier international sur les cercosporioses des bananiers

San José, Costa Rica, 20-23 mai 2002

Cet atelier était organisé par l'INIBAP en collaboration avec la *Corporación Bananera Nacional* (CORBANA), l'*Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda* (EARTH) et le *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza* (CATIE). Organisé 13 ans après la dernière réunion internationale sur ce sujet, il a fourni au bon moment une opportunité d'analyser la situation actuelle concernant les cercosporioses au niveau mondial. La réunion a également permis de suggérer de nouveaux axes de recherche et a facilité la réorientation des programmes d'amélioration et des stratégies de biotechnologie pour l'amélioration génétique des bananiers.

Plus de 60 chercheurs ont participé à cet atelier, venant à la fois des secteurs public et privé et représentant plus de 16 pays différents d'Amérique latine et des Caraïbes, d'Europe, d'Afrique et d'Asie et du Pacifique incluant l'Australie.

Afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles et de garantir l'élaboration de nouvelles stratégies de lutte contre les différentes cercosporioses, la participation à l'atelier s'est faite uniquement sur invitation. Les résultats de la réunion seront cependant largement diffusés au travers de la publication des actes.

La réunion a été inaugurée par Jorge Sauma, Directeur de CORBANA. Emile Frison, Directeur de l'INIBAP, a souhaité la bienvenue aux participants et a rendu hommage à Ramiro Jaramillo Celis, ancien coordinateur régional de l'INIBAP pour l'Amérique latine et les Caraïbes. Il a, entre autres, souligné son inestimable contribution et ses efforts incessants pour le déve-

loppement du réseau régional de recherche sur *Musa*. L'ouverture officielle a été effectuée par Salvador Monge, Directeur exécutif du Secrétariat du plan sectoriel du Ministère de l'agriculture du Costa Rica.

L'atelier s'est organisé autour de cinq thèmes principaux : 1) l'impact des cercosporioses du bananier ; 2) la biologie des populations et l'épidémiologie ; 3) les interactions hôte-pathogène ; 4) l'amélioration génétique pour la gestion d'une résistance durable et 5) la gestion intégrée de la maladie.

Au cours de l'atelier, les participants ont pu être informés de la distribution et de l'impact des différentes cercosporioses dans plusieurs pays au niveau mondial. Les discussions organisées à la fin de chaque session ont permis d'identifier ou d'affiner, au niveau mondial, les priorités de recherche et les activités correspondantes dans le but de réduire significativement l'impact de ces maladies et de faire ainsi de *Musa* une culture durable.

Session 1. Impact des cercosporioses du bananier

Les conférences introductives ont permis d'apprécier l'étendue globale, la distribution actuelle et l'impact des trois pathogènes responsables des cercosporioses, *Mycosphaerella musicola*, *M. fijiensis* et *M. eumusae*. Des techniques développées en Australie pour le diagnostic rapide de *M. musicola* et *M. fijiensis*, les effets de *M. musicola* et *M. eumusae* sur la culture du bananier en Afrique du sud et l'impact de *M. fijiensis* à Cuba, au Brésil et en Asie tropicale ont été présentées. Le travail taxonomique le plus récent effectué sur l'anamorphe de *M. eumusae* et d'autres espèces de *Mycosphaerella* a également été décrit. *M. fijiensis* continue à s'étendre dans de nouvelles zones. De 2000 à 2002, le pathogène a été identifié pour la première fois à Madagascar, aux Bahamas, dans les îles Galapagos (Equateur) et dans la zone de culture du bananier du Nord Queensland où une tentative d'éradication est en cours. *M. eumusae* a également été observé sur la variété "Mysore" (AAB) au Sri Lanka. La forte résistance de ce clone à *M. musicola* et *M. fijiensis* rend cette observation préoccupante.

Des informations taxonomiques supplémentaires sur *Mycosphaerella* spp. ont été jugées nécessaires, ainsi que des informations sur des genres voisins qui forment des nécroses foliaires ou apparaissent dans des lésions déjà existantes. Une meilleure connaissance des pathogènes/saprophytes de *Mycosphaerella* et des genres voisins est un préalable indispensable au développement de tests de diagnostic rapide permettant de distinguer les différents pathogènes responsables des maladies foliaires. La distribution exacte de *M. eumusae* doit également être étudiée. Des études supplémentaires sur la distribution de *M. musicola*,



Echange d'informations sur les cercosporioses pendant la visite de la station de recherche de CORBANA à Guápiles. (Photo : C. Picq, INIBAP)

M. fijiensis et *M. eumusae* en Asie du sud et du sud-est ainsi que sur l'effet de *M. eumusae* sur la croissance et le rendement des clones de bananier sont indispensables. De récentes informations laissent penser que les cultivars de Cavendish et de Plantain sont très sensibles à *M. eumusae*.

Session 2. Biologie des populations et épidémiologie

La pathogénicité et la distribution de la variabilité, les sources de résistance, l'épidémiologie et la structure des populations des espèces majeures (*M. fijiensis*, *M. musicola* et *M. eumusae*) au niveau national, régional et international ont été définies comme des informations fondamentales au succès du maintien de la production bananière. De telles études sont particulièrement nécessaires en Asie, qui est le centre de diversité des trois pathogènes et où très peu de recherches ont été conduites jusqu'à présent. L'étude de l'évolution des relations hôte-pathogène pour les trois pathogènes, incluant particulièrement des cultivars résistants, est très importante pour l'évaluation de la pression de sélection et l'identification des populations pathogènes qui pourraient contourner la résistance des plantes. Des outils moléculaires tels que les microsatellites ont été recommandés pour évaluer la variabilité génétique des populations pathogènes ; leur pathogénicité devrait être évaluée simultanément. Des études épidémiologiques incluant la dispersion de la maladie sont nécessaires pour mieux comprendre la distribution et la dissémination du pathogène et elles compléteront, avec les études sur la variabilité génétique et la pathogénicité, toutes les informations requises pour anticiper l'évolution des populations pathogènes et définir des stratégies de gestion de la résistance.

Session 3. Interactions hôte-pathogène
Plusieurs cas de niveaux inattendus de susceptibilité à la cercosporiose noire ont été rapportés. Bien que différentes raisons aient été proposées pour expliquer ce phénomène (mauvaise nutrition, stress environnemental), le problème de l'érosion de la résistance ne peut être ignoré et nécessite une caractérisation précise de la population de pathogènes. Une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans les interactions plante-pathogène reste indispensable pour assurer le succès à long terme des programmes d'amélioration. Des études supplémentaires sont aussi nécessaires à la comparaison des processus d'infection de chacun des trois pathogènes (*M. fijiensis*, *M. musicola* et *M. eumusae*) sur les plantes-hôtes.

D'autres pathosystèmes (tels que *Magnaporthe grisea*) ont montré la grande utilité d'une approche génétique pour identifier sans aucun *a priori* les facteurs de pathogénicité. Ces approches incluent l'étude de l'expression des gènes, la production de mutants pathogènes, la génomique comparative et la validation de fonction des gènes. En conséquence, il a été recommandé de développer, en collaboration avec les groupes de *M. graminicola*, des outils génétiques et moléculaires pour *M. fijiensis* et de lancer une initiative génomique permettant l'accès aux outils de la génomique pour la comparaison de *M. fijiensis* avec *M. graminicola*.

Il est également recommandé d'étudier les différents mécanismes de résistance (partielle ou verticale).

Session 4. Amélioration génétique pour une gestion de la résistance durable
Pendant cette session, différentes présentations ont permis d'apprécier les progrès accomplis dans la création de nouvelles varié-

tés résistantes à la cercosporiose noire, par l'utilisation de technologies conventionnelles et/ou modernes. De nouveaux hybrides tétra-ploïdes résistants à la cercosporiose noire sont déjà disponibles dont certains sont largement cultivés dans le monde entier. Cependant, du fait du manque de nouvelles sources de résistance et de la présence d'une forme activable du virus de la mosaïque à tirets du bananier dans les hybrides interspécifiques (A x B), la production d'une nouvelle génération d'hybrides triploïdes est sérieusement compromise. Des progrès importants ont été faits dans le développement d'une panoplie d'outils moléculaires pour les bananiers et les bananiers plantain dans le domaine de la transformation génétique, permettant la production de bananiers transgéniques.

L'étude de la diversité du génome de *Musa balbisiana* en utilisant à la fois la caractérisation morphologique et moléculaire a été la première recommandation de cette session. Afin d'anticiper sur les besoins des programmes d'amélioration génétique, il a également été recommandé que les génomes T et S, *Musa textilis* et *Musa schizocarpa*, soient aussi étudiés.

Les techniques d'induction de mutations ne devraient plus être vues comme une stratégie d'amélioration génétique indépendante, mais plus comme un outil qui peut contribuer à des programmes d'hybridation en augmentant la diversité génétique des lignées parentales. Les mutants pourraient aussi aider à comprendre les mécanismes de résistance (génomique fonctionnelle).

Session 5. Gestion intégrée des maladies

Les stratégies de contrôle des cercosporioses jaune et noire peuvent, selon le pays et l'échelle de production, inclure non seulement des pratiques culturales et des traitements chimiques mais également l'utilisation en mélange de clones résistants et d'autres cultures. L'effet inhibiteur important de certaines substances naturelles dérivées de micro-organismes antagonistes des champignons a également été rapporté comme étant efficace pour réduire le développement de *M. fijiensis in vitro*.

L'association de spécialistes de différentes disciplines a été recommandée pour faciliter le développement d'une approche possible de la lutte intégrée des maladies de la cercosporiose du bananier. Les participants à l'atelier ont aussi recommandé l'étude du potentiel des substances naturelles ou synthétiques pour induire ou activer la résistance systémique acquise dans son sens le plus large.

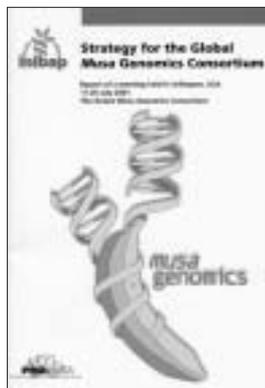
Les actes de l'atelier seront publiés rapidement par l'INIBAP. Cette publication inclura les textes complets de toutes les présentations, un résumé des discussions et les recommandations. Les actes de la réunion devraient devenir un document de référence sur les cercosporioses pour les dix années à venir.

Livres etc.

Strategy for the global *Musa* genomics consortium

Compte-rendu d'une réunion tenue à Arlington, USA, 17-20 Juillet 2001

ISBN: 2-910810-48-08



Le Consortium international sur la génomique du bananier a été lancé au cours d'une réunion qui s'est tenue à Arlington, aux Etats-Unis en juillet 2001. Cette réunion était fondamentale pour poser les fondements de solides collaborations futures dans le domaine de la génomique du bananier et permettre les premières avancées vers le développement d'une stratégie cohérente pour la génomique du bananier.

Ce document présente toute l'information sur la mise en place du Consortium, ses buts et ses objectifs. Il inclut aussi un état de l'art de la recherche dans le domaine de la génomique du bananier et fournit des informations détaillées sur la nature et l'ampleur du travail qui sera réalisé par les membres du Consortium. La stratégie progressive développée par le Consortium pour atteindre ses objectifs ainsi que son mode de fonctionnement, tel qu'il en a été convenu au cours de la réunion d'Arlington, sont également présentés. Des informations complémentaires sont fournies dans les différentes annexes.

Des exemplaires du rapport sont disponibles au siège de l'INIBAP.

Addenda aux 'Descripteurs pour le bananier (*Musa* spp.)'

Pour compléter la deuxième édition des 'Descripteurs pour le bananier. (*Musa* spp.)' et répondre à la demande des utilisateurs d'Afrique orientale, des caractères additionnels, spécifiques aux bananiers des hauts plateaux d'Afrique orientale, ont été ajoutés en 2001 dans un addenda. Les descripteurs pour les *Musa* sont uniques en leur genre : Ils comportent en effet une charte de couleur. Cette dernière est très utile pour éviter des erreurs issues d'une description subjek-

tive des couleurs et établir ainsi une entente commune sur ces valeurs.

Des exemplaires des descripteurs et de leur addenda sont disponibles au Siège de l'INIBAP.

Resúmenes analíticos de la investigación sobre plátano en Colombia

Edité par D.G. Cayón et F. Salazar Alonso

ISBN: 958-96885-1-9



CORPOICA peut certainement s'enorgueillir du résultat de ses récents efforts d'analyse et de compilation de l'information existante sur la recherche et le transfert de technologies sur le bananier plantain en Colombie. Publié sous le titre "*Resúmenes Analíticos de la Investigación sobre Plátano en Colombia*", ce document est un inventaire unique d'une très grande partie de la littérature scientifique, incluant la littérature grise, publiée sur ce sujet. Il inclut 792 résumés, accompagnés d'index auteurs et thématique, qui facilitent la recherche d'information.

Cet important document publié en espagnol est disponible sous forme électronique (base de données sur CD-Rom) ou imprimée (400 pages) et sera certainement très apprécié par tous ceux qui travaillent sur le bananier plantain au niveau international.

Ce document est disponible sur demande à : CORPOICA, Apartado Aéreo No 1087, Av Bolivar, Sector Regivit 28 Norte, Armenia, Quindío, Colombie - Fax: (57-6) 7496331 et au Bureau régional de l'INIBAP pour l'Amérique latine et les Caraïbes, C/O CATIE, 6170 Turrialba, Costa Rica.

Banana varieties: The ACIAR years 1987-1996

J.W. Daniells and N.J. Bryde

Information series Q101013

ISBN 0727-6273

Au cours des années 1987-1996, le Queensland Department of Primary Industries (QDPI) a été chargé de gérer le projet de l'ACIAR intitulé "L'amélioration des bananiers dans le Pacifique Sud". Pendant le projet, des variétés de bananiers du monde entier ont été collectées. Au total, 106 variétés sont présentées dans cette

publication, ce qui représente un éventail important de ce qui est disponible pour l'évaluation. Sont inclus quelques hybrides de programmes d'amélioration conventionnelle, des sélections hors type issues de micropropagation, des cultivars existants et des espèces sauvages.

Le rapport présente les informations agronomiques collectées ainsi que des photographies en couleur des régimes, ce qui permet une bonne appréciation de chaque variété. Beaucoup de lecteurs trouveront dans ces photos une aide à l'identification.

Clean & green bananas – Where to from here?

J.W. Daniells

Information series Q101014

ISBN 0727-6273

Actuellement, les ventes de bananes "propres" et biologiques sont très limitées en Australie. L'exportation de bananes biologiques est risquée et incertaine. Malgré tout, le marché s'engage dans cette direction et, à plus ou moins long terme, la 'niche' de la banane biologique atteindra sans doute un seuil de 10-15% du marché. Les plus grosses ventes de ces deux types de bananes seront possibles grâce à la participation des supermarchés et les prix actuels des produits biologiques existants devront baisser. Les capacités de production doivent être améliorées grâce à des recherches spécifiques sur des facteurs limitants tels que la gestion de la fertilité des sols, la lutte contre les maladies foliaires et un développement, une vulgarisation et une utilisation plus importante des technologies existantes. L'industrie bananière a fait des progrès importants dans la réduction de l'utilisation des pesticides mais il est aujourd'hui nécessaire de réunir l'ensemble des connaissances et de développer un système de type ECO-OK à mettre en place dans des plantations commerciales et qui puisse répondre à des standards vérifiables et au développement du marché afin que les producteurs aient en retour une reconnaissance de leurs efforts.

Les deux publications présentées ci-dessus sont disponibles sur demande au Department of Primary Industries, GPO Box 46, Brisbane QLD 2001, Australia.



3^e Symposium international sur la biologie cellulaire et moléculaire du bananier

9-11 septembre 2002, Leuven, Belgique

Le premier symposium, qui s'est tenu en mars 1999 à l'université de Cornell à Ithaca, USA, a été organisé pour créer un forum où tous les acteurs de cette discipline pourraient se rencontrer et échanger des informations sur leurs activités de recherche. Au vu du succès de cette réunion, il a été décidé de la rééditer sous l'égide de PROMUSA. Le deuxième symposium international sur ce thème a eu lieu en Octobre 2001 à Byron Bay, Australie. En tant qu'organisateur, l'INIBAP et la KULeuven sont heureux d'annoncer que le 3^e symposium sur la biologie cellulaire et moléculaire du bananier se déroulera du 9 au 12 septembre 2002 à Leuven, Belgique.

Le programme scientifique comprendra cinq sessions. Plus de 30 présentations et 31 posters seront présentés au cours du symposium.

Douze conférences magistrales seront également données par d'éminents spécialistes: Prof. Francis Quétier, Dr Xavier Draye et Prof. Guido Volckaert (Session 1 : Génomique), Drs A. De Picker et D. Inzé (Session 2 : Expression des gènes et transformation), Prof. G. Gheseyn, Drs Johan Nayts et D. Van Der Straeten (Session 3 : Phytopathologie moléculaire et résistance aux maladies et ravageurs), Drs Isabel Roland-Ruitz et Peter Breyne (Session 4 : Caractérisation et conservation de la biodiversité) et Drs Emma Schofield et W. Peumans (Session 5 : Biochimie et physiologie).

Un atelier sur le thème "Propriété intellectuelle et organismes génétiquement modifié" sera animé par le Dr Victoria Henson.

Une visite scientifique de KULeuven et de la banque de gènes de l'INIBAP sera également organisée.

Pour en savoir plus sur le symposium, visitez le site web de l'INIBAP:

http://www.inibap.org/actualites/actualites_fre.htm

Conférence mondiale sur les bananiers et bananiers plantain

Grand Ashok Hotel, Kumara Krupa, High Grounds, Bangalore, Inde
28-31 Octobre 2002

Afin de répondre aux nouvelles problématiques de croissance et développement de l'industrie bananière, l'Association for the Improvement in Production and Utilization of Banana (AIPUB), Inde, avec l'appui de l'INIBAP, de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agri-

culture (FAO), du Department of Agriculture and Cooperation, du Gouvernement de l'Inde et de l'Indian Council of Agricultural Research, organise une conférence mondiale sur « La production bananière pour la sécurité en matière de nutrition et de moyens de subsistance ».

Cette conférence a pour but :

- De rassembler les acteurs mondiaux de la recherche, du développement et du commerce de la banane afin qu'ils discutent des différentes problématiques liées au développement durable de la banane.
- D'envisager les diverses possibilités d'insertion de la banane d'Inde et de ses produits dérivés dans le commerce international.
- D'impliquer les experts nationaux et internationaux dans le développement et la mise en place d'initiatives d'ordre politique favorisant la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance au travers de la production bananière.

Les discussions porteront principalement sur les sujets suivants :

- Gestion des ressources génétiques et amélioration des plantes,
- Avancées des biotechnologies,
- Stratégies dans les technologies de production,
- Production de bananes biologiques,
- Gestion intégrée des maladies et ravageurs,
- Gestion post-récolte, diversification des produits dérivés et valeur ajoutée,
- Appui aux politiques et programmes,
- Commerce national et international,
- Coopération internationale.

Dates butoirs

Soumission des résumés – 31 juillet 2002.

Soumission des contributions complètes – 30 septembre 2002

Inscriptions

Avant le 30 Août 2002

Membres de l'AIPUB : 50 US\$

Non-membres : 75 US\$

Institutions : 100 US\$

Après le 30 Août 2002

Membres de l'AIPUB : 100 US\$

Non-membres : 125 US\$

Institutions : 150 US\$

Les formulaires d'inscription dûment remplis doivent être renvoyés avec les paiements correspondants à :

Conference Secretariat

Bagwani Bhavan, 47 Janakpuri Institutional Area, Pankha Road, New Delhi-110058

Tel (91-11)-5622150/5531211 ;

Fax (91-11)-5531211, 3384978,

Pour vous informer plus amplement et vous inscrire, visitez le site web de l'AIPUB : <http://www.aipub.org/conferences.htm>

Les adresses de l'INIBAP

Siège
Parc Scientifique Agropolis II
34397 Montpellier Cedex 5 - FRANCE
E-mail : inibap@cgiar.org
http://www.inibap.org
Directeur :
Dr Emile FRISON
E-mail : e.frison@cgiar.org
Responsable de l'amélioration génétique :
Dr Jean-Vincent ESCALANT
E-mail : j.escalant@cgiar.org
Responsable des ressources génétiques :
Melle Suzanne SHARROCK
E-mail : s.sharrock@cgiar.org
Responsable de l'Information
et de la Communication :
Melle Claudine PICQ
E-mail : c.picq@cgiar.org
Responsable du MGIS :
Melle Elizabeth ARNAUD
E-mail : e.arnaud@cgiar.org
Responsable Financier :
Mr Thomas THORNTON
E-mail : t.thornton@cgiar.org
Bureau Régional pour l'Amérique latine
et les Caraïbes
Coordinateur Régional :
Dr Franklin E. ROSALES
Expert associé, transfert de technologies :

Luis POCASANGRE
C/o CATIE
Apdo 60-7170 Turrialba, COSTA RICA
Tel/Fax : (506) 556 2431
E-mail : inibap@catie.ac.cr
Bureau Régional
pour l'Asie et le Pacifique
Coordinateur Régional :
Dr Agustín MOLINA
C/o IRRI Collaborators Center
3rd Floor
Los Baños, Laguna 4031 PHILIPPINES
Fax : (63-49) 536 05 52
E-mail : a.molina@cgiar.org
Bureau Régional pour l'Afrique
occidentale et centrale
Coordinateur Régional :
Dr Ekow AKYEAMPONG
Expert associé, transfert de technologies
Kim JACOBSEN
C/o CRBP - BP 12438
Douala, CAMEROUN
Tel/Fax : (237) 342 91 56
E-mail : inibap@camnet.cm
Bureau Régional
pour l'Afrique orientale et australe
Coordinateur Régional :
Dr Eldad KARAMURA

Expert associé, transfert de technologies :
Guy BLOMME
PO Box 24384
Kampala,
OUGANDA
Fax : (256-41) 28 69 49
E-mail : inibap@imul.com
Centre de Transit INIBAP
(ITC)
Responsable :
Melle 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
E-mail : ines.vandenhouwe
@agr.kuleuven.ac.be
Expert associé, Nématologie
Thomas MOENS
C/o CORBANA
Station de recherche La Rita
Apdo 390-7210
Guápiles,
COSTA RICA
Fax : (506) 763 30 55
E-mail : fitonema@corbana.com

Conseils aux auteurs

Les textes dactylographiés seront préparés en français, anglais ou espagnol et envoyés au rédacteur en chef de la revue. Ils seront présentés en double interligne. Toutes les pages seront numérotées (y compris les tableaux, figures, légendes et références) à partir de la page de titre. Le titre sera le plus court possible. 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.

Si le texte a été saisi sur un système informatisé, merci d'envoyer avec votre version imprimée une copie sur disquette ou par courrier électronique en indiquant les références du logiciel de traitement de texte utilisé.

Résumés

Un résumé dans la langue du texte et éventuellement dans les deux autres langues de la revue devra accompagner la contribution. Il ne devra pas excéder 200 à 250 mots.

Sigles

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

Bibliographie

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 (ex : Sarah *et al.* 1992).

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

Articles de 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.

Livres : Stover R.H. & N.W. Simmonds. 1987. *Bananas* (3rd édition). Longman, Londres, Royaume Uni.

Articles (ou chapitres) de publications non-périodiques : 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.

Tableaux

Numérotez-les et faites référence à ces numéros dans le texte. Chaque tableau sera accompagné d'un titre.

Illustrations

Numérotez-les et faites référence à ces numéros dans le texte. N'oubliez pas d'indiquer les légendes.

Graphiques : Merci de fournir avec le graphique les données brutes correspondantes.

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

Photographies noir et blanc : elles doivent être tirées sur papier brillant et très contrastées.

Photographies en couleur : fournir un très bon tirage papier ou des diapositives de bonne qualité.

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.**

Sommaire

3 ^{ème} réunion du groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses	p. I
PROMUSA : Inauguration du groupe de travail sur le charançon du bananier	p. VI
Résumés des communications	p. VIII
Quatrième et dernière réunion de coordination sur la biologie cellulaire et la biotechnologie, incluant les techniques de mutation pour la création de nouveaux génotypes utiles de bananier	p. XIV
un rapport résumé	p. XIV
Résumés des communications	p. XV

Qu'est-ce que PROMUSA ?

Le programme mondial pour l'amélioration des bananiers (PROMUSA) est un programme qui cherche à impliquer les principaux acteurs de l'amélioration des bananiers. Il est un moyen de relier le travail mené sur les problèmes des producteurs travaillant pour l'exportation et les initiatives dans le domaine de l'amélioration de la production d'autosubsistance et à petite échelle pour les marchés locaux. Le programme mondial est basé sur les acquis de la recherche et se construit sur les recherches en cours. PROMUSA est donc un mécanisme qui permet de maximiser les résultats et d'accélérer l'impact de l'effort mondial en matière d'amélioration des bananiers. Ce mécanisme novateur, qui permet de catalyser les recherches menées tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du GCRAI, favorise la création de nouveaux partenariats entre les Systèmes nationaux de recherche agricole (SNRA) et les instituts de recherche dans les pays développés et dans les pays en voie de développement. La création de tels partenariats contribue aussi à renforcer la capacité des SNRA à conduire des recherches sur les bananiers.

L'une des initiatives majeures de PROMUSA est le développement d'un large éventail de nouveaux hybrides de bananier correspondant aux différentes attentes des petits producteurs du monde entier. Le programme rassemble à la fois les acteurs de l'amélioration conventionnelle, basée sur les techniques d'hybridation et ceux travaillant sur des approches liées au génie génétique et aux biotechnologies. Cet effort en matière d'amélioration génétique s'appuie sur les recherches menées sur des ravageurs et des maladies spécifiques dans le cadre des différents groupes de travail de PROMUSA. Le mécanisme efficace mis en place pour évaluer les nouvelles variétés produites dans le cadre de PROMUSA est une autre composante essentielle du programme.



PROMUSA

Un programme mondial pour l'amélioration des *Musa*

3^{ème} réunion du groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses

24-25 mai 2002, EARTH, Costa Rica

La réunion a commencé par une brève présentation de chaque participant sur sa capacité de recherche en termes de ressources humaines, infrastructures de recherche, projets en cours et futurs en relation avec les maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp. Les participants se sont également exprimés sur leur participation à PROMUSA en définissant les domaines d'intérêt dans lesquels ils souhaiteraient développer des partenariats.

Les participants ont identifié diverses priorités de recherche et défini les principales activités qui devraient être réalisées.

Recommandations

Développement d'une compréhension approfondie de la structure des populations de *Mycosphaerella musicola*, *M. fijiensis* et *M. eumusae*

Etude de la distribution géographique des trois espèces de *Mycosphaerella*

L'étude de la distribution des différentes espèces requiert un large échantillonnage au niveau national des différentes zones agroécologiques dans lesquelles on trouve des *Musa*, et la caractérisation morphologique des espèces par l'observation du stade anamorphe (conidies), incluant la caractérisation moléculaire en utilisant des diagnostics PCR.

Le groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses a ratifié la recommandation faite pendant la "deuxième réunion internationale sur les cercosporioses" qui s'est tenue du 20 au 23 à San José, Costa Rica : "La distribution exacte de *M. eumusae* doit être connue. Des études complémentaires en Asie du Sud et du Sud-est sont nécessaires pour déterminer les différentes locali-

sations de *M. musicola*, *M. fijiensis* et *M. eumusae*. Le nom des clones de bananiers affectés, un indicateur de la sévérité de la maladie et des données sur l'environnement local seraient utiles car elles pourraient aider à expliquer la distribution. Les essais de l'IMTP sont considérés comme des endroits idéaux pour évaluer la réaction des différents clones aux agents pathogènes causant les cercosporioses. La collecte et le diagnostic de spécimens d'agents des cercosporioses dans les essais de l'IMTP doivent être continués. La coopération et la collaboration des scientifiques en Asie du Sud et du Sud-est sont considérées comme essentielles. Des outils d'identification devraient être fournis pour permettre de réaliser des diagnostics au niveau local."

Développement de collections nationales des différents agents pathogènes de *Mycosphaerella* chez les bananiers

Le groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses a ratifié la recommandation faite au cours de la "2^{ème} réunion internationale sur les cercosporioses" : un test rapide et fiable pour distinguer *M. musicola*, *M. fijiensis*, *M. eumusae* et d'autres éventuels agents pathogènes/saprophytes de *Mycosphaerella* doit être développé pour aider à l'identification. Des informations sur la manière de distinguer les trois agents pathogènes en utilisant des caractéristiques morphologiques doivent être produites et transmises aux chercheurs bananiers. Il a été demandé à l'INIBAP répondre à cette demande."

La création d'une collection nationale des souches des différents agents pathogènes de *Mycosphaerella* concernant *Musa* est particulièrement pertinente pour comprendre la structure des populations. La collection doit être basée sur des cultures d'ascospores isolées avec une caractérisation *in vitro* du stade anamorphe (sporulation *in vitro* de conidies). Il a été recommandé de fournir aux participants un protocole de

prélèvement, d'établissement et de maintenance de la collection. Mandat a été donné à l'INIBAP de collaborer avec le CIRAD pour développer et distribuer les informations techniques nécessaires. L'établissement d'une collection nationale devrait être encouragé et facilité par l'organisation d'un cours de formation, particulièrement pour les pays qui développent des programmes d'amélioration, mais aussi là où des bananiers hybrides résistants à la maladie sont utilisés à l'échelle industrielle et où la grande diversité des *Musa* serait à l'origine d'une diversité similaire chez les agents pathogènes.

Structure génétique des populations

L'étude de la structure génétique des *Mycosphaerella* causant des maladies foliaires est déjà en cours à l'échelon national, régional et international. Cependant, le groupe recommande d'augmenter le nombre de pays impliqués au niveau national, ce qui permettra d'affiner les études régionales et internationales. Afin d'améliorer la compréhension de la structure des différentes populations, des déterminations biologiques (morphologiques) et moléculaires ont été recommandées. Le protocole et la méthodologie de prélèvement devraient être standardisés et la reconnaissance des différentes espèces facilitée par le développement d'une fiche technique qui serait largement diffusée. L'INIBAP et le CIRAD ont décidé de travailler ensemble à la préparation de ces informations qui devraient comprendre plusieurs illustrations détaillées des différents agents pathogènes et de leurs stades anamorphes. Ces informations feront également partie des guides techniques de l'IMTP. Le développement de marqueurs supplémentaires de type SSR et CAPS devrait permettre d'affiner l'étude des différentes populations. La recommandation d'inclure des partenaires d'Asie du Sud et du Sud-est, faite au cours de la dernière réunion globale de PROMUSA à Bangkok, a été réitérée par les participants, qui ont fortement suggéré que le bureau régional de l'INIBAP pour l'Asie et le Pacifique renforce et facilite les échanges entre les partenaires asiatiques et le reste de la communauté de PROMUSA.

Caractérisation des agents pathogènes

La pathogénicité des différentes souches devrait être approchée en utilisant des systèmes d'inoculation *in vitro* ou *in vivo*. Cependant, il est recommandé de standardiser les méthodologies qui existent actuellement. La méthodologie d'inoculation *in vitro* sur fragments de feuilles développée par le CIRAD devrait être diffusée, en même temps que celle utilisée pour isoler, cultiver et produire un inoculum des différents agents pathogènes. Il a été demandé à l'INIBAP et au CIRAD de compiler en un seul document technique toutes les informations déjà publiées sur ces différentes méthodes.

Identification de nouvelles sources de résistance

Le besoin en nouvelles sources de résistance aux cercosporioses a été identifié à plusieurs

reprises dans le passé. Des missions de collecte en Indonésie, Inde du Nord et au Vietnam ont déjà eu lieu, mais seules des informations sur la caractérisation de la résistance des différents matériels collectés ont été fournies. Le groupe de travail de PROMUSA a recommandé que l'INIBAP aide à rassembler toute information disponible. Le groupe a également recommandé de stimuler la caractérisation des collections existantes dans lesquelles *M. eumusae* a déjà été signalée en même temps que d'autres espèces de *Mycosphaerella*, comme par exemple au MARDI en Malaisie. Afin de faciliter le criblage, le groupe a suggéré d'utiliser l'"indice de sévérité" comme unique paramètre pour détecter toute source de résistance. Ces informations devraient permettre de définir les différents clones de référence nécessaires à l'évaluation de la résistance à la maladie causée par *M. eumusae*.

L'indice de sévérité sera également utilisé pour évaluer les populations ségrégeantes de PROMUSA maintenues à CORBANA.

Diagnostics

Plusieurs maladies foliaires causées par des champignons ont été signalées sur *Musa* et d'autres espèces apparentées. Le groupe a recommandé le développement d'outils de diagnostic spécifiques pour les trois espèces d'agents pathogènes de *Mycosphaerella* chez *Musa* : *M. fijiensis*, *M. musicola* et *M. eumusae*. La réalisation de ces outils de diagnostic se fera dans le cadre du développement d'une collection mondiale d'isolats de *Mycosphaerella*, de la description morphologique de toutes les différentes sous-espèces de *Mycosphaerella* associées aux feuilles de bananier et du développement d'amorces spécifiques d'espèces comme les microsatellites et les séquences ITS et leur test sur la collection mondiale d'isolats de *Mycosphaerella*.

Il est donc suggéré :

- De développer des outils de diagnostic pour distinguer les principaux agents pathogènes et d'évaluer les méthodes moléculaires disponibles aujourd'hui pour leur spécificité,
- De produire un manuel avec la description des symptômes et des caractères morphologiques,
- De développer des protocoles pour la collecte et l'analyse d'échantillons,
- De transférer et de former les participants de PROMUSA aux différentes technologies requises (collecte et échantillonnage, cultures de mono-ascospores et marqueurs moléculaires).

Durabilité de la résistance

Des changements significatifs dans les niveaux de résistance à la cercosporiose noire et à la maladie de Sigatoka ont été signalés en Australie, en Inde et à Cuba. Cependant, il est possible qu'ils existent simplement du fait de doses d'inoculum élevées. Il est donc important de distinguer des changements dans les populations d'agents pathogènes d'effets épidémiologiques particuliers. Le groupe a donc recomman-

dé d'étudier les changements dans les populations d'agents pathogènes en réponse à la pression de sélection imposée par les nouveaux génotypes de bananiers résistants aux cercosporioses. Il est essentiel de suivre les changements dans les populations pathogènes dans les zones où des nouveaux hybrides résistants sont cultivés à grande échelle. Une recommandation spéciale a été faite pour la mise en place d'essais spécifiques à Cuba. Deux aspects différents de la durabilité de la résistance doivent être abordés : la dérive génétique de la résistance aux agents pathogènes et l'effet de sélection au sein de la population d'agents pathogènes. Les participants de la réunion du groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses ont recommandé :

- La sélection de zones où des hybrides résistants ont été cultivés depuis de longues périodes (par exemple Cuba) et le suivi de l'évolution des populations pathogènes, l'isolation de souches de *Mycosphaerella* sur des cultivars ou hybrides sensibles et résistants,
- Le développement de marqueurs moléculaires liés à la pathogénicité des souches de champignons (les marqueurs moléculaires donneront des informations sur la dérive génétique quand l'évaluation de la pathogénicité sera reliée à l'effet de sélection),
- La quantification de la pression de sélection au cours du temps, et
- L'étude de la destruction de la résistance par des tests *in vitro*.

Dispersion des cercosporioses chez *Musa*

La dispersion de *M. eumusae* est pour l'instant limitée à la plus grande partie de l'Asie, bien qu'il semble y avoir des preuves que l'agent pathogène ait atteint l'Afrique. La dynamique de la maladie n'est pas aujourd'hui complètement comprise. Certaines projections indiquent que cette maladie va devenir plus importante que la cercosporiose noire. Afin de préparer des stratégies adéquates de contrôle de la maladie, il est urgent de posséder une connaissance détaillée de l'épidémiologie de cet agent pathogène. Pour aborder l'épidémiologie des différentes espèces des agents pathogènes de *Mycosphaerella* chez le bananier, le groupe a recommandé :

La collecte de données sur le terrain et dans la littérature sur l'incidence de la maladie,

Le développement de méthodologies pour comprendre les mécanismes de dissémination des spores et la survie des spores dans l'air en laboratoire, et

La clarification des données de laboratoire au niveau de la plantation et l'évaluation du potentiel de dispersion anémophile (par opposition à une dispersion plus poussée par le transfert d'inoculum).

Interactions hôte-pathogène

L'approche génétique s'est révélée extrêmement puissante pour l'étude des interactions hôte-pathogène chez certains pathosystèmes (tels

que Magnaporthe grisea). Cette approche ne nécessite pas l'identification a priori de facteurs de pathogénicité et inclut l'étude de l'expression des gènes pendant l'infection (affichage différentiel (differential display), puces d'ADN, SSH, etc.), la production de mutants de pathogénicité, les techniques de génomique comparative et de validation de la fonction des gènes.

Ici encore, le groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses a ratifié la recommandation du "2^{ème} atelier international sur les cercosporioses" d'étudier : "le développement d'outils de génétique et de biologie moléculaire pour *M. fijiensis* en collaboration avec les groupes travaillant sur *M. graminicola* ainsi que le lancement d'une initiative en génomique pour accéder aux outils de la génomique (collection d'EST, carte physique, séquence du génome) et l'établissement de la comparaison au niveau génomique entre *M. fijiensis* et *M. graminicola*".

Collection internationale

Le groupe a recommandé de développer une collection internationale centrale des trois espèces principales d'agents pathogènes de *Mycosphaerella* présents chez *Musa*. Les différentes souches devraient être conservées sous forme de mycélium fongique et d'ADN. Il a été suggéré que le CIRAD héberge la collection internationale en utilisant le même mécanisme que celui mis en place par l'INIBAP en collaboration avec KULeuven pour héberger la collection internationale de matériel génétique de *Musa* au Centre de transit de l'INIBAP. Il a été demandé à l'INIBAP de répondre à ce besoin en collaboration avec le CIRAD.

Intérêt des institutions pour les activités de PROMUSA

Thèmes de recherche	Institution désireuse de participer
Structure des populations	
• Etude de la distribution géographique en Asie	
• Nigeria	IITA
• Collections nationales	INISAV, CORBANA, CORPOICA, FHIA, EMBRAPA, FABI, QDPI, CIRAD
• Structure génétique des populations	INISAV, FABI, CATIE, CIRAD, CORPOICA, CARBAP
• Caractérisation des agents pathogènes	CORBANA, CATIE, CIRAD, FHIA, EMBRAPA, CORPOICA, CARBAP, IBP
Evaluation de la population ségrégeante	CORBANA, EMBRAPA
Diagnostics	CRCTPP, CIRAD, CBS, FABI
Durabilité de la résistance	INISAV, CIRAD, CATIE, EMBRAPA, CARBAP et FHIA
Dispersion	
• <i>M. eumusae</i> , Asie	NRI
• <i>M. fijiensis</i> , Caraïbes	NRI, CIRAD, WIBDECO, CRCTPP
Interactions hôte-pathogène	FABI, CIRAD, IBP, CARBAP et CICY
• Mécanisme de pathogénicité	
• Mécanisme de résistance	



Contribution institutionnelle à PROMUSA

Institution, Pays	Installations de recherche	Ressources humaines	Sujets de recherche	Activités en cours	Contact
CORBANA, Costa Rica	Labo de culture de tissus Labo de phytopathologie Collection en champ de matériel génétique Champs expérimentaux		• Evaluation au champ de nouveaux clones • Inoculation de <i>M. fijiensis</i> en serre	• IMTP -phase III • Evaluation de populations ségrégeantes de <i>Musa</i> • Evaluation de populations ségrégeantes de <i>M. fijiensis</i>	J.A. Sandoval R. Vargas M. Guzman
INISAV, Cuba	Labos de phytopathologie Stations expérimentales Collaboration avec le CIGB		• Epidémiologie de <i>M. fijiensis</i> chez des populations d'hybrides résistants • IMTP phase III • Diversité et distribution de <i>M. fijiensis</i> (caractérisation moléculaire et morphologique)	• Etude de populations de <i>M. fijiensis</i> (variabilité et distribution) • Durabilité de la résistance d'hybrides de la FHIA à <i>M. fijiensis</i>	L. Pérez Vicente
CRCTPP, QDPI, Australie	Labos de phytopathologie Serre Stations de recherche	Phytopathologiste principal (1) Techniciens supérieurs (2) Technicien (1)	• Maladies foliaires causées par <i>Mycosphaerella</i> • Rayure noire des feuilles : • Evaluation de cultivars & diagnostics • Sigatoka : Diagnostics & épidémiologie • Diagnostic moléculaire de la maladie de la rayure noire des feuilles et de la maladie de Sigatoka	• Diagnostic d'isolats de Sigatoka d'Océanie • Collection d'isolats et identification primaire par symptomatologie et morphologie • Analyse de la séquence des régions • ITS d'isolats d'Océanie • Si nécessaire, le séquençage d'autres gènes adaptés sera entrepris	R. Peterson (QDPI) J. Henderson (CRCTPP) K. Grice (QDPI)
CORPOICA, Colombie	Labo de biologie moléculaire Labo de phytopathologie Stations (différentes altitudes)		• Maladies foliaires causées par <i>Mycosphaerella</i> • Structure des populations et diversité : caractérisation morphologique	• Caractérisation de la population colombienne d'agents pathogènes de <i>Mycosphaerella</i> • Caractérisation morphologique et moléculaire de matériel génétique	A. Gutierrez Rojas S. Aponte

Institution, Pays	Installations de recherche	Ressources humaines	Sujets de recherche	Activités en cours	Contact
			et moléculaire • Evaluation de matériel génétique		
CICY, Mexique	Labos de biotechnologie Biochimie & biologie moléculaire végétale Equipements : CHEF MAPPER Séquenceur capillaire CHEF DRII	Chercheurs (4) Techniciens (3) Etudiants en MSc (4) Etudiants en PhD (2) Etudiants 1er cycle (13)	• Amélioration génétique utilisant la biotechnologie	• Construction et caractérisation de deux banques génétiques BIBAC de deux bananiers diploïdes, et développement d'un protocole de transformation par <i>Agrobacterium</i> utilisant l'infiltration sous vide, CONACYT, 3 ans (Resp. : Dr A. James) • Carte génétique et physique de <i>M. fijiensis</i> , CONACYT ; 3 ans (Resp. : Dr D. Kaemmer) • Criblage de la banque BAC Calcutta IV pour des gènes de résistance (soumis) (Resp. : Dr D. Kaemmer) • Construction d'une banque BAC de <i>M. fijiensis</i> (soumis)(Resp. : Dr A. James) • Evaluation agronomique de cultivars de bananiers et plantains nouvellement introduits au Mexique, et de mutants induits (soumis) (Resp. : Dr A. James)	A. James D. Kaemmer L. Conde L. Peraza
CIRAD, Montpellier, France	Labos de phytopathologie Serre & chambre climatique Equipement d'évaluation in vitro Accès à labo de culture <i>in vitro</i> Collection d'environ 2500 isolats Laboratoire de biologie moléculaire (CAPS & microsattellites, séquenceurs, génomique)	Chercheurs (2) Généticien (1) Techniciens (3) Etudiants (2-3)		• Taxonomie et identification de <i>Mycosphaerella</i> spp. • Collection • Diagnostic moléculaire • Distribution de <i>Mycosphaerella</i> spp. en Asie • Structure des populations pathogènes à différentes échelles • Collection • Marqueurs moléculaires • Pathogénicité • Structure des populations de <i>Mycosphaerella</i> en Asie • Efficacité et durabilité de la résistance partielle • Caractérisation de nouvelles sources de résistance • Génétique de la résistance • Evolution des populations de pathogènes sur des cultivars résistants (grande étendue de culture) • Autres • Génomique et étude des interactions hôte-pathogène • Collection (collection cœur, réseau ?, Base de données ?)	J. Carlier C. Abadie
CATIE, Costa Rica	Labo de biologie moléculaire Labo de phytopathologie Labo de lutte biologique Labo de culture de tissus Bombardement de particules Ombrière Outils offerts : <i>M. fijiensis</i> : protocoles d'isolation, extraction d'ADN, amplification d'ADN, électrophorèse d'ADN Utilisation de marqueurs moléculaires pour étude de populations Induction de résistance Tests de pathogénicité Protocoles de culture de tissus de <i>Musa</i> Protocoles de bombardement	Chercheurs (2) Techniciens (2)	• Lutte biologique et induction de résistance • Banque de bactéries et champignons antagonistes • Produits microbiologiques à potentiel antifongique ou molécules élicitrices • Criblage de plantes avec résistance antifongique ou induction de résistance • Produits botaniques avec propriétés antifongiques ou molécules élicitrices • Adaptation/développement d'une méthode de criblage rapide et efficace pour évaluer la résistance à la cercosporiose noire • Transformation génétique de <i>Musa</i> pour introduire la résistance à la cercosporiose noire • Protocole de transformation chez <i>Musa</i>	En cours : • Etude de la structure des populations de <i>M. fijiensis</i> • Biotechnologie de <i>Musa</i> : culture de tissus, protocoles de bombardement Soumis : • Structure de la population de <i>M. fijiensis</i> en République dominicaine • Présenté par T. Polanco (IDIAF) à l'IAEA janvier 2002. Partenaires : CATIE (Costa Rica) et CIRAD (France). • Structure de la population de <i>M. fijiensis</i> au Honduras et en République dominicaine Présenté par G. Rivas (CATIE) à FINNIDA, mai 2002. Partenaires: FHIA (Honduras), IDIAF (République dominicaine) et CIRAD (France). • Etude de la structure de populations de <i>M. fijiensis</i> • Biotechnologie de <i>Musa</i> : culture de tissus, protocoles de bombardement • Structure de la population de <i>M. fijiensis</i> au Honduras. Project financé par INIBAP/FHIA. Partenaires : CATIE (Costa Rica) et CIRAD (France)	A. S. Riveros A G. Rivas
EMBRAPA, Cruz das Almas, Brésil	Réseau coopératif de 3 centres de recherche de l'EMBRAPA incluant leurs laboratoires et champs	Chercheurs (9)	• Contrôle intégré des maladies foliaires causées par <i>Mycosphaerella</i> au Brésil, incluant l'amélioration	En cours : • Evaluation de la variabilité génétique et pathogène chez <i>M. musicola</i> • Evaluation de la résistance aux cercosporioses noire et jaune • Epidémiologie Nouveau projet : • Création et évaluation d'une population	Zilton Cordeiro Maria de Jesus B. Calvacante

Institution, Pays	Installations de recherche	Ressources humaines	Sujets de recherche	Activités en cours	Contact
				ségrégante de <i>Musa acuminata</i> (AA) pour la résistance à la cercosporiose jaune et noire	
FHIA, Honduras	Labo de culture de tissus Ombrière Champs expérimentaux Labo de phytopathologie conventionnelle Lecteur ELISA installé Machines PCR (prochainement)	Sélectionneur (1) Assistants de recherche (3) Phytopathologistes (2) Agronome (1) Technicien (1)	• Amélioration • Evaluation en champ de nouveaux clones • Epidémiologie	En cours : • IMTP III • CFC projet de test d'hybrides de <i>Musa</i> • Amélioration du bananier En perspective : • Structure de la population de <i>M. fijiensis</i> au Honduras. Project financé par l'INIBAP/FHIA. • Partenaires : CATIE (Costa Rica) et CIRAD (France).	M. Rivera J.F. Aguilar
IBP, Cuba	Labo de culture de tissus Labo de biologie moléculaire Labo de phytopathologie Labo commercial de culture de tissus Serre/ombrière Champ expérimental	Biotechnologiste Sélectionneur Phytopathologiste (2) Biologiste moléculaire Microbiologiste Agronome	Criblage précoce • Evaluation de matériel génétique en serre • Transformation génétique (plante/pathogène)	En cours : • Programme de mutagenèse/amélioration • Méthodes standardisées de criblage précoce • Evaluation en serre • Transformation de <i>M. fijiensis</i> • Transformation de plantes En perspective : • Utilisation d'un test similaire pour l'évaluation de la pathogénicité • Développement de méthodes pour identifier les isolats virulents et avirulents	Y. Alvarado
Unité de pathologie végétale, Université de Gembloux, Belgique	Labo de pathologie Labo de virologie Serre Equipements de biologie moléculaire et sérologie		• Lutte biologique contre les maladies fongiques • Sélection pour la résistance aux maladies • Etude des mécanismes de résistance		P. Lepoivre J.-P. Busogoro
NRI, University of Greenwich, Grande Bretagne	Labos de phytopathologie et virologie Chambres de culture & enceintes à environnement contrôlé Microscopie électronique Serre Bibliothèque	Phytopathologistes (3) Mycologue (1) Techniciens (3) Biométéorologue (1)	• Epidémiologie	En perspective : • Dissémination anémophile de <i>M. fijiensis</i> .	P. Burt
FABI, University of Pretoria, Afrique du Sud	Premier cycle Second cycle BIOTECHNOLOGIE : Equipement de microarray Séquenceur Light-Cycler MYCOLOGIE : Microscopes optiques et électroniques Entretien de cultures Analyse génétique et moléculaire des champignons EQUIPEMENT POUR CULTURE DE PLANTES : Labo de culture de tissus Equipements pour transformation et culture d'OGM Equipement de quarantaine	Phytopathologistes (2) Mycologue (1)	• Taxonomie des champignons • Génétique des populations • Biologie moléculaire • Gestion des maladies	• Identification morphologique et moléculaire de <i>Mycosphaerella</i> spp. • Génétique des populations de <i>Mycosphaerella</i> spp.	A. Viljoen
BTI, Cornell University, USA	Labos de phytopathologie Serre & chambre climatique Equipements d'évaluation in vitro Accès à labo de culture in vitro Labo de biologie moléculaire (CAPS & microsattellites, séquenceurs, génomique)			• Outils de génétique moléculaire pour étudier les interactions hôte-pathogène • Approches génomiques pour identifier l'expression des gènes des champignons et des plantes • Développement de méthodologies de criblage à haut débit pour évaluer la pathogénicité et la virulence chez les plantes • Transformation génétique	
Institutions asiatiques représentées par le coordinateur de l'INIBAP pour l'Asie et le Pacifique et le Secrétaire exécutif de BAPNET.			• Il a été recommandé de profiter de la prochaine réunion de BAPNET pour avoir un atelier avec les participants asiatiques du groupe de travail de PROMUSA sur les cercosporioses pour définir leur programme et leurs activités.	• Incidence/sévérité des espèces de <i>Mycosphaerella</i> sur les <i>Musa</i> en Asie (morphologique) • Evaluation et caractérisation de différentes collections de matériel génétique en Asie pour la résistance contre les 3 espèces de <i>Mycosphaerella</i> • Etudes épidémiologiques chez <i>M. eumusae</i> . • Structure des populations de <i>M. eumusae</i> en utilisant les outils moléculaires et pathogénicité correspondante • Perte de rendement due aux différents agents pathogènes de <i>Mycosphaerella</i> chez <i>Musa</i>	

Projets

Le groupe a également travaillé à la rédaction de différents pré-projets pour concrétiser les différentes recommandations faites.

Dispersion anémophile des agents pathogènes de *Mycosphaerella* chez *Musa* - Etude de la dispersion anémophile de *M. fijiensis* dans des zones non infectées des Caraïbes

Partenaires potentiels

Catherine Abadie - CIRAD
Peter Burt - NRI
Henry Fagan - WIBDECO
Juliane Henderson - CRCTPP
Ronald Vargas - CORBANA

Développement d'outils de diagnostic des espèces de *Mycosphaerella* chez le bananier

Partenaires potentiels

Jean Carlier et Catherine Abadie - CIRAD
Pedro Crous - CBS
Altus Viljoen - FABI
Juliane Henderson et Elizabeth Aitken - CRCTPP
Kathy Grice et Ron Peterson - QDPI

Recherches sur la durabilité de la résistance des bananiers hybrides à *M. fijiensis*

Partenaires potentiels

Catherine Abadie - CIRAD
Mauricio Rivera - FHIA
Luis Pocasangre - INIBAP

Luis Pérez Vicente - INISAV
David Jones - Consultant, UK

Détermination de la variabilité de pathogénicité de populations de *M. fijiensis* et *M. musicola*

Partenaires potentiels

Yelenis Alvarado - IBP
Ronald Vargas - CORBANA
Laura Conde - CICY
Sergio Aponte - CORPOICA
Zilton Cordeiro - EMBRAPA
Mauricio Guzmán - CORBANA
Galileo Rivas - CATIE

Nom	Institution	Pays
Alba S. Riveros	CATIE	Costa Rica
Alice Churchill	BTI, Ithaca	Etats-Unis
Altus Viljoen	FABI	Afrique du Sud
Andres Gutierrez Rojas	CORPOICA	Colombie
Andrew James	CICY	Mexique
A. Pires de Matos	EMBRAPA	Brésil
Bob Fullerton	Hort Research	Nouvelle Zélande
Catherine Abadie	CIRAD-FLHOR	France
David Jones	Consultant	Grande Bretagne
Dieter Kaemmer	CICY	Mexique
Elizabeth Aitken	CRCTPP	Australie
Eric Fouré	CIRAD/ CARBAP	Cameroun
Fritz Elango	EARTH	Costa Rica
Galileo Rivas	CATIE	Costa Rica
Gus Molina	INIBAP	Philippines
Indra Ariyaratne	ARS	Sri Lanka
Jean Carlier	CIRAD-AMIS	France
Jean-Vincent Escalant	INIBAP	France
Jorge Sandoval	CORBANA	Costa Rica
José G. Garcia Lopez	INIFAP	Mexique

Nom	Institution	Pays
Juliane Henderson	CRCTPP	Australie
Kathy Grice	QDPI	Australie
Laura Conde	CICY	Mexique
Leticia Peraza	CICY	Mexique
Lorna Herradura	BPI	Philippines
Luis Perez Vicente	INIVIT	Cuba
Luis Pocasangre	INIBAP-CATIE	Costa Rica
Mauricio Guzman	CORBANA	Costa Rica
Mauricio Rivera	FHIA	Honduras
Moses Buregyeya	NARO	Ouganda
Peter Balint-Kurti	DNA Plant Technologies	Etats-Unis
Peter Burt	NRI	Grande Bretagne
Philippe Lepoivre	Univ. Gembloux	Belgique
R. Selvarajan	NRCB, Trichy	Inde
Ron Peterson	QDPI	Australie
Ronald Vargas	CORBANA	Costa Rica
Sergio Aponte	CORPOICA	Colombie
W. Tushemereirwe	NARO	Ouganda
Yelenis Alvarado	IBP, Santa Clara	Cuba
Zilton Cordeiro	EMBRAPA	Brésil

PROMUSA : inauguration du groupe de travail sur le charançon du bananier

2 mars 2002, Tenerife, Iles Canaries, Espagne

Origine de PROMUSA

En introduction, Eldad Karamura, coordinateur régional de l'INIBAP pour l'Afrique orientale et australe, a présenté PROMUSA aux participants. Il a expliqué que PROMUSA a été créé lorsque l'on a réalisé que l'amélioration génétique est la stratégie la plus durable pour résoudre la majorité des contraintes liées à la production de bananes, particulièrement pour

les petits paysans qui sont à l'origine de plus de 80% de la production globale. En conséquence, des groupes de travail par discipline ont été créés pour générer les informations complémentaires dont le groupe de travail sur l'amélioration génétique avait besoin. Il a été souligné que le fait de participer à l'agenda de recherche de PROMUSA n'empêchait pas d'autres activités de recherche sur les mêmes contraintes, comme le travail sur les phéromones chez les charançons.

Programme et résultats de la réunion

Les participants se sont mis d'accord sur les thèmes de discussion suivants:

- Structure, adhésion et financement des groupes de travail,
- Priorités de recherche pour le groupe de travail sur les charançons (apports nécessaires du

groupe de travail sur les charançons pour l'amélioration génétique),

- Gestion du groupe de travail sur les charançons.

Résultat 1 : Adhésion

- Accord sur l'appartenance actuelle dans d'autres groupes de travail
 - Groupe principal : composé de scientifiques ayant des projets actifs sur des aspects de l'amélioration génétique,
 - Appartenance générale : composé de membres travaillant sur la biologie du charançon, y compris les décideurs, et sur le transfert de technologies.
- Rôle du facilitateur du groupe : il a été accepté que le facilitateur soit responsable de la convocation des réunions, de l'échange d'informations et des liaisons avec le secrétariat de PROMUSA.

Question 1. Qui finance les coûts de fonctionnement du facilitateur, par exemple les réunions ?

Le groupe de travail, en collaboration avec l'INIBAP et au travers de PROMUSA, recherche des fonds pour les activités du groupe principal. Le plus souvent, les réunions des groupes de travail de PROMUSA ont lieu immédiatement avant ou après d'autres réunions internationales, ce qui est une manière économique d'organiser des réunions.

Résultat 2 : priorités de recherche pour l'amélioration génétique

- identifier des sources de résistance,
- développer des méthodes et des protocoles de criblage,
- se mettre d'accord sur les références/contrôles.

Les suggestions suivantes ont été faites :

- compiler et échanger les informations sur les méthodes et les contrôles. Le développement de méthodes d'échantillonnage standardisées est un préalable indispensable au développement de méthodes de criblage,
- disposer d'un protocole standard pour cribler le matériel génétique et identifier des sources de résistance,
- compiler les informations sur les mécanismes de résistance,
- évaluer la possibilité de l'existence de différences spécifiques de sites pour le mécanisme de résistance,
- développer des priorités de recherche permettant de rendre compatibles l'amélioration génétique et les autres pratiques de gestion,
- considérer le développement de priorités de recherche en relation avec la gestion intégrée des ravageurs qui contribuent à l'amélioration génétique du bananier.

Un certain nombre d'institutions, dont les recherches se situent au-delà de l'amélioration génétique, ont mis l'accent sur la possibilité de créer le groupe indépendamment de PROMUSA, craignant que celui-ci soit réduit à la seule préoccupation de l'amélioration génétique. Il a finalement été convenu qu'il y aurait un groupe de travail principal sur l'amélioration génétique, mais que les autres membres pourraient inclure les décideurs et toute personne travaillant sur les charançons (y compris sur les aspects biologie, statut du ravageur, méthodes de lutte et transfert de technologies). Il a également été suggéré de créer une liste de diffusion qui faciliterait l'échange d'informations sur tous les aspects de la recherche sur les charançons du bananier.

Le fait que PROMUSA se concentre sur l'amélioration génétique ne signifie pas que les autres activités de recherche concernant la défense des

cultures, par exemple les recherches sur les phéromones ou les entomopathogènes, soient moins importantes. Ce travail sera d'autant plus efficace si les chercheurs bénéficient de la dynamique multidisciplinaire créée par PROMUSA.

Le chemin à suivre

Formation du groupe principal – Ce groupe devrait comprendre des scientifiques qui contribuent activement à l'amélioration génétique, tels que des sélectionneurs, des chercheurs qui travaillent sur la résistance des plantes hôtes, identifient les mécanismes de résistance, testent des hybrides présentant une résistance aux charançons, s'intéressent aux sources de résistance, réalisent des études génétiques pertinentes, s'intéressent à l'amélioration conventionnelle, aux aspects biotechnologiques et aux méthodes de criblage.

Il n'a pas été jugé nécessaire de scinder le groupe en scientifiques travaillant sur les bananiers plantain, les bananiers ou les autres types de bananiers. Pour le moment, le groupe peut inclure toutes les personnes travaillant sur des aspects de l'amélioration de tous les bananiers et bananiers plantain.

Il a été suggéré que le groupe adopte les mêmes procédures de formation du groupe que celles utilisées pour les autres groupes de travail.

Il a été convenu que :

- les membres présents à cette réunion formaient le groupe de travail,
- un facilitateur devrait être élu pour s'occuper du groupe de travail,
- le facilitateur devrait organiser une réunion au cours de l'année prochaine pour décider des activités futures.

Liste des participants

Nom	Thèmes de recherche
Cliff Gold – IITA	Gestion intégrée des ravageurs, contrôle microbien, criblage, mécanismes de résistance, collaboration avec les sélectionneurs
Roger Fogain – CARBAP	Gestion intégrée du charançon (criblage, résistance, contrôle biologique)
Consuelo Castrillon – CORPOICA	Gestion intégrée des ravageurs, criblage
Stijn Messiaen – KUL	Gestion intégrée des ravageurs, criblage
Aurelio Carnero – ICIA	Gestion intégrée des ravageurs, résistance génétique
Gloria Lobs – ICID	Inhibiteurs des protéases, évaluation post-récolte des variétés modifiées génétiquement
Schalk Schoeman – ARC-ITSC	Gestion intégrée du charançon, criblage pour des sous-types 'Cavendish'
Douglas Cubillo – CORBANA	Gestion intégrée des ravageurs, criblage
Thierry Lescot – CIRAD-FLHOR	Application de la gestion intégrée des ravageurs dans des systèmes diversifiés. Liens entre la recherche et le développement
Fernando García del Pino Univ. Autònoma Barcelona	Nématodes entomopathogènes pour la lutte biologique
Angeles Padilla – ICIA	Nématodes entomopathogènes pour la lutte biologique, régimes artificiels
Dennis Alpizar –	Costa Rica Gestion intégrée des ravageurs chez le bananier plantain, phéromones
Vincent Ochieng –	ICIPE Utilisation de la génétique pour le biotypage des charançons du bananier en relation avec la lutte contre le ravageur et la quarantaine
Prem Govender – FABI	Gestion intégrée des ravageurs dans des plantations commerciales de bananiers, groupe de pathologie actif, particulièrement en biotechnologie
Felix Ortego – CSIC	Activité/ protéines insecticides chez les insectes
Miguel Montesdeoca – ICIA	Activité/ protéases insecticides pour le charançon du bananier, phéromones
Pedro Castañera – CSIC	Activité/protéines insecticides pour contrôle des insectes
Caroline Nankanga – NARO/IITA	Gestion intégrée des ravageurs, champignons entomopathogènes pour lutte biologique contre les charançons, criblage à la ferme
Andrew Kiggundu – NARO	Utilisation de gènes étrangers pour la résistance au charançon, inhibiteurs de protéases

Apport des différents partenaires

Le CIRAD, Guadeloupe, a exprimé son désir de participer aux recherches en agronomie et biotechnologie et de coordonner les activités en Guadeloupe et à Montpellier.

Les organisations espagnoles fourniront également un appui à ce groupe de travail.

CORPOICA, Colombie, contribuera au criblage des cultivars pour la résistance aux charançons et aux nématodes du bananier. CORPOICA fournira un appui sur les méthodes de criblage et pourrait également mettre à disposition une personne travaillant sur la biotechnologie des charançons (Consuelo Castrillon).

CORBANA, Costa Rica, apportera un appui sur les méthodes de criblage et l'évaluation du

matériel génétique.

L'EMBRAPA, Brésil, n'était pas représentée mais pourrait être intéressée par l'amélioration conventionnelle, la biotechnologie et le criblage pour les stress locaux ; il faudra la contacter.

La FHIA, Honduras et l'EMBRAPA seront contactés afin de connaître leurs centres d'intérêt (Martine Fancelli).

L'ISTC, Afrique du Sud, a proposé de cribler de nouvelles variétés, particulièrement de 'Cavendish' (Schalk Schoeman). L'Université de Pretoria supervisera des étudiants conduisant des recherches sur la biotechnologie du bananier.

Le CARBAP réalisera le criblage de variétés contre les charançons, les nématodes et la cercosporiose noire (Roger Fogain).

L'IITA a un programme d'amélioration des

bananiers et bananiers plantain d'altitude. L'IITA travaille en collaboration étroite avec le NARO et les réseaux sur le bananier en Afrique orientale et occidentale. L'IITA est intéressé par les mécanismes de résistance, les méthodes conventionnelles et biotechnologiques de développement de la résistance (Cliff Gold).

Election du facilitateur

Il a été proposé que Cliff Gold de l'IITA soit choisi comme facilitateur. Il a beaucoup travaillé sur les charançons du bananier, parle anglais et espagnol et dispose de moyens de communication. Il peut facilement coordonner les activités préliminaires. Cliff Gold a donc été nommé à l'unanimité.

Résumés des articles présentés pendant la réunion

Session 1. Statut de *Cosmopolites sordidus* au niveau mondial

Etudes sur le charançon du bananier au Cameroun

R. Fogain, S. Messiaen & E. Fouré

CARBAP (Centre africain de recherches sur bananiers et plantains) P.O.Box 832, Douala, Cameroun

Au Cameroun, les bananiers et les bananiers plantain sont des cultures vivrières majeures pour une large proportion de la population. Un total de 1,7 millions de tonnes est produit chaque année. Ces cultures sont menacées par une large gamme de ravageurs et de maladies, parmi lesquels le charançon foreur du bananier (*Cosmopolites sordidus*) est l'insecte ravageur majeur. Pendant plus de six décades, des recherches ont été menées sur ce ravageur, mais l'accent a été mis sur l'essai d'insecticides pour satisfaire les besoins des plantations de bananiers à grande échelle. Ce n'est que récemment que des études sur les options de lutte intégrée ont été initiées afin de mettre en place des stratégies de lutte qui puissent également être utilisées par les fermiers dont les ressources sont limitées.

Ce rapport présente les activités réalisées sur le charançon foreur du bananier au Cameroun au cours des dix dernières années.

Distribution et dynamique des populations

Quatre espèces de charançons ont été trouvées dans les zones de production de bananes et de bananes plantain du Cameroun : *Cosmopolites sordidus* (Germar), *Polytus mellerborgi* (Boheman), *Metamasius hemipterus sericeus* (Olivier) et *M. hemipterus* (L.). *C. sordidus* semble être le seul charançon d'importance économique dans les plantations de bananier et de bananier plantain (Fogain 1994, Ysebrandt et al. 2000). L'insecte est rencontré dans toutes les zones de production de bananiers et de bananiers plantain au Cameroun (Fogain 2001). Une étude réalisée dans l'ensemble des zones

de production a montré que le pourcentage d'apparition de *C. sordidus* au Cameroun varie entre 50 et 90% et que 82,5% des paysans connaissent le problème et sont capables de reconnaître les dommages causés par le charançon (Ngamo et Fogain 1998). Les recherches sur la dynamique des populations de charançons dans deux des zones de production les plus importantes indiquent que des populations plus nombreuses sont observées entre août et septembre ; cependant, ce résultat demande confirmation.

Méthodes de lutte

Dans les plantations commerciales de bananier, l'utilisation de matériel de plantation sain, du contrôle chimique et de la gestion de l'habitat des charançons sont les méthodes les plus répandues pour contrôler les populations de charançons. Le développement de mesures de contrôle alternatives et la gestion intégrée des ravageurs sont hautement recommandés pour les petits paysans aux ressources limitées, qui sont les principaux producteurs de bananes plantain.

Lutte chimique

Au début des années 70, les populations de charançons étaient contrôlées de manière efficace grâce à la Kepone (Chlordecone) dans les plantations commerciales du Cameroun. La suppression de ce produit du marché a entraîné une augmentation significative des populations de charançons entre 1975 et 1983 à cause de l'utilisation du H.C.H. et d'autres insecticides moins efficaces comme le Dursban (chloropyrifos-éthyle) et le Primicide (pyrimiphos-éthyle) pour le contrôle des charançons (Kehe 1985). Le déclin de la production de bananes a été stoppé par l'arrivée sur le marché de la Curlone (Chlordecone) au début des années 90. Une ou deux applications par an permettaient de contrôler les populations de charançons de manière efficace. Ce produit a également été retiré du marché au début des années 90 à cause de sa dégradabilité limitée. Le Regent (fipronil) est arrivé plus tard sur le marché, permettant une lutte efficace contre les populations de charançons avec deux ou trois applications par an. Jusqu'à aujourd'hui, ce produit est le seul insecticide efficace utilisé dans les

fermes commerciales au Cameroun. Malgré tout, l'application continue de ce produit risque d'entraîner, dans un avenir proche, le développement de populations de charançons résistants. Il est donc recommandé d'alterner avec des nématicides tels que le Counter (terbuphos) et le Furadan (carbofurane) qui ont une activité insecticide et qui peuvent être utilisés quand les populations sont relativement réduites. Les seuils de traitement dans les plantations industrielles dans le département de Mounngo sont une attaque de 5% des plants (échantillonnage sur 20 plants par ha), en se basant sur la méthode d'évaluation proposée par Vilardebo (1973). D'autres insecticides ayant une activité intéressante sur les charançons sont : le tébupyrimphos, l'athiamethoxam, le cartap et l'imidaclopride.

Le contrôle chimique, s'il est planifié au moment opportun, est un moyen efficace de détruire les populations de charançons adultes dans les fermes commerciales, mais il est trop coûteux pour la majorité des fermiers dont les ressources sont limitées, et il a des effets collatéraux défavorables sur les organismes bénéfiques non ciblés. Au cours d'une étude menée dans le Sud-ouest du Cameroun, 57% des paysans disaient ne pas utiliser de pesticides (Chantelot 1993). Quarante-trois pour-cent des paysans, principalement dans des plantations associant bananiers plantain et cacaoyer, traitaient les rejets avant la plantation et 87% d'entre eux utilisaient des insecticides généralement nommés "gabaline" par les fermiers, terme qui regroupe des insecticides utilisés pour les ravageurs des arbres ou du cacaoyer tels que le lindane (HCH), le Dursban (chloropyrifos-éthyle) ou le méthylparathion. Trois pour-cent des paysans qui traitent les rejets avant la plantation utilisent un nématicide ayant des propriétés insecticides comme le Mocap (Ethoprophos), et 10% utilisent d'autres produits (Chantelot 1993). Les résultats d'une autre étude dans l'Ouest, le Sud-ouest, le Centre et le Sud du Cameroun ont révélé que seulement 11% des petits propriétaires utilisent des pesticides, que 57% n'utilisent aucun produit et que 32% utilisent des cendres parce qu'ils croient à leur rôle bénéfique contre les charançons (Ngamo et Fogain 1998).

Lutte culturale

Il est important de planter, dans un champ non infesté, du matériel de plantation sain qui peut être obtenu à partir de plantations libres de charançons ou de plants provenant de culture de tissus. Quatre-vingt-quinze pour-cent des petits propriétaires pratiquent l'épluchage des rejets avant la plantation (Chantelot 1995), mais comme la disponibilité en matériel de plantation de bonne qualité est une limitation majeure au Cameroun, des rejets infestés, de qualité médiocre, sont souvent plantés.

Les cormes résiduels dans le sol et les résidus après récolte doivent être totalement détruits afin de prévenir la multiplication des charançons. Le désherbage doit être effectué régulièrement afin d'éviter le développement d'un habitat humide favorable aux charançons. Dans les fermes des petits propriétaires, la gestion de l'habitat est négligée parce que la main d'œuvre est limitée ou que la main d'œuvre louée n'est pas suffisamment productive. Le désherbage est minimal (deux à trois fois par an) et l'application d'herbicides est rare.

L'étayage des plantes avec des bambous est pratiqué par une minorité de fermiers, bien que ce soit une pratique qui puisse être extrêmement productive avec un investissement minime. Dans une étude sur 240 bananiers plantain dans les fermes de huit petits propriétaires, réalisée de février 1997 à mars 1998, les pertes de plantes dues aux nématodes, aux charançons et au stress hydrique et nutritif étaient de 60%, dont 37% étaient liées au basculement ou de la chute (principalement au début de la saison des pluies, à cause de vents violents) et 29% à la rupture du pseudotrunc (principalement à la fin de la saison sèche à cause du stress hydrique) (Anonyme 1998).

Plus de 30% des petits propriétaires utilisent les cendres du foyer à la plantation parce qu'ils croient qu'elles réduisent les dommages faits aux cormes (Ngamo et Fogain 1998). On ne sait pas clairement si les cendres ont un effet insecticide ou plutôt un effet fertilisant. En conditions de laboratoire, les cendres ont un effet répulsif sur des *C. sordidus* adultes, mais la toxicité pour les adultes est relativement réduite (Messiaen 1999).

Dans les plantations commerciales de bananier, les plants sont renouvelés tous les cinq ou six ans. Pendant la période de jachère, les cormes résiduels sont généralement détruits par les paysannes qui utilisent la jachère pour la production de cultures alimentaires. Les plants issus de culture de tissus sont traités avec du Regent5G (fipronil) ou du Counter10G (terbufos) à la plantation et deux ou trois fois par an. L'entretien des cultures (désherbage, application d'herbicides, arrachage des pseudotruncs résiduels et des mâts abattus) ainsi que l'étayage et l'amarrage sont couramment pratiqués.

Lutte biologique

Au CARBAP, les recherches sur la lutte biologique avec le champignon entomogène *Beauveria bassiana* ont commencé en 1994 avec la découverte de souches locales au Cameroun (Fogain 1994). Depuis, des études ont été réalisées en conditions contrôlées pour tester l'efficacité des souches et la possibilité de leur production en masse pour des essais en champ.

Trois souches de *B. bassiana*, isolées de charançons infectés, ont causé une mortalité de 92% après neuf jours en conditions de laboratoire. Des recherches sont en cours sur le maintien de la viabilité en relation avec des systèmes de distribution et de production en masse réalisables par des agriculteurs ou des agents économiques au Cameroun. Des nématodes entomopathogènes ont été isolés à partir d'échantillons de sol collectés au Cameroun en utilisant des larves de *C. sordidus*.

Utilisation de produits botaniques

Le trempage des rejets dans une solution de semences de neem (*Azadirachta indica*) à 20% à la plantation protège les jeunes rejets pendant plusieurs mois d'une attaque de charançons, mais une application sur la couronne de 100 g trois fois par an n'est pas efficace pour réduire les dommages causés par les charançons (Fogain et Ysenbrandt 1998). Ceci peut être expliqué par la réduction de l'oviposition à cause son effet répulsif sur les charançons adultes et par le blocage de la ponte des œufs (Messiaen 1999).

Piégeage

Le piégeage avec des pièges sur le pseudotrunc ne réduit pas toujours les populations de charançons, ceci dépendant de plusieurs facteurs : système de culture, immigration des charançons depuis des lots voisins infestés, nombre de pièges et populations initiales. Le piégeage ne semble pas être une option de lutte viable dans les conditions des petits propriétaires au Cameroun, du fait de la trop grande quantité de pseudotruncs et de main d'œuvre nécessaire ainsi que de l'immigration des charançons dans les parcelles des petits propriétaires depuis les parcelles adjacentes.

L'essai d'un système de piégeage en masse avec des pièges en rampes appâtées à la sordidine, la phéromone d'agrégation produite par le mâle, a indiqué que les pièges ne sont pas suffisamment attractifs pour constituer une option de lutte valable pour les plantations industrielles de bananiers. Malgré tout, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer si l'attrait peut être amélioré par d'autres types de pièges et des kairomones (par exemple, en ajoutant des morceaux de pseudotrunc ou de corne). Dans les conditions des petits propriétaires, le système de piégeage en masse avec les phéromones ne semble pas une option viable pour contrôler les populations de charançons, du fait de problèmes de stockage et des coûts (Messiaen 2000a).

Résistance des plantes hôtes

Au CARBAP, le criblage pour la résistance au charançon du bananier a commencé en 1994, avec la découverte de la résistance au champ de 'Yangambi km5' et de la sensibilité élevée de clones du sous-groupe des plantains (*Musa AAB*) par comparaison avec les 'Cavendish' (*Musa AAA*) (Fogain et Price 1994). Depuis cette date, les techniques pour le criblage précoce au champ et en conditions contrôlées ont été affinées. Au cours d'un criblage récent, plus de 80 variétés ont été testées. Plusieurs variétés, incluant des hybrides du CARBAP, ont été sélectionnées pour un criblage plus poussé au champ. Les résultats des essais préliminaires indiquent qu'une grande variété de réponses à l'attaque des charançons existe entre et au sein des sous-groupes génomiques

(Messiaen 2000b) et qu'aucun génotype n'est plus sensible à l'attaque des charançons que ceux appartenant au sous-groupe des plantains. Les résultats préliminaires indiquent que cela est dû à des différences dans le développement larvaire. Si les résultats sont confirmés, il deviendra possible, à court ou moyen terme, de développer des hybrides qui seront partiellement résistants à *C. sordidus*.

Conclusions

Ces résultats indiquent que des informations significatives ont été rassemblées au cours des dix dernières années sur la distribution et la dynamique des populations de charançons. Bien que des connaissances aient été acquises sur la dynamique de *C. sordidus* dans les divisions de Fako et Mungo (littoral et Sud-ouest du Cameroun), des recherches sont nécessaires pour les autres provinces, telles que le centre et le sud, qui sont les zones majeures de plantations de bananiers au Cameroun (Anonyme 2000). L'insecte a été trouvé partout dans le pays où des bananes et des bananes plantain sont produites. Des progrès ont été faits pour élargir le spectre des insecticides, particulièrement chez les planteurs commerciaux. Plusieurs insecticides de différents groupes chimiques sont aujourd'hui disponibles et peuvent donc être utilisés en rotation pour éviter le développement de résistances à *C. sordidus*. Les résultats de l'utilisation de produits botaniques et d'agents de lutte biologique ont montré le neem (*A. indica*) et le champignon entomopathogène *B. bassiana* ont un potentiel important pour la lutte contre les charançons. Cependant, des essais au champ sont nécessaires pour confirmer les résultats en serre. Des sources de résistance au charançon ont été identifiées et les programmes de sélection peuvent maintenant les utiliser pour développer des génotypes présentant une résistance aux insectes. Les recherches sur d'autres méthodes de lutte non chimiques, telles que le contrôle culturel et l'utilisation des phéromones sont en cours.

Références

- Anonyme. 2000. Annuaire des statistiques du secteur agricole, Agri-Stat No. 006, Direction des Etudes et Projets Agricoles, Ministère de l'Agriculture, Cameroun.
- Anonyme. 1998. L'observatoire des problèmes phytosanitaires. Plantinfo (34):9-11.
- Chantelot E. 1993. Enquête diagnostic plantain dans la province du sud-ouest du Cameroun: description de l'échantillon de parcelles. Document CRBP, 40 pp.
- Fogain R. 1994. Les ravageurs des bananiers au Cameroun. INFOMUSA 3(1):19-20
- Fogain R. 2001. Nematodes and weevil of bananas and plantains in Cameroon: occurrence and host susceptibility. International Journal of Pest Management 47(3):201-205
- Fogain R. & N.S. Price. 1994. Varietal screening of some *Musa* cultivars for susceptibility to the banana borer weevil. Fruits 49(4):247-251
- Fogain R. & H. Ysenbrandt. 1998. Utilisation du neem (*Azadirachta indica*) et du champignon *Beauveria bassiana* contre le charançon noir des bananiers et plantains. Pp. 223-229 in Proceedings of the Vth Annual Conference Bioscience and Food Security.
- Kehe M. 1985. Le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus* Germar) en culture de bananiers et plantains. Proceedings of the annual reunion of WARCORP, 2-6 December, Douala, Cameroon. 9pp.

- Messiaen S. 1999. Neem (*Azadirachta indica*), wood ashes, coffee husk and hot pepper (*Capsicum* spp.) for controlling the banana weevil (*Cosmopolites sordidus*): investigations into their effect and mode of action. Technical report, CRBP, Cameroun.
- Messiaen S. 2000a. Evaluation of a pheromone baited mass trapping system of *C. sordidus* with *B. bassiana*. Technical report, CRBP, Cameroun
- Messiaen S. 2000b. Early varietal screening of *Musa* varieties for sensibility to the banana weevil: preliminary results. Technical report, CRBP, Cameroun.
- Ngamo L. & R. Fogain. 1998. Perception paysanne des problèmes phytosanitaires en culture de bananiers au Cameroun. Document CRBP, 10pp.
- Vilardebo A. 1973. Le coefficient d'infestation, critère d'évaluation du degré d'attaque des bananeraies par *Cosmopolites sordidus* Germar, le charançon noir du bananier. *Fruits* 28(6):417-426.
- Ysenbrandt H., R. Fogain, S. Messiaen & P. Sama Lang. 2000. Infestation levels of weevil species on *Musa* cultivars Grande naine (AAA) and French sombre (AAB) and subsequent plant mortality in southwest Cameroon. *African Plant Protection* 6(1):21-24.

Biologie et gestion du charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus*, en Afrique du Sud

P. Govender¹ et A. Viljoen²

¹Department of Zoology & Entomology ; ²Department of Microbiology and Plant Pathology, Forestry and Agricultural Biotechnology Institute (FABI), University of Pretoria, Pretoria, 0002, Afrique du Sud

Le charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus*, qui a été introduit en Afrique du Sud il y a 30 ans, est l'insecte ravageur le plus important du bananier. Il cause des pertes économiques dans les régions du Mpulamalanga et la côte sud du Kwazulu-Natal en Afrique du Sud. L'ensemble de cette zone représente environ 78% d'un total de 12 078 hectares en production industrielle de bananes dans les poches subtropicales d'Afrique du Sud. Le charançon a un potentiel limité pour migrer depuis sa zone de distribution actuelle, sauf s'il est transféré avec du matériel infecté. Les informations sur son cycle vital semblent correspondre à celles publiées dans la littérature ; la période totale de développement est d'environ 33 jours. Les adultes émergent pendant le printemps et la fin de l'été et leur activité nocturne s'accroît pendant ou après les épisodes pluvieux. Les femelles pondent généralement un œuf par semaine de fin août à février, mais ce nombre peut augmenter quand les conditions environnementales sont optimales et quand les densités en ravageurs sont basses. Les adultes ont une durée de vie d'environ deux ans. Bien que le nombre de charançons soit peu élevé pendant les mois d'hiver (mai à juillet), il augmente rapidement au printemps et au début de l'été (août à novembre). L'évolution du nombre de charançons est suivie grâce à des pièges sur le pseudotrunc à raison de 50 pièges/ha. Les valeurs du seuil économique varient de 1-2 adultes/piège/semaine et 10 tunnels larvaires ou plus par corme. Les charançons sont fortement attirés par les cultivars 'Williams' et 'Chinese Cavendish'. Un algorithme de recommandation provisoire a été développé pour la gestion de *C. sordidus* en Afrique du Sud. Il intègre le contrôle cultural standard, le piégeage, les luttes biologique et chimique. Deux champignons ento-

mopathogènes locaux (*Aspergillus flavus* et *Beauveria bassiana*) ont été isolés et testés en Afrique du Sud, mais leur spécificité d'hôte et leur pathogénéité nécessitent des investigations plus poussées. Divers nématicides ayant des propriétés insecticides ont été testés dans des essais en champ de taille limitée et, pour le moment, seul l'emploi d'aldicarb à 15% à raison de 2,03 à 3,00 g de produit actif/lieu de plantation est recommandé contre le charançon du bananier.

Aperçu de la recherche sur le charançon du bananier en Ouganda

C.S. Gold¹ et W.K. Tushemereirwe²

¹IITA-ESARC, P.O. Box 7878, Kampala, Ouganda; ²Ouganda NBRP, P.O. Box 7065 Kampala, Ouganda

Le charançon du bananier est une contrainte majeure à la production de bananes d'altitude d'Afrique orientale et de bananes plantain. Les larves attaquent le corme, réduisant l'absorption des nutriments et affaiblissant la stabilité de la plante. Une attaque dans des champs de bananiers nouvellement plantés peut entraîner l'échec de la production. Dans les champs établis, les dommages causés par les charançons peuvent se traduire par une réduction du poids des régimes, la perte de plants, la mort des touffes et la réduction de la durée de vie de la plantation. En Ouganda et en Tanzanie, c'est l'un des facteurs fondamentaux du déclin et de la disparition de la banane à cuire dans les zones traditionnelles de culture. L'Ouganda a classé le charançon du bananier comme la contrainte biotique la plus importante pour la production de bananes d'altitude.

Les caractéristiques marquantes de la biologie du charançon sont sa gamme d'hôtes réduite (*Musa* et *Ensete*), sa longue durée de vie (jusqu'à 4 ans), sa faible fécondité (1-3 œufs/semaine), son sexe ratio 1 : 1, son activité nocturne et ses capacités peu communes de vol et de dispersion limitée. Le charançon entre généralement dans de nouveaux champs avec du matériel de plantation infesté. Les populations augmentent avec le temps, de sorte que les problèmes liés aux ravageurs sont plus prononcés dans les plantations plus vieilles. Dans un essai en Ouganda, la perte de rendement est passée de 5% sur le plant-mère à 47% au troisième cycle. Cette baisse a été attribuée de manière égale à la perte de plantes et à la réduction de la taille des régimes. Au 7^{ème} cycle, dans un second essai, 35% des touffes étaient mortes dans les parcelles infestées par les charançons, contre 2% sur les parcelles témoins. Les pertes globales étaient de 50% pour cet essai.

Bien que les pesticides puissent être un moyen de lutte efficace, le charançon a développé une résistance à un produit chimique en Ouganda. L'IITA et le Programme national ougandais de recherches sur le bananier travaillent en étroite collaboration sur le contrôle cultural, biologique et la résistance des plantes hôtes du charançon du bananier. L'utilisation de matériel de plantation sain est un moyen efficace pour garder les plantations exemptes de charançons, mais les effets disparaissent normalement après quelques cycles de production. Une étude de piégeage

d'une durée d'un an a montré quelques résultats positifs sur la réduction des populations, mais ce mode de lutte est au-delà des moyens de la plupart des cultivateurs ougandais. Les recherches actuelles se concentrent sur l'utilisation du neem, des araignées endémiques, de la lutte microbienne (*i.e. Beauveria bassiana* et des endophytes) et sur la résistance des plantes hôtes. Les données disponibles indiquent que tous les clones de bananiers d'altitude sont sensibles au charançon. Cependant, des essais de criblage suggèrent que de nombreux clones de *Musa* résistants existent et que l'antibiose est le moyen de résistance prédominant chez ces clones.

Cosmopolites sordidus dans la Région Autonome de Madère

Luis Nuno et V. P. Ribeiro

Direção Regional de Agricultura da Regional Autónoma de Madeira - Portugal

Direcção de Serviços de Produção Agrícola/Divisão de Bananicultura, Centro de Bananicultura - Lugar de Baixo - 9360-119 Ponta do Sol - E-mail: luis.ribeiro@sra.pt

L'île de Madère est située à 32°38' de latitude nord et 16°54' de longitude ouest, à 741 km de distance de l'île de Tenerife. La bananeraie y occupe près de 850 hectares et les conditions climatiques y sont subtropicales.

Le bananier est exploité sur l'île depuis le XVII^{ème} siècle. La variété la plus cultivée est 'Pequeña enana', introduite en 1842.

On a décrit la présence de *Cosmopolites sordidus* depuis déjà de nombreuses années chez le bananier sans qu'il provoque pour autant de problèmes de grande importance. La première identification remonte au XIX^{ème} siècle.

A partir de 1992, on a commencé à installer des systèmes d'irrigation localisée et à implanter de nouvelles variétés produites *in vitro*. Dans les deux cas, on assiste alors à de fortes attaques de *C. sordidus*. Dans le cas de l'irrigation localisée, les attaques ont augmenté parce que l'on a abandonné l'usage de certaines pratiques culturales, en particulier, celle d'enterrer les déchets végétaux, qui contribuaient à contrôler le ravageur. Dans la deuxième situation, les données disponibles indiquent que *C. sordidus* attaque relativement de préférence les plantes produites *in vitro*. Et les problèmes entraînés par ces attaques, bien qu'ils existent dans toutes les plantations, surviennent davantage dans les deux circonstances mentionnées ci-dessus.

Pendant quelques années, on a utilisé comme traitement insecticide la pulvérisation de la base du pseudotrunc avec un produit comportant une base active en foxime (Baytion). On a également pulvérisé le même produit comprenant cette fois une base active en pirimifos-éthyle (Bullit). Cette méthode a dû être abandonnée à la suite de l'arrêt de la commercialisation de ces produits. L'insecticide actuellement appliqué, directement dans le sol, est de l'etoprofos (Mocap 10G). Depuis tout récemment, la lutte contre *C. sordidus* est réalisée à l'aide de pièges à phéromones produits par N.P.P. Calliope (France). Les premiers résultats sont assez encourageants.

Détection de *Cosmopolites sordidus* Germar sur l'île de Tenerife

R. Torres del Castillo et C. Méndez Hernández
ICIA, Apartado aéreo 60, 38080 La Laguna,
Tenerife, Iles Canaries, Espagne
Le Service de l'Agriculture du Gouvernement de
l'île de Tenerife (*Cabildo*) a réalisé une série de
prospections pour déterminer l'extension et le
degré d'agressivité de *Cosmopolites sordidus*
Germar. Elles ont été menées de 1996 à 2001,
en renouvelant les études tous les trois ans en
fonction de l'aire étudiée. Au cours de ces
travaux, on a pu mettre en évidence une bonne
corrélation ($R^2=0,93$) entre l'efficacité du piège en
disque double du pseudotrunc pelé et la coupe
horizontale du corme. On a également étudié la
distribution de *C. sordidus* en fonction du type
d'irrigation et de l'altitude de la plantation ainsi
que du cultivar exploité ('Pequeña enana' ou
'Gran enana'). On a comparé les différentes
études réalisées dans le temps dans la même
zone pour évaluer l'évolution de l'extension de ce
ravageur et les dommages qu'il y provoque.

Gestion du charançon du bananier au Costa Rica

Douglas Cubillo et Mauricio Guzmán.

Sección de Fitopatología y Entomología, Dirección de
Investigaciones, CORBANA S.A., Costa Rica

La lutte chimique et les pratiques culturales forment
la base de la gestion du charançon dans les plan-
tations de bananier et de bananier plantain au
Costa Rica. De façon générale, les dommages sont
plus importants sur le bananier plantain (*Musa*
AAB) que sur le bananier (*Musa* AAA) en raison
des différences de sensibilité des cultivars et des
méthodes culturales employées. On a étudié l'é-
cologie de *C. sordidus* et évalué quelques méth-
odes de contrôle chimique, biologique, éthologique
et cultural en vue de diminuer les dégâts causés
aux plantations. La combinaison de certaines de
ces méthodes pourrait constituer la meilleure alter-
native pour lutter contre *C. sordidus*.

Session 2. Contrôle du charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*

Aperçu de l'utilisation de *Beauveria bassiana* pour dans la lutte microbiologique contre le charançon du bananier en Ouganda

C.M. Nankinga¹, C.S. Gold¹ et W.
Tushemereirwe²

¹International Institute of Tropical Agriculture, Eastern and
Southern Africa Regional Centre, P.O. Box 7878, Kampala,
Ouganda ; ²National Banana Research Programme, Kawanda
Agricultural Research Institute, P.O. Box 7065, Kampala,
Ouganda

Des recherches sont conduites en Ouganda
pour évaluer le potentiel de *Beauveria*

bassiana (Balsamo) Vuillemin (Hyphomycètes)
dans la lutte microbiologique contre le charançon
du bananier, *Cosmopolites sordidus* (Germar),
(Coléoptères : Curculionidae). Depuis le début
des années 90, l'isolation, la caractérisation et
des études de pathogénéité ont conduit à la
sélection d'isolats locaux de *B. bassiana* qui ont
de bonnes caractéristiques de croissance et de
production, qui causent une mortalité de 50 à
100% des charançons en 10-21 jours après
l'inoculation, selon la virulence de l'isolat. Au
cours d'essais au champ à petite échelle conduits
au *Kawanda Agricultural Research Institute*, un
isolat de *B. bassiana* (code G41), qui montrait un
haut pouvoir pathogène contre *C. sordidus* ainsi
qu'une croissance et une sporulation supérieures
aux autres isolats a été testé. Trois méthodes de
fourniture de *B. bassiana* ont été évaluées : (i)
l'application du champignon à la surface du sol
autour de la base de la touffe, (ii) l'application du
champignon avec des pièges sur le pseudotrunc
et le collet et (iii) l'application du champignon sur
les rejets de bananiers utilisés pour la plantation.
Le traitement des rejets de bananier avec une
formulation de culture de maïs sèche de *B.*
bassiana et une formulation basée sur du sol et
du maïs (2,3 x 10¹² conidies par trou de planta-
tion), a réduit les dommages causés par le
champignon de 20-30% en huit semaines après
la plantation dans des trous creusés dans un
champ de bananiers établi depuis 2-3 ans d'un
cultivar local de bananes à cuire EAAH. Des *C.*
sordidus adultes et des larves morts présentant
une croissance de *B. bassiana* ont été observés
chez les rejets traités, indiquant une infection des
charançons à un stade immature. Quand les for-
mulations de *B. bassiana* à base de maïs et de
sol ont été appliquées près de pièges sur le
pseudotrunc et le collet, il a été observé que les
conditions d'humidité sous le piège, en plus d'at-
tirer les charançons fournissaient également un
environnement favorable pour une sporulation
supplémentaire de *B. bassiana*, et que cela per-
mettait au champignon de rester potentiellement
infectieux. Les cultures de *B. bassiana* collectées
sur des pièges en champ au cours des 5 pre-
mières semaines après application étaient haute-
ment infectieuses, causant 60-100% de mortalité
des charançons en 14 jours, mais l'infectiosité du
champignon était significativement réduite pen-
dant la saison humide, sans doute à cause de la
contamination par d'autres micro-organismes du
sol. La formulation de culture à base de maïs (2 x
10¹⁵ conidies/ha) et la formulation à base de sol
et de maïs (2 x 10¹⁴ conidies/ha), appliquées sur
le sol à la base des touffes, a réduit les popula-
tions de charançons adultes de 30-50% et les a
maintenues à des niveaux inférieurs à celles des
parcelles non traitées. Les plants traités ont mon-
tré également une réduction des dommages
causés par les charançons ? Sur ces plants,
jusqu'à 16% d'infection par *B. bassiana* étaient
observés sur les charançons morts.

Des études antérieures ont démontré qu'il existe
un bon potentiel pour l'utilisation de *B. bassiana*
dans le cadre de la lutte microbiologique contre le
charançon du bananier. L'équipe mixte, com-
posée de scientifiques de l'Institut international
d'agriculture tropicale (IITA), du Programme
national de recherche sur le bananier de
l'Organisation nationale ougandaise de
recherche agricole (NARO), de CABI Biosciences
et de l'Université de Reading, entreprend des

recherches plus poussées pour la production en
masse et la formulation de *B. bassiana* et explore
d'autres systèmes de fourniture de *B. bassiana*
pour leur intégration avec d'autres mesures de
lutte dans les conditions des agriculteurs. Les
recherches visent à développer une production
en masse économiquement viable, des systèmes
de formulation et de fourniture qui résoudre-
ront les problèmes associés à l'efficacité du champignon
en champ, sa persistance et sa transmission. Des
recherches complémentaires sur les relations
écologiques entre les charançons du bananier et
les entomopathogènes seront également entre-
prises pour comprendre les conditions dans
lesquelles *B. bassiana* a le plus de chances
d'être le plus efficace pour lutter contre le
ravageur. Des études sur le comportement du
charançon, qui pourraient influencer sur les proba-
bilités de contact de l'insecte avec le pathogène, les
biotypes dans l'espèce *C. sordidus* (qui pour-
raient montrer des niveaux différents de sensibi-
lité au pathogène) et la viabilité et sa virulence en
conditions d'aérobiose (généralement les pièges
sur le tronc) ou d'anaérobiose comme dans les sys-
tèmes de piégeage basés sur des produits chim-
iques, seront réalisées. La Fondation Rockefeller,
la DFID et le BMZ sont remerciés pour les
financements fournis pour réaliser ce travail

Les nématodes entomopatho- gènes, agents insecticides : Perspectives pour la lutte contre *Cosmopolites sordidus*

F. García del Pino

Universidad Autónoma, Barcelona, Espagne

Les nématodes entomopathogènes (*Hetero-
habditis* spp. et *Steinernema* spp.) sont utilisés
pour contrôler biologiquement différents insectes
se développant dans le sol ou dans des habitats
cryptiques. Ces nématodes sont liés de façon
symbiotique avec des bactéries du genre
Photorhabdus et *Xenorhabdus*, respectivement.
Ce sont les formes infectieuses de nématodes,
portant la bactérie à l'intérieur de leur intestin, qui
recherchent l'insecte dans le sol. Dès que le
nématode pénètre dans le corps de l'insecte, la
bactérie est libérée et s'y multiplie rapidement,
provoquant par la mort de l'insecte des conditions
favorables à la reproduction du nématode. Au
bout de deux semaines, de nouvelles formes
infectieuses de nématodes sortent du cadavre de
l'insecte en quête d'un nouvel hôte.
Actuellement, l'utilisation de nématodes ento-
mopathogènes pour lutter contre *Cosmopolites*
sordidus est considérée aujourd'hui comme une
alternative économiquement viable.
L'amélioration des techniques de production et
de formulation permet de fournir ces nématodes
à l'agriculteur pour un prix similaire voire même
inférieur à celui des insecticides chimiques. De
plus, leur application représente un moindre coût
de main d'œuvre, évite l'apparition de résistances
de l'insecte aux insecticides chimiques et n'en-
traîne pas de pollution de l'environnement.
Cependant, pour atteindre l'efficacité désirée, il
faut améliorer les techniques d'application pour
permettre aux nématodes d'infecter les insectes.
Il est donc nécessaire de sélectionner des
espèces et/ou les souches de nématodes ento-
mopathogènes adaptées à chaque situation. On

a envisagé finalement les différentes stratégies employées à l'heure actuelle pour lutter contre *C. sordidus* grâce aux nématodes entomopathogènes.

Emploi de deux insecticides-nématocides destinés à lutter contre *Cosmopolites sordidus* et *Radopholus similis* (nématode) et leur impact sur quelques variables de production du bananier 'Gran enana' dans les conditions écologiques du Costa Rica

D. Alpízar M.

Estación Experimental Los Diamantes. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Guápiles, Limón, Costa Rica. E-mail: magdiama@racsa.co.cr

Au Costa Rica, la pratique la plus courante pour contrôler *Cosmopolites sordidus* consiste à employer des insecticides-nématocides. On utilise également des pièges d'origine végétale provenant du corme ou du pseudotrunc. Enfin, l'usage de la phéromone d'agrégation Cosmolure®, introduit à la fin des années 90 pour lutter contre le charançon du bananier est devenu une nouvelle pratique culturale des plantations de bananiers et de bananiers plantain du pays.

L'objectif de cette recherche a été de comparer l'effet de l'usage ou non de deux insecticides-nématocides: le terbufos (quatre applications) et l'etoprofos (une application), dans les mêmes conditions.

Après deux ans, les résultats obtenus d'après le test "t" de Fischer (0.05) ont montré que le "poids du régime" était légèrement mais significativement supérieure dans les lots non traités et que le "nombre de nématodes (*Radopholus similis*) dans la racine fonctionnelle du rejet" était légèrement inférieur dans les lots avec traitement. Les autres variables ne différaient pas statistiquement.

Les applications d'insecticides-nématocides ont coûté 1200 \$US par hectare pour les deux ans qu'ont durés les essais.

Alternative de lutte contre *Cosmopolites sordidus* (Germar) chez le bananier plantain

A. Padilla Cubas, F. García del Pino, L.V., López Llorca et A. Carnero Hernández

ICIA, Apartado aéreo 60, 38080 La Laguna, Tenerife, Iles Canaries, Espagne

Actuellement, *Cosmopolites sordidus* (Germar) est le ravageur le plus important pour la culture du bananier plantain aux Canaries. Etant donné les résultats obtenus avec les traitements chimiques, il a été décidé de rechercher des alternatives à ce type de lutte. Pour cela, on a effectué un échantillonnage de sols, cultivés ou non, de la province de Santa Cruz de Tenerife ainsi que des organismes parasités naturellement qu'ils contiennent. Parmi ces derniers, grâce à la technique des pièges dits "*Galleria mellonella*", on a plus particulièrement recherché des nématodes et des champignons entomopathogènes.

La présence de nématodes entomopathogènes s'est révélée positive en deux points des relevés,

où l'on a isolé *Heterothabditis* spp. et *Steinernema* spp. En ce qui concerne les champignons entomopathogènes, on a obtenu des isolats des genres suivants: *Aspergillus flavus*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* et *Paecilomyces* spp. *Verticillium lecanii* a été isolé à partir de mouches blanches collectées dans différentes localités.

On a procédé à la caractérisation morphologique des champignons et étudié leur capacité de germination, de sporulation, de production de biomasse ainsi que leur comportement en fonction de différentes conditions naturelles d'humidité, de température et de pH. On a également étudié leur activité enzymatique: quitino, amylo, protéo, lipo et pectinolytique.

Au cours de cette étude, on a réalisé des essais biologiques sur "*Galleria mellonella*" et, en se fondant sur les résultats obtenus, on a inoculé *C. sordidus* en utilisant deux méthodes différentes. Enfin, l'interaction éventuelle de ces isolats avec *Fusarium oxysporum*, principal agent pathogène de la culture, a été évaluée.

Comportement de champignons entomopathogènes sur des tissus végétaux

L.V. Lopez-Llorca

Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Universidad de Alicante, Aptdo. Correos 99, 03080 Alicante, España

Nous avons étudié dans notre laboratoire l'utilisation de restes végétaux de pépinières de plantes ornementales pour produire de l'inoculum de champignons antagonistes incluant des champignons entomopathogènes.

Les graines de *Phoenix dactylifera* se sont avérées d'excellents supports pour la production de *Beauveria bassiana*. Lorsqu'on observe le substrat au microscope électronique à balayage, on constate qu'il est très poreux, ce qui permet le développement et la sporulation des champignons. La formulation à base de sol et de *B. bassiana* permet au champignon de sporuler et de vaincre la fongistase. Sur ce type de graines, *B. bassiana* survit et maintient son pouvoir pathogène dans le sol pendant une période minimum de trois mois. Au cours de bioessais, la formule a réussi à infecter un ravageur des palmiers (*Carpophilus dimidiatus*) similaire au charançon. De plus, *B. bassiana* peut coloniser les pétioles de *P. dactylifera*. Nous émettons l'hypothèse que le comportement endophytique des champignons entomopathogènes est une ressource utile dans la lutte contre des ravageurs tels que le charançon.

Recherches sur le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) au CARBAP

Eric Fouré¹, S. Messiaen¹, Roger Fogain¹ et Thierry Lescot²

¹CARBAP, B.P. 832, Douala, Cameroun; ²CIRAD-FLHOR BPA, Boulevard de la Lironde, TA50/PS4, 34 398 Montpellier Cedex 5, France

Le charançon foreur *Cosmopolites sordidus* est le ravageur le plus représenté dans les plantations bananières en Afrique. Le Centre africain de recherches sur bananiers et plantains (CARBAP,

ex CRBP, basé à Nyombé au Cameroun) conduit des recherches sur *C. sordidus*, qui se concentrent la gestion intégrée du ravageur incluant les aspects :

- résistance génétique,
- études de dynamique des populations,
- luttés biologique (incluant les effets des bio-insecticides et l'utilisation des phéromones dans les systèmes de piégeage) et chimique.

Les résultats sont présentés sur la sélection de variétés pour la résistance au charançon, l'évolution du charançon, les effets sur les plantations de bananiers plantain dans le sud-ouest du Cameroun, les meilleurs paramètres pour représenter l'infestation des champs, l'efficacité et les limites des insecticides chimiques, l'utilisation des phéromones dans les systèmes de piégeage, l'efficacité de *Beauveria bassiana* dans le sud-ouest du Cameroun et l'utilisation de plantes insecticides contre le charançon.

Recherches sur le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) au CIRAD

Christian Chabrier¹ et Thierry Lescot²

¹CIRAD-FLHOR BPA, B.P. 153, 97202 Fort de France, Martinique, France, ²CIRAD-FLHOR BPA, Boulevard de la Lironde, TA50/PS4, 34 398 Montpellier Cedex 5, France

Les recherches menées par le programme bananier, plantain et ananas (BPA) du CIRAD-FLHOR sont basées dans les Antilles françaises et dans les laboratoires centraux à Montpellier, France, avec des liens particulièrement étroits avec le CARBAP au Cameroun et des applications dans les îles de l'Océan indien.

Les recherches se concentrent sur le développement de la gestion intégrée des ravageurs selon les mêmes lignes qu'au CARBAP (voir ci-dessus).

Les résultats présentés ont trait à la combinaison de deux types de phéromones synthétiques, l'utilisation de bactéries et nématodes entomopathogènes et l'efficacité et les limites des insecticides chimiques.

Session 3. Biologie moléculaire

Résistance de génotypes de bananiers diploïdes à *Cosmopolites sordidus* (Germ. 1824) (Coléoptères : Curculionidae)

M. Fancelli, A. Souza Do Nascimento, N. Fritzon Sanches, R. Correa Caldas et S. De Oliveira E Silva

EMBRAPA, Mandioca y Fruticultura, Rua EMBRAPA s/n, Caixa Postal 007, 44380-000 Cruz das Almas, Bahia, Brésil

La résistance des plantes aux insectes est considérée comme une stratégie sûre et durable pour la lutte contre *Cosmopolites sordidus*, particulièrement dans les plantations avec des investissements faibles. Malgré l'existence de nombreuses variétés, le nombre de cultivars utilisés au Brésil est relativement restreint, ce qui rend importante l'évaluation de nouveaux géno-

types introduits et/ou générés dans les programmes d'amélioration génétique. Bien que toutes les variétés soient infectées au champ, certaines études montrent des différences entre génotypes en ce qui concerne le développement, la survie et l'attractivité pour l'oviposition. Du fait de l'expansion actuelle de la culture du bananier au Brésil et du développement de méthodologies pour la production de plantules *in vitro*, il y a un intérêt grandissant pour des variétés améliorées, incluant la résistance au charançon du bananier. Les hybrides tétraploïdes de bananier (AABB) sont obtenus en croisant des génotypes diploïdes (AA) avec des cultivars triploïdes de type Prata (Silver) et Maça (Pomme). A l'heure actuelle, un programme d'amélioration génétique des génotypes diploïdes est mené, avec pour objectif d'augmenter les rendements et la résistance aux ravageurs, raison supplémentaire pour développer un partenariat étroit avec les sélectionneurs et les généticiens pour la réalisation d'études relatives à la résistance des génotypes diploïdes au charançon du bananier.

Les objectifs de ce travail sont :

- D'évaluer les hybrides diploïdes de bananiers en relation avec *C. sordidus*
- D'étudier les mécanismes de résistance au charançon du bananier chez les génotypes diploïdes.

Méthodologie

Les génotypes suivants sont étudiés : 0304-02, 0337-02, 0323-03, 1318-01, 2803-01, 4223-03, 5012-02, 4215-02, 4279-13 et 4252-03. Ces matériels sont des hybrides diploïdes générés par le programme d'amélioration du bananier qui présentent pour la plupart une résistance à la cercosporiose noire. Des jeunes plants de ces génotypes sont placés au champ dans des trous de plantation grillagés et infestés par des charançons adultes en utilisant la méthodologie de Seshu-Reddy et Lubega (1993). Les plantes sans insectes sont placées dans les mêmes conditions afin d'obtenir des informations sur les dégâts causés par le ravageur. Le génotype 'Terra' est utilisé comme témoin de sensibilité. Les variables analysées sont les suivantes : coefficient d'infestation, nombre d'insectes présents dans les galeries, hauteur des plants, diamètre du pseudotrunc, durée jusqu'à l'émission de l'inflorescence et la récolte, poids du régime, nombre de mains, diamètre des doigts et nombre de doigts par main. En conditions de laboratoire, le développement des insectes et la non-préférence pour l'alimentation et l'oviposition seront étudiées pour les mêmes génotypes afin d'identifier les types de résistance impliqués dans les interactions charançon/bananier. Les variables liées au développement de l'insecte seront la durée et la viabilité des phases larvaires et pupes, le poids des pupes après 24 heures et le nombre d'adultes avec des défauts. En ce qui concerne la non-préférence, des tests d'attractivité et de consommation seront réalisés. Des analyses seront effectuées pour identifier la présence de substances attractives/répulsives, qui stimulent ou freinent l'alimentation. L'évaluation de la dureté du rhizome sera faite en utilisant un pénétromètre.

Références

Seshu-Reddy K.V & M.C Lubega. 1993. Evaluation of banana cultivars for resistance to tolerance of the weevil *Cosmopolites sordidus* Germar. Pp. 143-148 in Breeding banana and plantain for resistance to

diseases and pests. (J. Ganry, ed.), CIRAD/INIBAP, Montpellier, France.

Aspects de la résistance au charançon chez *Musa* et perspectives pour la transformation génétique contre le charançon du bananier

A. Kiggundu¹ et C.S. Gold²

¹National Banana Research Programme, Kawanda Agricultural Research Institute, P.O. Box 7065, Kampala, Ouganda and the Forestry and Agricultural Biotechnology Institute, University of Pretoria, 74 Lunnon Road, Hillcrest, Pretoria, 0002 Afrique du Sud ; ²Institut international d'agriculture tropicale (IITA), East and Southern Africa Regional Centre (ESARC) P.O. Box 7878, Kampala, Ouganda

Le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus* Germar) est probablement le ravageur le plus important qui affecte la production de bananes et de bananes plantain. Les attaques du charançon résultent en des pertes importantes de rendement à cause de la chute ou la rupture des plantes, de leur mort et du poids réduit des régimes (INIBAP 1986). Les pesticides sont efficaces, mais économiquement inaccessibles puisque la plupart des planteurs sont de petits producteurs de subsistance. De plus, le charançon a démontré une résistance contre une large gamme d'insecticides et, bien que le contrôle cultural puisse contribuer à la gestion du charançon, les besoins en main d'œuvre et en matériel limitent souvent son adoption (Gold 1988).

La résistance des plantes hôtes a été suggérée comme une stratégie potentielle à long terme pour la lutte contre le charançon du bananier dans les petites fermes, dans le cadre d'une perspective de gestion intégrée des ravageurs (Seshu-Reddy et Lubega 1993). Cependant, le développement de la résistance au charançon chez le bananier n'en est encore qu'à ses premiers pas et ce n'est que récemment que les programmes d'amélioration l'ont incluse comme critère d'introgession chez *Musa*. La lourdeur des méthodes à mettre en place pour le criblage de la résistance a rendu le travail sur le charançon difficile, lent et parfois coûteux. Le manque de compréhension des mécanismes de résistance et des gènes impliqués, couplé avec la longue durée des générations, la stérilité triploïde de la plupart des cultivars comestibles et la faible production de graines due à l'incompatibilité ont freiné les efforts d'amélioration conventionnelle des *Musa* pour la résistance au charançon.

La littérature disponible sur la résistance au charançon chez les *Musa* a été analysée en détails par Pavis et Lemaire (1997), Kiggundu et al. (1999) et Kiggundu (2000). Ces auteurs suggèrent que l'antibiose est le mécanisme de résistance clé. Des sources de résistance ont également été trouvées dans le matériel génétique de *Musa* testé par Fogain et Price 1994, Lemaire 1996, et Kiggundu *et al.* (sous presse).

Un essai de criblage conduit sur quatre cycles de culture à l'IITA-ESARC en Ouganda, a montré que les bananiers d'altitude d'Afrique de l'Est (AAA-EA) et les bananiers plantain (AAB) étaient les plus sensibles. Ils étaient suivis par les bananiers AAB (cvs 'Pisang awak' et 'Bluggoe'), les hybrides dérivés des bananiers diploïdes, les bananiers AB (cvs 'Ndiizi' et 'Kisubi'), les bananiers AAA (cvs 'Yangambi km5', 'Cavendish'

et 'Gros Michel') et enfin par le type sauvage AA 'Calcutta 4', qui s'est avéré le plus résistant. Il a été montré que plusieurs facteurs phénologiques contribuaient à la résistance au charançon dans les différents matériels génétiques testés. La teneur en matière sèche (représentant la dureté du corne), la production de résine/sève par le corne et la capacité à produire des rejets étaient importantes pour la résistance au charançon chez toutes les accessions. Le diamètre du corne (taille) était également un paramètre important chez les bananiers d'altitude d'Afrique de l'Est. Des recherches préliminaires sur la base biochimique de la résistance, utilisant les profils d'extraits de cornes analysés en chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) ont indiqué qu'en effet, certains composés qui étaient négativement corrélés avec les dégâts causés par le charançon, étaient présents chez certains cultivars (particulièrement ceux ayant un génome B). Ces composés étaient absents chez la plupart des cultivars sensibles étudiés.

Ortiz *et al.* (1995) ont étudié la transmission génétique de la résistance au charançon du bananier et ont trouvé que c'était un phénomène complexe sous le contrôle de plus d'un gène, avec une dominance partielle pour la sensibilité. Ils ont trouvé des effets additifs significatifs et des gènes modificateurs et des effets-dose des gènes de sensibilité, entraînant une plus grande sensibilité pour les niveaux de ploïdie plus élevés.

La combinaison de croisements conventionnels avec les techniques de biotechnologie moléculaire, telles que la sélection assistée par marqueurs (MAS) et la transformation génétique apparaît comme une option attractive pour mieux comprendre la résistance au charançon du bananier, tout en développant des cultivars résistants issus des nouvelles biotechnologies végétales. Les sources de transgènes peuvent inclure à la fois le génome du bananier lui-même ainsi que d'autres organismes du règne végétal et animal (Carozzi et Koziel 1997). Le Programme national de recherche sur le bananier du *Kawanda Agricultural Research Institute* en Ouganda, en collaboration avec l'IITA-ESARC, est intéressé par le développement d'un programme de sélection assistée par marqueurs pour identifier des marqueurs et peut-être des gènes de résistance. Le *Forestry and Agricultural Biotechnology Institute* (FABI), en Afrique du Sud est impliqué dans des études d'identification des gènes exprimés différemment pendant l'infestation par le charançon de variétés de *Musa* résistantes et sensibles. Le FABI étudie également le potentiel de l'utilisation d'inhibiteurs de protéase ou d'alpha-amylase pour la lutte transgénique contre le charançon du bananier.

La beauté du génie génétique est que des gènes de plusieurs sources peuvent être exploités pour la transformation du bananier, et qu'ils peuvent être introduits en même temps en utilisant une stratégie de pyramidage de gènes. Cependant, une quantité importante d'informations sur la nature complexe de la résistance au charançon fait encore défaut et une analyse avec les marqueurs moléculaires peut aider à accélérer l'analyse génétique et la cartographie. Des opportunités existent également pour développer rapidement la résistance au charançon au moyen de la transformation génétique.

Références

- Carozzi N. & M. Koziel (eds). 1997. Advances in insect control the role of transgenic plants. Taylor and Francis, London. 301pp.
- Fogain R. and N.S. Price. 1994. Varietal screening of some Musa cultivars for susceptibility to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae). *Fruits* 49(4):247-251.
- Gold C.S. 1998. Banana weevil: ecology pest status and prospects for integrated control with emphasis on East Africa. Pp. 49-74 in Proceedings of a Symposium on Biological Control in Tropical Habitats: Third International Conference on Tropical Entomology 30 October – 4 November 1994. (S.K. Saini, ed.). ICIPE, Nairobi, Kenya.
- INIBAP 1986. Banana Research in East Africa. Proposal for a regional research development Network. INIBAP, Montpellier, France.
- Kiggundu A., D. Vuylsteke & C.S. Gold. 1999. Recent advances in host plant resistance to banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar). Pp. 87-96 in Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa. (E. A. Frison, C.S. Gold, E.B. Karamura and R.A. Sikora, eds.). INIBAP, Montpellier, France.
- Kiggundu A. 2000. Host-plant interactions and resistance mechanisms to banana weevil *Cosmopolites sordidus* (germar) in Ugandan *Musa* germplasm. M.Sc. Thesis. University of the Orange Free State, Bloemfontain, South Africa.
- Lemaire L. 1996. Les relations sémiocchimiques chez le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) et la résistance de sa plante-hôte, le bananier. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France.
- Ortiz R., D. Vuylsteke, B. Dumpe & R.S.B. Ferris. 1995. Banana weevil resistance and corm hardness in *Musa* germplasm. *Euphytica* 86:95-102.
- Pavis C. & L. Lemaire. 1997. Resistance of *Musa* germplasm to the banana borer weevil, *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) *INFOMUSA* 5(2):3-9.
- Seshu-Reddy K.V & M.C Lubega. 1993. Evaluation of banana cultivars for resistance to tolerance of the weevil *Cosmopolites sordidus* Germar. Pp. 143-148 in Breeding banana and plantain for resistance to diseases and pests. (J. Ganry, ed.), CIRAD/INIBAP, Montpellier, France.

Diversité génétique chez le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) de différentes régions productrices de bananier

V. Ochieng

International Center for Insect Physiology and Ecology (ICIPE), PO BOX 30772, Nairobi, Kenya

La variabilité génétique de populations de charançon du bananier a été analysée dans un grand nombre d'échantillons obtenus dans 15 pays tropicaux producteurs de bananes, en utilisant la technique d'amplification aléatoire du polymorphisme de l'ADN (RAPD). L'étude a inclus 46 marqueurs RAPD. Au sein de ces marqueurs, les polymorphismes, mesurés en pourcentage de RAPD polymorphes, variaient entre 78,3 et 97,8%. La variabilité génétique a été mesurée en utilisant l'index d'information de Shannon et a été séparée en composants inter et intra-populations. Au total, la variation génétique parmi les populations de *C. sordidus* était (Hsp-Hpop)/Hsp=25,3%. La diversité génétique pour l'espèce (Hsp) était de 83,4%. La valeur moyenne intra-populations (Hpop) pour toutes les populations était de 62,3%. La diversité génétique totale était expliquée par une forte variation parmi les populations (Gst moyenne=0,213), ce qui est compatible avec les flux géniques réduits parmi les populations (Nm=0,811). La variation génétique élevée entre populations peut être expliquée par une migration limitée due à la mobilité réduite et à la monophagie des charançons du bananier. Dans une étude parallèle, l'analyse en PCR-RFLP a été utilisée pour différencier l'ADNmt CO1 de 19 populations de charançons. La méthode PCR-RFLP a produit des profils sans ambiguïté, permettant de différencier certaines populations des autres. Dans une autre étude, la variabilité génétique des populations de charançons a été analysée dans des échantillons provenant de 15 sites dans des régions de culture bananière en Ouganda. Bien que, dans ce cas, les populations aient été génétiquement très similaires, une certaine variabilité a été observée.

Alternatives de lutte contre de *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptères: Curculionidae) chez le bananier plantain

P. Castañera, F. Ortego, M. Montesdeoca Montesdeoca et A. Carnero Hernández

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, Espagne

Le charançon du bananier plantain *Cosmopolites sordidus* Germ. est considéré comme le principal ravageur du bananier plantain dans le monde. Aux

Canaries, un premier foyer apparaît en 1945 et est éradiqué. Un nouveau se déclare en 1987, et depuis, malgré toutes les mesures prises, en particulier chimiques puis culturales, le fléau s'est propagé en provoquant des dommages de plus en plus graves.

Un projet (RTA 02-100-C3), qui a débuté récemment, a pour objectif de mettre en oeuvre des stratégies de lutte intégrée contre le charançon, afin de maintenir la rentabilité de la culture tout en garantissant une moindre pollution et l'obtention d'une banane plantain "bio" et donc moins concurrencée commercialement en Europe par rapport à celles des autres pays producteurs. Les objectifs du projet sont : 1) d'optimiser l'application de phéromones pour le contrôle du charançon ; 2) d'établir la relation entre le degré de dommages provoqués par le charançon et les pertes de rendement de la culture ; 3) de déterminer les variabilités inter et intra-populations de charançons dans le cadre de la lutte biologique ; 4) de reconnaître et d'étudier l'action des organismes entomopathogènes qui affectent le charançon.

En tant que participants de ce projet, nous sommes chargés de la détermination de la variabilité inter- et intra-populations du charançon chez les populations provenant des plantations de bananiers plantain de Tenerife, de la Gomera et de La Palma afin d'apporter des réponses à des questions importantes pour son contrôle telles que l'origine de ce ravageur et sa façon de se disséminer. La détection de polymorphismes naturels des séquences d'ADN se fera par la technique des RAPDs (*randomly amplified polymorphic DNA*), conformément à la méthodologie qui a été employée pour établir la génétique des populations d'une autre espèce de *Curculionidae*, ravageur de la betterave sucrière en Andalousie (Taberner et al. 1997, *J. Mol. Evol.* 45:24-31).

Nous avons ensuite l'intention d'identifier et de caractériser les enzymes digestives du charançon et de réaliser des essais biologiques avec des inhibiteurs de protéases afin de déterminer leur effet sur la survie et le développement de ce ravageur. Ces informations sont indispensables pour l'éventuelle obtention de plantes transgéniques de bananier plantain qui exprimeraient des protéines de défense ; ce qui ouvrirait de nouvelles perspectives pour la lutte contre ce ravageur. Des études préliminaires suggèrent que, aussi bien les larves que les adultes possèdent un système protéolytique complexe où interviennent des aspartyl-, cystéine- et sérine-endo-protéases ainsi que des amino et des carboxypeptidases. Une fois la caractérisation des protéases digestives terminée, nous aborderons l'étude de leur interaction avec des inhibiteurs spécifiques afin de déterminer si des inhibiteurs ou des combinaisons d'inhibiteurs peuvent être incorporés par manipulation génétique à des bananiers potentiellement résistants au charançon.

Quatrième et dernière réunion de coordination sur la biologie cellulaire et la biotechnologie, incluant les techniques de mutation pour la création de nouveaux génotypes utiles de bananier

Un rapport résumé

Par S. Mohan Jain

FAO/IAEA Joint Division, International Atomic Energy Agency, A-1400, Box 100, Wagramerstrasse 5, Vienne, Autriche.
Email: s.m.jain@iaea.org

Les bananiers et bananiers plantain sont cultivés dans plus de 100 pays dans le monde entier avec une production annuelle de 88 millions de tonnes. La production de bananes est sévèrement limitée par plusieurs maladies et ravageurs tels que le virus du bunchy top du bananier, les nématodes foreurs (*Radopholus similis*), la maladie de Moko (*Ralstonia solanacearum*), la maladie des raies noires ou cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis*), la fusariose (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*). La FAO/IAEA a initié un Projet de recherche coordonné (PRC) sur le bananier en 1994 avec l'objectif général d'intégrer les méthodes de mutations induites par les radiations, la culture *in vitro* et la génétique moléculaire dans l'amélioration conventionnelle du bananier pour induire des variations désirables telles que la résistance aux maladies, le nanisme ou la précocité et pour promouvoir le développement de méthodes de multiplication rapide et à grande échelle des mutants/ségrégants au moyen de l'embryogenèse somatique et de la micropropagation. Le Gouvernement belge a décidé de financer ce PRC en 1996. Depuis cette date, trois réunions de recherches coordonnées (RRC) ont été tenues dans différents pays incluant l'Autriche, la Malaisie et le Sri Lanka. La quatrième et dernière RRC a eu lieu à l'Université catholique de Leuven (KULeuven), Leuven, Belgique du 24 au 28 septembre 2001. Elle comprenait un total de dix participants venant d'Autriche (FAO/IAEA), Belgique, Cuba, République tchèque, Allemagne, Israël, Mexique, Philippines et Sri Lanka. Les résultats du PRC seront publiés dans un livre intitulé "Amélioration du bananier : biologie cellulaire et moléculaire, et mutations induites".

Résultats d'ensemble

Des outils de recherche ont été développés pour la caractérisation et l'amélioration du matériel génétique au travers des mutations induites, de la cryoconservation, de l'embryogenèse somatique, de la variation somaclonale et du génie génétique. Certains des cultivars existants ont été améliorés pour leur résistance aux maladies et pour des caractères agronomiques importants. Des collaborations entre les laboratoires participants ont été établies, comprenant l'échange de personnel, la formation et le transfert de technologies.

Résultats pratiques

Les détenteurs de contrats de recherche J. Lopez Torres (Cuba), Mak Chai (Malaisie), A. James (Mexique) et J. Dolezel (République tchèque) ont obtenu d'excellents résultats au cours de ce PRC. Nicolas Roux (FAO/IAEA) a joué un rôle clé dans la dissociation du chimérisme et le développement d'un protocole de cytométrie en flux.

Plusieurs jeunes étudiants ont bénéficié de ce PRC en réalisant leurs programmes de Master ou de PhD en Israël, République tchèque et Belgique. Certains des participants ont présenté leurs résultats dans des conférences internationales. Un total de 51 articles de recherche ont été publiés dans des actes de conférence et des journaux à comité de lecture international.

De nombreux stagiaires internationaux ont reçu une formation sur divers aspects de la culture de tissus de bananier, de la cytogénétique moléculaire et des marqueurs moléculaires à KULeuven et à la Faculté universitaire des sciences agronomiques (FUSAGx) de Gembloux, Belgique, à l'*Institute of Experimental Botany* (IEB), République tchèque et à l'Université de Francfort en Allemagne. Les stagiaires venaient de Chine, de Cuba, d'Égypte, du Mexique et du Rwanda. Le résultat de ces formations a été extrêmement positif. Par exemple, un stagiaire cubain a réussi à établir de nouvelles suspensions cellulaires embryogènes de bananier à partir de matériel végétal cubain. Il a également réussi à irradier le matériel végétal à Cuba. Au Sri Lanka, 20 paysans ont reçu une formation à la technologie de culture de tissus pour la production en masse de bananiers. Une formation de troisième cycle sur l'indexation des virus des bananiers a également été organisée.

Une installation de cytométrie en flux a été établie à l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA, Nigeria) et au *Malaysian Institute for Nuclear Technology* (MINT, Malaisie). Le transfert a impliqué la formation de personnel à l'IEB et des visites d'experts.

Résultats spécifiques

1. Détection du polymorphisme de méthylation de l'ADN dans des plants de bananiers micro-propagés au moyen du polymorphisme de longueur des fragments d'amplification (AFLP).

2. Des cultures de suspensions cellulaires somatiques embryogènes (SCE) ont été développées pour plusieurs espèces de bananiers y compris des bananiers plantain (AAB). Trois techniques de cryoconservation ont été mises au point pour la conservation à long terme des

méristèmes. Un guide technique de l'INIBAP sur la cryoconservation du bananier a été publié en anglais, français et espagnol.

3. L'induction de mutations a généré une série de clones améliorés qui ont été étudiés pour différents caractères tels que la floraison précoce, la taille réduite, la grande taille des fruits et la tolérance à la fusariose.

4. Les méthodes de transformation par *Agrobacterium* et par bombardement de particules ont été utilisées pour la transformation du bananier, et le taux de transformation s'est avéré cultivar-dépendant.

5. Des procédures d'indexation de virus ont été transférées au Sri Lanka pour indexer les souches locales de virus du bananier.

6. Une technique de dépistage précoce a été développée pour la fusariose en utilisant des plants dérivés de culture de tissus dans un système à double bac.

7. Un système de sélection a été développé contre la cercosporiose noire en utilisant un extrait brut de *Mycosphaerella fijiensis*, une fraction semi-purifiée et une fraction purifiée (juglone).

8. Des techniques de criblage pour la résistance aux nématodes ont été développées pour *Musa* en ombrières et en champ. Des cultures aseptiques de *Radopholus similis* et de *Pratylenchus coffeae* ont été établies en utilisant des cals de luzerne et leur pathogénicité a été confirmée après des tests en serre.

9. La cytométrie en flux de l'ADN a été utilisée pour détecter la polyploidie, suivre la dissociation des chimères et l'analyse de la stabilité des SCE.

10. La mutagenèse des transposons a été explorée pour le marquage de gènes en utilisant un élément Ac du maïs dans le génome du bananier. Un nombre substantiel de mutants distincts ont été générés et caractérisés.

11. Un protocole d'hybridation *in situ* par fluorescence (FISH) a été développé pour *Musa* pour l'étude détaillée des caryotypes. Celui-ci permet des repères distincts sur les chromosomes, la localisation de gènes, l'analyse globale de la structure des chromosomes et le lien avec les cartes physiques et génétiques.

12. Un total de 28 marqueurs de séquences simples répétées (SSR) spécifiques d'allèles ont été générés pour *Musa* et utilisés pour détecter des polymorphismes entre les génomes A et B, identifier des hybrides et retracer le génome B dans des hybrides. Ces marqueurs sont maintenant utilisés au sein du PRC et dans le monde entier. Un total de 24 marqueurs SSR locus-spécifiques hautement polymorphes ont également été produits pour *Mycosphaerella fijiensis* pour les discriminer d'autres espèces.

Résumés des communications présentées pendant la 4^{ème} et dernière réunion de recherches coordonnées de la FAO/IAEA

Détection des changements dans la méthylation de l'ADN chez des plants de bananier micropropagés (*Musa AAA cv. 'Grande naine'*) en utilisant la technique du polymorphisme d'amplification sensible à la méthylation (MSAP)

A. James, S. Peraza-Echeverría, V. Herrera-Valencia et L. Peraza-Echeverría

Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, Mexique.

Le niveau de polymorphisme de méthylation de l'ADN a été évalué dans des tissus foliaires de bananiers (*Musa AAA cv. 'Grande naine'*) micropropagés, dérivés soit de l'apex végétatif d'un rejet ou de l'apex floral de l'inflorescence mâle en utilisant la technique du polymorphisme d'amplification sensible à la méthylation (MSAP), qui utilise la paire d'isoschizomères de restriction Msp I et Hpa II, dont la propriété de couper à la séquence 5'-CCGC-3' est affectée par l'état de méthylation des cytosines. En tout, 465 fragments, représentant chacun un site de reconnaissance coupé par l'un ou les deux isoschizomères ont été amplifiés en utilisant huit combinaisons d'amorces. Un total de 107 sites (23%) ont été trouvés méthylés au niveau de la cytosine dans le génome des plants micropropagés. Le nombre le plus élevé de polymorphismes de méthylation de l'ADN a été détecté dans les plants micropropagés issus de l'inflorescence mâle avec 14 (3%) et le plus bas dans les plants micropropagés issus des rejets avec 8 (1,7%) polymorphismes. Ces différences n'étaient pas statistiquement significatives. Dans les tissus foliaires de plants propagés de manière conventionnelle, aucun polymorphisme de méthylation de l'ADN n'a été détecté. Les plantes micropropagées étaient relativement hyperméthylées par rapport aux plantes propagées de manière conventionnelle, avec certaines bandes méthylées dans toutes les plantes micropropagées mais non-méthylées dans les plantes propagées de manière conventionnelle. Ces résultats démontrent l'utilité de la MSAP pour détecter les événements de méthylation de l'ADN chez des plants de bananier micropropagés et indiquent que des changements dans la méthylation de l'ADN sont associés à la micropropagation.

Découverte de gènes fonctionnels dans le génome de *Musa*

E. Khayat¹, A. Ilan¹, I. Regev², S. Gepstein², L. Sagji², R. Swennen³ et H. Schoofs³

¹Rahan Meristem, Dept of R&D, Kibbutz Rosh, Hanikra 22825 Israël

²Technion, Israël Institute of Technology, Faculty of Biology, Haifa 32000, Israël

³KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

Le développement de technologies de transformation et de régénération stables et reproductibles a ouvert de nouveaux horizons pour l'amélioration des bananiers et des bananiers plantain. Plusieurs stratégies de transformation ont été publiées au cours des cinq dernières années par différents biotechnologistes du bananier. La résistance aux maladies et l'amélioration de la qualité des fruits ont été les objectifs principaux de la plupart des sélectionneurs de bananiers. Cependant, malgré l'intérêt grandissant pour la biotechnologie du bananier, le pool de gènes de *Musa* dans les bases de données publiques est relativement restreint (sur les environ 300 accessions rentrées dans la base de données NCBI, moins de 25% sont des ADNc annotés). Notre laboratoire emploie à l'heure actuelle plusieurs approches pour identifier des gènes fonctionnels dans le génome de *Musa*. Ces approches incluent l'étiquetage par transposons, la mutation aléatoire à haut débit par clivage par des ribozymes des ARNm, l'hybridation soustractive suppressive (SSH) et l'annotation bioinformatique des EST agglomérés.

Nous avons inséré l'élément transposable Ac du maïs dans le génome de *Musa* et suivi l'excision et l'insertion de cet élément dans de nombreuses lignées transgéniques. Le but était d'observer la fréquence de transposition et de distribution des insertions sur les chromosomes. Les constructions que nous avons utilisées incluent un élément Ac fusionné avec un gène GUS rapporteur avec le promoteur 35S. L'analyse par PCR d'une variété de mutants a révélé que la plupart présentaient un pattern chimérique en ce qui concerne l'expression des gènes étrangers. En conséquence, seules quelques lignées transgéniques (des lignées sœurs cultivées *in vitro*) ont montré des différences détectables dans le pattern des bandes en Southern blot. Des essais ont été faits pour stabiliser l'élément Ac après un nombre limité de transpositions, en provoquant l'extinction du gène codant pour la transposase après excision.

Des gènes exprimés différemment, qui sont activés dans la phase post-climactérique de développement du fruit, ont été analysés dans la peau et la pulpe de bananes. En utilisant l'hybridation soustractive suppressive (SSH), nous avons isolé plus de 200 gènes codant pour des ADNc partiels qui sont exprimés pendant les étapes finales de développement du fruit (sénescence). Un criblage à haut débit par hybridation de membranes a été employé pour une sélection préliminaire des gènes candidats impliqués dans la régulation du démarrage de la sénescence. L'analyse de séquence et des similitudes dans les bases de données des banques de gènes ont révélé approximativement 80 clones non redondants, qui étaient surexprimés dans la phase post-climactérique. La plupart de ces gènes, mais pas tous, étaient surexprimés après exposition des fruits verts à 1000 ppm d'éthylène pendant 24 heures. Le pool d'ADNc surexprimés séquencés rentrent dans l'une des trois catégories majeures suivantes : Des gènes impliqués dans des processus

métaboliques, principalement carbohydrates et composants lipidiques,

Des gènes impliqués dans la régulation cellulaire (protéine kinases, facteurs de transcription, etc.), Des gènes impliqués dans la protection contre les pathogènes et les conditions de stress environnemental – protéines de type métallothionéine, superoxyde dismutase, protéines de type osmotine, protéines en liaison avec les pathogènes, etc.

Un nombre significatif de séquences ne montraient pas d'homologie substantielle avec des gènes fonctionnels dans les banques de gènes.

Analyse du génome de *Musa* par cytométrie en flux et cytogénétique moléculaire

J. Dolezel¹, M. Valárik¹, J. Vrána¹, J. Safár¹, E. Hribová¹, N. Gasmanová¹, I. Van den houwe², M. Doleželová¹, R. Swennen² et H. Simková¹

¹Institute of Experimental Botany, Laboratory of Molecular Cytogenetics and Cytometry, Olomouc, République tchèque

²Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

Ce projet est centré sur l'analyse du génome de *Musa* au niveau nucléaire et chromosomal, avec pour but de comprendre l'organisation globale des chromosomes de *Musa* et de caractériser les changements de structure des chromosomes au cours de la spéciation et de l'évolution des clones cultivés.

Nous avons utilisé la cytométrie en flux pour déterminer les niveaux de ploïdie des accessions de *Musa* conservées au Centre de transit de l'INIBAP (KULeuven). La mesure de la ploïdie par cytométrie en flux incluait la préparation de suspensions de noyaux intacts à partir de faibles quantités de tissus foliaires et l'analyse de l'intensité de leur fluorescence après coloration au DAPI. Des globules rouges de poulet (GRP) ont été inclus dans chaque échantillon comme standard de référence interne (Figure 1). Sur les 890 accessions analysées jusqu'à maintenant, 8,4% ont été classifiées pour la première fois et 7,6% des accessions ont montré une ploïdie différente de celle rapportée précédemment. Des plantes de ploïdie mélangée ont été détectées dans 2% des accessions. La mise au point d'un système fiable et à haut débit d'analyse de la ploïdie de *Musa* est un résultat important de l'étude. L'utilisation des noyaux de GRP a permis une analyse à haute résolution et les résultats obtenus jusqu'à maintenant ont indiqué la pertinence de ce système pour la détection rapide de l'aneuploïdie. Les matériels pour analyse ayant été envoyés par courrier express, ce travail démontre qu'il est possible d'effectuer des analyses de ploïdie par cytométrie en flux dans des laboratoires distants l'un de l'autre.

Dans un essai de caractérisation des séquences d'ADN contribuant à la structure et à l'évolution des chromosomes de *Musa*, nous avons construit des banques d'ADN génomique partielles chez *M. acuminata* et *M. balbisiana* et nous les avons criblées pour des clones portant des séquences hautement répétées, et des séquences portant des ADNr. Les clones isolés ont été caractérisés au niveau du nombre de copies, de la distribution génomique chez *M. acuminata* et *M. balbisiana* et de la similarité de séquences par rapport à des

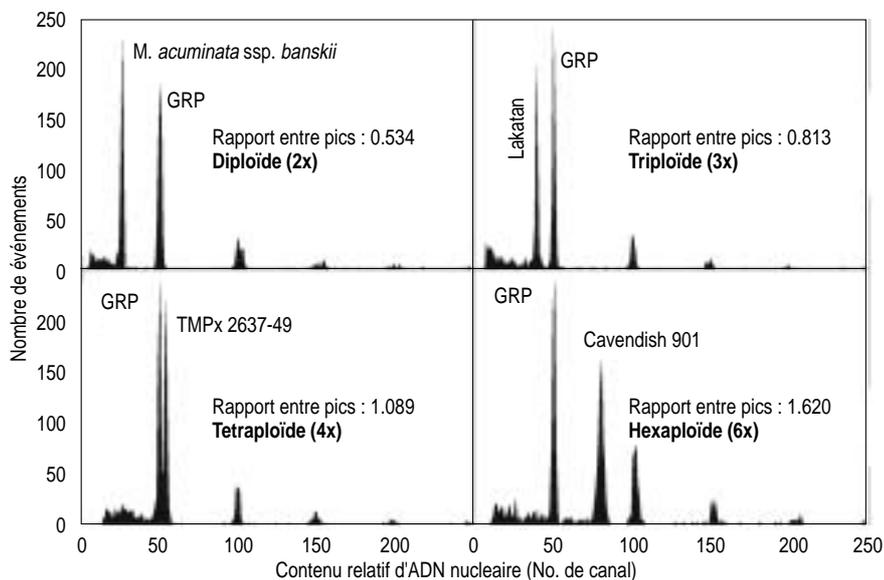


Figure 1. Exemples d'histogrammes de contenu relatif en ADN obtenus pendant l'analyse de la ploïdie des accessions de l'ITC en utilisant la cytométrie en flux. La ploïdie de plantes individuelles a été estimée en se basant sur le rapport entre les positions des pics correspondant aux noyaux G, de *Musa* et des GRP. Alors que l'analyse a confirmé la classification par ploïdie de *M. acuminata* ssp. *banksii* (ITC 0885), 'Lakatan' (ITC 0573) et TMPx 2637-49 (ITC 1196), la classification n'a pas été confirmée pour 'Cavendish 901' (ITC 0738), qui s'est révélée hexaploïde.

séquences d'ADN connues (Tableau 1). Contrairement à de nombreuses espèces végétales chez lesquelles les éléments mobiles et leurs vestiges contribuent à la majeure partie du contenu en nucléotides, nos observations indiquent que ces éléments ne représentent pas une fraction majeure du génome de *Musa*. Toutes les séquences répétitives étaient plus abondantes chez *M. acuminata*. Comme le génome de *M. acuminata* est de plus grande taille que celui de *M. balbisiana*, nos résultats démontrent que l'augmentation de taille du génome de *M. acuminata* est due à la multiplication de certaines séquences répétitives. Les résultats de cette étude améliorent notre connaissance de l'organisation globale des chromosomes de *Musa*. La disponibilité de sondes homologues pour l'hybridation par fluorescence *in situ* (FISH) permettra un marquage plus spécifique des séquences d'ADNr. Un nouveau protocole pour l'isolation d'ADN de

poïds moléculaire élevé chez *Musa* a été développé et le travail progresse pour construire une banque de chromosomes artificiels bactériens (BAC) pour le génome B de *Musa*. La disponibilité de la banque BAC permettra l'isolation de clones contenant une faible proportion d'ADN répétitif. De tels clones seront localisés en utilisant la technique FISH et ils seront utilisés pour augmenter le nombre de repères sur les chromosomes déjà existants. De plus, la banque BAC sera utilisée pour rechercher des clones qui contiennent des marqueurs moléculaires et/ou des gènes d'intérêt. Cette stratégie devrait déboucher sur l'intégration effective des cartes génétique et physique. Une fois développés, les marqueurs moléculaires localisés physiquement faciliteront le clonage basé sur la carte des gènes d'intérêt, incluant ceux induits par irradiation et mutagenèse chimique. L'étude de la ploïdie du matériel génétique de *Musa* a été partiellement financée par l'INIBAP.

Table 1. Résultats de la recherche d'homologie de séquences répétitives d'ADN récemment isolées.

Homologie avec des séquences d'ADN connues			
Clone d'ADN répétitif de <i>Musa</i>	Séquence d'ADN	N° d'accèsion dans a banque	Probabilité de la plus petite somme
Radka2	Gène d'ARN ribosomal 5S d' <i>Hordeum murinum</i>	AF096721	3×10^{-97}
Radka1	Gène d'ARN ribosomal 26S de riz	M11585	0,0
Radka7	Gène d'ARN ribosomal 26S de riz	M11585	0,0
Radka14	---	---	---
Radka5	Élément répétitif de <i>M. acuminata</i>	Y10144	6×10^{-16}
Radka8	Rétrotransposon monkey de <i>M. acuminata</i>	AF143332	3×10^{-21}
Radka9	Rétrotransposon monkey de <i>M. acuminata</i>	AF143332	3×10^{-21}
Radka3	---	---	---
Radka6	---	---	---
Radka12	---	---	---
Radka10	Clone MUSA1 (badnavirus du gonflement des pousses du cacaoyer)	AF106947	10^{-108}
Radka4	---	---	---

Analyse de mutants induits de bananiers des Philippines (*Musa acuminata*, cv. 'Lakatan' (AAA) et 'Latundan' (AAB)) et de la collection de matériel génétique d'Abaca (*Musa textilis* Nee) en utilisant des marqueurs morphologiques, RAPD, SSR et AFLP

D.M. Hautea¹, N.O. Bituin¹, H.F. Galvez¹, C. Caspillo¹, C.H. Balatero¹, R.B. Quillooy¹, E. Perez¹, G.C. Molina¹, J. Torrión¹, A.J. Jamiri², R.P. Laude³ et L. Gonzal⁴

¹Institute of Plant Breeding, CA, University of the Philippines Los Baños, Philippines

²College of Science and Mathematics, U.P. Mindanao, Philippines

³Institute of Biological Sciences, UP Los Baños, Philippines

⁴National Abaca Research Center, Visayas State College of Agriculture, Philippines

Le bananier (*Musa acuminata*) et l'abaca (*M. textilis* Nee) sont parmi les espèces de *Musa* les plus importantes cultivées aux Philippines, respectivement pour le fruit et la fibre. Ces deux plantes sont difficiles à améliorer par les méthodes conventionnelles et partagent un certain nombre de maladies communes. Ce rapport résume les efforts effectués au cours des cinq dernières années pour générer des mutants induits utiles de cultivars de bananier philippins et pour évaluer l'utilité des marqueurs de l'ADN pour caractériser les altérations du génome chez les générations avancées de mutants induits. De plus, ce rapport souligne la contribution importante faite par ce projet PRC à l'analyse de la variation génétique chez *M. textilis*, grâce à l'utilisation de certains résultats obtenus au moyen des techniques de marquage de l'ADN générés pour le bananier. Nous avons obtenu les principaux résultats suivants :

- Des générations avancées de mutants induits de deux cultivars de bananier philippins, 'Lakatan' (AAA) et 'Latundan' (AAB) avec des caractères prometteurs ont été obtenues après irradiation avec 40 Gy de rayons gamma et 3 Gy de neutrons rapides, suivie de leur manipulation par culture *in vitro* et évaluation en champ.
- Des techniques de marquage de l'ADN telles que les RAPD, SSR et AFLP ont été utilisées avec succès pour caractériser les différences génomiques entre les deux cultivars de bananier étudiés. Seules les techniques de RAPD et AFLP ont permis de détecter des altérations génomiques entre plantes non-irradiées et mutants induits chez les deux cultivars. Du fait de sa meilleure reproductibilité et de son rapport multiplex plus élevé, la technique AFLP est préférée à celle des RAPD. Cette technique a donc été utilisée pour détecter le polymorphisme entre les clones mutés originaux et les rejets dérivés. La procédure de coloration à l'argent a été utilisée en routine pour les analyses SSR et AFLP.
- Les techniques de RAPD, SSR et AFLP développées pour le bananier dans le cadre de ce projet PRC se sont révélées très facilement applicables à l'abaca. Un certain nombre d'amorces SSR développées pour le bananier ont donné des produits d'amplification en utilisant de l'ADN d'abaca. Avec un financement

complémentaire du gouvernement philippin, des analyses RAPD, SSR et AFLP ont été menées avec succès pour évaluer la variation génétique dans la collection d'abaca des Philippines. Une comparaison entre les analyses morphologiques et moléculaires a également été conduite.

Utilité des suspensions cellulaires embryogènes pour l'induction et la sélection de mutants chez *Musa spp.*

N. Roux¹, A. Toloza¹, J. Dole², R. Swennen³, P. Lepoivre⁴ et F.J. Zapata-Arias¹

¹ Plant Breeding Unit, FAO/IAEA Agriculture and Biotechnology Laboratory, International Atomic Energy Agency Laboratories, A -2444 Seibersdorf, Autriche

² Laboratory of Molecular Cytogenetics and Cytometry, Institute of Experimental Botany, Sokolovska 6, CZ-77200 Olomouc, République tchèque

³ Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

⁴ Unité de pathologie végétale, Université d'agriculture de Gembloux, Passage des déportés 2, B-5030 Gembloux, Belgique

Les techniques d'induction de mutations sont particulièrement importantes pour les bananiers et les bananiers plantain (espèces de *Musa*) chez lesquelles la reproduction sexuée, qui pourrait générer de la variation génétique, base de la sélection, est limitée. Bien que des mutations spontanées aient contribué à la diversité génétique des *Musa* et aient significativement augmenté la variation utilisée pour améliorer *Musa spp.*, leur fréquence d'apparition est trop basse. L'utilisation de la culture *in vitro* pour induire des mutations chez *Musa spp.* pourrait être une méthode de choix si plusieurs étapes du processus d'induction des mutations pouvaient être optimisées. Les aspects suivants ont été étudiés : la possibilité de détecter de l'instabilité génétique dans le contenu en ADN, la détermination d'une dose mutagène optimale, l'élimination du chimérisme et l'application d'un criblage de masse précoce pour la sélection de mutants utiles.

Avec l'utilisation accrue des cultures embryogènes pour la micropropagation du bananier, une variation somaclonale se produit chez les plantules régénérées. Cette variation pourrait interférer avec les mutations qui pourraient être obtenues par les techniques de mutation. Bien que les causes de cette instabilité chromosomique soient mal comprises, on pense que l'instabilité elle-même est l'une des causes les plus communes de variation induite par la culture de tissus. Au moyen de la cytométrie en flux, des variations dans le nombre de chromosomes ont pu être détectées parmi les plantes régénérées en culture de tissus par embryogenèse somatique. Les résultats obtenus en cytométrie en flux ont été vérifiés par comptage chromosomique dans des cellules méristématiques de pointes racinaires. Après standardisation de la méthode, les résultats ont indiqué que la cytométrie en flux était suffisamment sensible pour détecter de l'aneuploidie chez *Musa* avec une précision de ± 1 chromosome. Des anomalies dans le contenu en ADN ont pu être détectées à un stade précoce, pendant la culture *in vitro*. Pour la première fois, une suspension cellulaire embryogène (SCE) de

bananier avec cinq chromosomes manquants a été décrite.

Plusieurs études préliminaires ont été effectuées pour irradier les SCE. Les premiers tests de radiosensibilité des SCE de *Musa* ont été réalisés et on a trouvé que les suspensions cellulaires de *Musa* pouvaient tolérer jusqu'à 200 Gy. A 100 Gy, la courbe de croissance est affectée à 50% par rapport au témoin.

Lors de l'irradiation des suspensions cellulaires, des populations importantes de cellules peuvent être manipulées dans des conditions contrôlées et, si les embryons ont une origine unicellulaire, ils surmontent le problème du chimérisme. Nous avons simulé cela en traitant des SCE à la colchicine et en déterminant la ploïdie des plantes régénérées par analyse en cytométrie en flux. Le traitement à la colchicine devrait induire de la polyploïdie et de la mixoploïdie (chimérisme) si les embryons ne sont pas d'origine unicellulaire. Jusqu'à présent, aucun mixoploïde n'a été détecté parmi les plantes régénérées après traitement à la colchicine.

Une méthode de criblage précoce basée sur l'utilisation de la toxine juglone (5-hydroxy-1, 4-naphthoquinone), principale toxine responsable de l'effet global du champignon *Mycosphaerella fijiensis*, a été utilisée pour chercher de la résistance à la cercosporiose noire. Le test a été appliqué quand les plantes acclimatées avaient atteint le stade six feuilles. Une dose de 25 ppm a permis de différencier la variété tolérante 'Fougamou' de la variété sensible 'Grande naine'. Jusqu'à présent, sur les 4000 plantes de 'Grande naine' irradiées étudiées, 8 mutants putatifs ont été sélectionnés pour leur tolérance à 25 ppm de juglone. Ces plantes sont maintenant en cours d'évaluation pour leur tolérance à l'inoculation avec le champignon.

Vers les bases de la génomique de *Mycosphaerella fijiensis* et *M. musicola* : des marqueurs de l'ADN pour la diversité génétique, la structure des populations et la carte génétique des pathogènes du bananier

C.M. Molina^{1,2} et G. Kahl¹

¹ Plant Molecular Biology, Biocentre, University of Frankfurt/Main, Allemagne

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Santafé de Bogotá, D.C., Colombie

Bien que de nombreuses recherches soient aujourd'hui consacrées à la génomique du bananier, les recherches sur les deux plus sévères maladies du bananier causées par des champignons, la cercosporiose noire (agent responsable : *Mycosphaerella fijiensis*) et la cercosporiose jaune (agent responsable : *M. musicola*) sont insuffisantes. Cependant, ces deux maladies ont provoqué, provoquent et provoqueront des pertes de rendement importantes, particulièrement dans les plantations commerciales de bananiers et de bananiers plantain, mais aussi dans les champs des petits propriétaires. *M. musicola*, dont la présence a été rapportée pour la première fois à Java en 1902, s'est disséminée dans toutes les zones majeures de production en Asie, Afrique et Amérique du Sud

pendant la première moitié du siècle dernier. Dans certaines régions, elle a été remplacée par *M. fijiensis*, plus agressive, dont la présence a été rapportée dans les îles Fidji en 1962. Ces deux pathogènes ont forcé au développement de mesures de lutte, qui ont essentiellement consisté à augmenter les doses de fongicides de façon drastique et à réduire l'intervalle de temps entre les applications, mais qui ont également été basées sur l'introduction de nouvelles variétés hôtes partiellement résistantes. En réponse, les populations de pathogènes sont devenues plus agressives et partiellement résistantes aux fongicides les plus courants.

Malgré l'importance économique des champignons, des recherches systématiques sur le mécanisme d'infection, les interactions entre le pathogène et la plante hôte, les molécules produites et les gènes impliqués restaient très superficielles. Nous avons donc démarré des études plus fondamentales sur les deux pathogènes dans le but de comprendre la base moléculaire des interactions.

Une série de marqueurs microsatellites d'élite, très polymorphes (microsatellites caractérisés par deux séquences bordantes connues, STMS) a été développée pour chaque pathogène en utilisant une stratégie d'enrichissement en microsatellites. Des microsatellites du type (CAA)_n, (GAA)_n, (GA)_n, (CA)_n et (TA)_n ont été spécifiquement capturés, clonés, les clones positifs ont été identifiés par hybridation, et des amorces flanquantes des microsatellites produites avec Primer 3. Parallèlement à l'utilisation de l'amplification sélective des locus microsatellites polymorphes (SAMPL) et des empreintes génétiques des produits d'amplification de l'ADN (DAF), les STMS ont été utilisés pour étudier la variabilité génétique des deux pathogènes dans des populations de deux continents, quatre pays d'Amérique latine et cinq localités différentes en Colombie. Premièrement, tous les types de marqueurs ont généralement détecté un haut degré de polymorphisme chez les deux espèces. Deuxièmement, un petit nombre de marqueurs de n'importe quel type était suffisant pour discriminer sans équivoque deux isolats. Troisièmement, des populations distinctes peuvent être détectées et différenciées les unes des autres. Par exemple, le nombre d'haplotypes STMS s'est avéré plus élevé chez les *M. fijiensis* du Nigeria par rapport à ceux du Mexique, et les populations de *M. musicola* sont généralement plus clairement séparées les unes des autres que les populations de *M. fijiensis*, ce qui indique des flux géniques moindres. Quatrièmement, les isolats d'une région sont généralement regroupés entre eux. Cinquièmement, environ 10% des amorces développées pour un pathogène ont également pu être utilisées pour l'autre pathogène.

Les trois techniques de marquage sont utilisées pour construire et saturer une première carte génétique de *M. fijiensis* et pour étiqueter un gène de résistance aux champignons.

Variabilité génétique et phénotypique chez les *Mycosphaerella*, pathogènes du bananier

A.C.L. Churchill

Boyce Thompson Institute for Plant Research, Ithaca, NY, USA

Nous utilisons des approches de biologie moléculaire des champignons pour étudier les interac-

tions entre les pathogènes *Mycosphaerella* et leurs bananiers hôtes. Nous avons développé un système de transformation par l'ADN pour *M. fijiensis*, *M. musicola* et *M. eumusae* dans lequel des transformants génétiquement stables expriment de manière constitutive *in vitro* et *in vivo* une protéine vert fluorescent. La transformation stable est la première étape du développement d'outils pour la manipulation génétique de ces pathogènes, qui conduira à l'identification des facteurs de pathogénicité et de virulence requis pour l'infection des plantes et le développement des symptômes. Une variabilité phénotypique significative existe chez la plupart des *Mycosphaerella* pathogènes du bananier. Quand les champignons sont cultivés sur un milieu à base d'agar, les colonies isolées sont typiquement de couleur gris clair à foncé ou sont noires. Les mutants stables spontanés à pigmentation altérée ne sont pas rares. Nous avons isolé des mutants pour la pigmentation qui apparaissent être déficients pour la production de mélanine et nous avons cloné un fragment de gène présentant une haute similarité avec des gènes de champignon impliqués dans la biosynthèse de mélanine. Une caractérisation plus poussée des mutants de pigmentation est en cours. De plus, nous avons cherché à savoir si les *Mycosphaerella* pathogènes du bananier ont le potentiel de montrer une résistance différentielle aux réponses de défense des plantes, telles que la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou de produire elles-mêmes des toxines génératrices d'ERO. Nous avons déterminé que *M. musicola* produit une anthraquinone, toxine génératrice de singulets oxygène et montre une résistance accrue à une large gamme de colorants activés par la lumière, générateurs de singulets oxygène que *M. fijiensis*. Ces résultats suggèrent des différences possibles dans la manière dont les deux champignons interagissent avec le bananier. Chez *M. musicola*, la corrélation entre la production d'une toxine par la lumière, l'auto-résistance élevée à des toxines exogènes produisant des singulets oxygène photoactivés, et le développement accru de la maladie en présence de lumière est intrigante et sera examinée plus en détails. Une telle corrélation n'est pas évidente dans l'interaction entre le pathogène *M. fijiensis* et l'hôte.

Amélioration des bananiers par irradiation gamma et recherche du virus de la mosaïque des bractées du bananier (BBrMV) au Sri Lanka

W.K. Hirimburegama, W.K.G. Dias et K. Hirimburegama

Department of Botany, University of Colombo, Colombo 03, Sri Lanka.

La banane est le fruit le plus consommé au Sri Lanka, et c'est une culture fruitière attractive pour les petits paysans. Ceci est dû à sa valeur économique élevée tout au long de l'année. Ainsi, dans certaines régions, les rizières des

basses terres sont converties à la culture du bananier. Parmi les cultivars locaux, 'Embul' (Mysore, AAB) est le plus demandé pour la culture. La production annuelle de bananes est d'environ 450 000 tonnes. Jusqu'à il y a peu, la culture du bananier était limitée à des petites parcelles mais des champs de grandes dimensions sont maintenant établis. De plus en plus de riziculteurs se mettent à cultiver le bananier car le bénéfice net est environ quatre fois supérieur que pour le riz et que les besoins en main d'œuvre et autres intrants sont moindres. Au cours des six dernières années, 2 500 hectares ont été convertis à la culture du bananier (Anon. 2001, 2002). De plus, il a été noté que le niveau de nutrition dans les familles des paysans s'est amélioré grâce à une consommation accrue de fruits. Les fermiers n'utilisent généralement pas de pesticides pour la culture du bananier et ceci est bénéfique pour la santé humaine et l'environnement. Depuis 1990, les recherches sur la micropropagation du bananier par culture d'apex, les mutations induites par irradiation gamma, les suspensions cellulaires et l'embryogenèse somatique et les analyses de ploïdie pour la détection de variation ont été conduites par l'Université de Colombo. Depuis 1995, les cultivars 'Embul' et 'Cavendish' ont tous deux été inclus dans le programme d'amélioration par mutation. Après irradiation d'apex *in vitro* avec 45 Gy, deux sélections ont été faites pour une taille réduite et une fructification précoce, six mois après la plantation (Hirimburegama *et al.* 1997). Des plantes de ces sélections micropropagées ont été testées pour la stabilité de ces caractères jusqu'à la seconde génération. La technologie a été optimisée et est en cours de transfert aux paysans (Laksiri et Hirimburegama 1999). La fructification et la récolte précoces des plants de bananier micropropagés fait gagner au moins un mois par rapport aux plants cultivés de manière traditionnelle qui demandent généralement huit mois pour fleurir. Le nombre de repousses passe ainsi à

trois au lieu de deux habituellement, ce qui augmente les revenus des paysans de 25% (soit l'équivalent d'environ 350 \$US par hectare et par an).

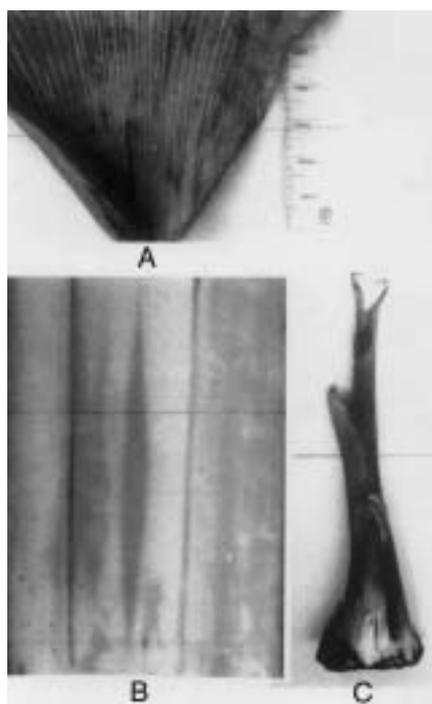
La production de plants en masse est en cours. L'indexation/criblage des plantes pour la présence de virus, i.e. le virus de la mosaïque des bractées du bananier (BBrMV) et le virus des stries du bananier (BSV) est devenu essentiel puisque des plantes-mères exemptes de virus et indexées sont nécessaires pour la micropropagation. L'agent causal de la maladie de la mosaïque des bractées du bananier a été confirmé chez la variété locale 'Embul', largement cultivée au Sri Lanka par Thomas *et al.* (1996, 1997). Cette maladie est plus courante dans les plantations qui ne sont pas gérées de manière adéquate mais son impact sur le rendement apparaît significatif.

Tous les symptômes de la maladie rapportés aujourd'hui ont été observés sur des plantes infectées au champ mais avec des degrés variés. Des marques pourpres en forme de flèche ou des rayures rouges sur le pseudotrunc en plus de stries foncées en forme de flèche sur les bractées ont été les symptômes d'infection les plus communs. Les plants matures dont les inflorescences présentaient des stries noires ou rougeâtres sur la surface externe des bractées ouvertes avaient également des stries sur le pseudotrunc. L'éclatement de la base des jeunes rejets pourrait également être dû à d'autres virus du bananier.

Une étude a été menée dans l'objectif de développer un kit bon marché de détection par DAS-ELISA. Un anti-sérum pour le BBrMV (du Queensland Department of Primary Industries - QDPI, Australie) a été testé comme anticorps de revêtement pour remplacer le composant correspondant du kit commercial Agdia. Les résultats ont montré une efficacité relativement élevée de l'anticorps du QDPI. Des travaux sont également en cours pour remplacer avec l'anticorps conjugué à l'enzyme phosphatase alcaline celui du kit en cours de test. Une fois que l'antisérum local sera produit, il est attendu que kit de diagnostic local efficace et bon marché sera développé pour l'indexation en routine des plants de bananiers pour le BBrMV. La purification de l'extrait de virus (Thomas *et al.* 1997) est un facteur limitant pour obtenir l'antigène pour le processus de production de l'anticorps.

Références

- Anon. 2000. Annual Reports, Mahaweli Authority of Sri Lanka, Colombo, Sri Lanka.
- Anon. 2001. Annual Reports, Mahaweli Authority of Sri Lanka, Colombo, Sri Lanka.
- Hirimburegama K. & N. Gamage. 1997. Cultivar specificity with respect to *in vitro* micropropagation of *Musa* spp. (bananas & plantains). *J. of Hort. Sci.* 72(2):205-211.
- Laksiri B.D.P. & K. Hirimburegama. 1999. Banana improvement in Sri Lanka through radiation induced mutation and tissue culture. *INFOMUSA* 8(2):PRO-MUSA 4:XII.
- Thomas J.E. & L.V. Magnaye. 1996. La mosaïque des bractées du bananier. *Maladies des Musa* Fiche technique No. 7. International Network for the Improvement of Banana and Plantain. Montpellier, France.
- Thomas J.E., A. Geering, C.F. Gambley, A.F. Kessling & M. White. 1997. Purification properties and diagnosis of banana bract mosaic potyvirus and its distinction from abaca mosaic potyvirus. *Phytopathology* 87(7):698-705.



Avancées et perspectives de l'amélioration génétique de bananier (*Musa spp.*) par les techniques biotechnologiques et nucléaires à l'INIVIT

J. López Torres

Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales,
Biotechnology Laboratory, Apdo 116 CP 53000 Villa Clara,
Santo Domingo, Cuba

Les bananes et les bananes plantain constituent une source importante de carbohydrates dans le régime des Cubains. Ceci est principalement dû à leurs habitudes alimentaires et à la production continue de bananes pendant l'année. Aujourd'hui, il devient urgent de développer de nouveaux cultivars de bananier, du fait des faibles rendements et des maladies (principalement la cercosporiose noire causée par le champignon *Mycosphaeraella fijiensis*). L'application à la fois des techniques biotechnologiques et nucléaires a permis de développer un système de régénération efficace et d'induire de la variabilité génétique pour la sélection précoce de mutants. Auparavant, des clones obtenus par irradiation d'apex aux rayons gamma à la dose induisant 50% de létalité, produits à Seibersdorf (Autriche) et au Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo de la Energía Nuclear (Centre d'études appliquées au développement de l'énergie nucléaire, CEADEN) à Cuba avaient été testés en conditions de champ. Des cultures de suspensions cellulaires somatiques embryogènes ont été établies et la formation d'embryons somatiques est en cours de modification avec KULeuven pour améliorer encore le taux de régénération de plants, particulièrement pour les génotypes AAB. Des évaluations préliminaires ont été réalisées pour étudier l'action d'un extrait brut de *M. fijiensis* sur des suspensions cellulaires de la variété 'Navolean' sur milieu solide ZZ. Des disques de papier filtre ont été utilisés pour tester différentes concentrations de l'extrait brut sur la croissance des cellules pour sélectionner les cultures cellulaires tolérantes à la toxine. Des études de l'effet d'un extrait brut du champignon sur l'absorption d'oxygène ont été réalisées sur le clone 'CEMSA ?', ainsi que sur des vitroplants de différents cultivars utilisés dans l'IMTP pour les études sur la cercosporiose noire. Les feuilles des vitroplants ont été traitées avec différentes concentrations d'extrait brut en solution dans de l'acétate d'éthyle en les plaçant sur des disques de tailles différentes, en commençant avec des disques de 0,28 cm². L'absorption d'oxygène a été mesurée au moyen de manomètres de Warburg. En se basant sur nos résultats, un mutant à stature ramassée ('Parecido al Rey' 6.44) a été obtenu. Quelques autres mutants ont été sélectionnés, qui étaient dans certains cas tolérants à la cercosporiose noire et avaient des rendements accrus (mutants 'Parecido al Rey' 6.32 et 'Gran Enano' 6.44 et III-2). Cependant, ces caractères étaient instables, probablement affectés par l'environnement ou les conditions de culture *in vitro*. Nous avons donc

recherché d'autres alternatives pour améliorer les taux de mutations induites, telles que les cultures de suspensions cellulaires somatiques, et des cultures en masse de cellules embryogènes somatiques ont été établies par la suite. De chaque gramma de suspensions cellulaires embryogènes, 3250 à 6625 embryons ont été obtenus avec 20,7% de germination et 95% de survie des plants lors du passage en conditions *ex vitro*.

Leur stabilité génétique est en cours d'observation en conditions de champ. L'action de l'extrait de *M. fijiensis* sur les suspensions cellulaires s'est traduit par un nombre élevé de cellules oxydées pour les concentrations d'extrait les plus élevées. Les cellules abimées étaient caractérisées par un contenu cytoplasmique compact de couleur noire en son centre, laissant un espace entre le cytoplasme et la paroi cellulaire. Après quarante cinq jours d'incubation, plus de 60% des cellules se trouvaient dans l'état décrit précédemment à cause de la diffusion de la toxine depuis les disques. Les valves d'absorption d'oxygène étaient descendues de manière normale chez les témoins de tous les cultivars de l'IMTP, et la chute maximale par rapport aux plantes non traitées était de 38,7% chez 'Yangambi km5', de 27% chez 'Calcutta 4', de 13,7% chez 'Pisang berlin' et de 20,9% chez 'Pisang liliin', alors que l'absorption d'oxygène avait augmenté de 70% chez le clone 'CEMSA ?'. Les cultivars présentant une résistance plus élevée à la cercosporiose noire montraient une tendance à une diminution de l'absorption d'oxygène ; cela est probablement dû aux tissus endommagés, plutôt qu'à un effet de toxicité du traitement avec la toxine. Les premiers embryons somatiques obtenus à partir de suspensions cellulaires irradiées sont en phase de germination et l'embryogenèse somatique est en cours de développement pour les génotypes de l'IMTP.

Cotransformation du bananier (*Musa spp.*) par *Agrobacterium*

K.Z. Ahmed*, S. Remy, R. Swennen et L. Sági

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven,
Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

*Permanent address: Department of Genetics, Faculty of Agriculture, Minia University, El-Minia, ET-61517, Egypte

L'introduction de gènes étrangers dans le génome des plantes est une technique de base pour étudier l'expression des gènes et les processus physiologiques dans les plantes ainsi que pour les programmes d'amélioration. Il y a de fortes chances pour que l'amélioration de la valeur agronomique des espèces cultivées majeures implique l'introduction de gènes multiples dont beaucoup ne produiront pas des phénotypes que l'on pourra trier parmi les produits initiaux de transformation. Les restrictions majeures des techniques de transformation actuelles sont que seul un petit nombre de gènes peut être transféré en même temps et que des gènes marqueurs doivent être utilisés pour la sélection, ce qui conduit fréquemment à des plantes transgéniques contenant des gènes indésirables de résistance aux antibiotiques.

L'objectif de cette étude était de déterminer l'efficacité de la cotransformation avec des gènes marqueurs mesurables visuellement en utilisant *Agrobacterium tumefaciens* et le bananier (*Musa spp.*). Des cultures de suspensions cellulaires de quatre cultivars ont été infectées avec deux souches différentes d'*A. tumefaciens*, portant chacune un ADN-T désarmé distinct contenant l'un de trois gènes rapporteurs [luciférase (LUC), β -glucuronidase (GUS) ou protéine vert fluorescent (GFP)] ainsi que le gène marqueur sélectionnable *neo*. Des structures multicellulaires exprimant des gènes multiples ont été récupérées et les fréquences de cotransformation ont été mesurées. La fréquence de cotransformation était plus faible que la somme de la fréquence de chaque transformation individuelle. Une corrélation négative a été trouvée entre l'expression transitoire des deux gènes marqueurs visuels introduits ensemble par cotransformation. Des différences significatives dans la fréquence de (co)transformation ont été détectées entre les cultivars de bananiers testés.

Nous prévoyons que l'utilisation simultanée de gènes rapporteurs multiples offrira une méthode pratique pour la détermination précise de la cotransformation et qu'elle contribuera à une stratégie pour la transformation multigénique. Session 5

Développements récents dans le criblage précoce *in vitro* pour la résistance contre les nématodes migrateurs endoparasitaires chez *Musa*

A. Elsen et D. De Waele

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven,
Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

Parmi les nématodes qui parasitent les bananiers dans le monde entier, *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* sont d'importants nématodes migrateurs qui causent des pertes de rendement sévères chez les cultivars commerciaux et de consommation locale. Le contrôle chimique est à l'heure actuelle la méthode la plus utilisée pour lutter contre les nématodes, bien que les nématicides soient dangereux, toxiques et coûteux. Le contrôle des nématodes au moyen de l'amélioration génétique des bananiers est largement encouragé. De nombreux cultivars de *Musa* ont été testés pour trouver de la résistance contre ces pathogènes des racines. La recherche par criblage demande beaucoup de temps parce qu'elle doit être réalisée à la fois en champ et en serre. Le criblage *in vitro* pourrait faciliter et rendre plus rapide l'incorporation du contrôle génétique des nématodes chez le bananier. Cependant, une méthode de criblage *in vitro* nécessite des cultures aseptiques de nématodes. Dans cet article, le développement de cultures aseptiques de *R. similis* et *P. coffeae* et d'une méthode de criblage *in vitro* sont discutés. Des cals de luzerne sur un milieu de White modifié se sont avérés un bon système de culture aseptique à la fois pour *R. similis* et *P. coffeae*. Bien que la reproduction soit significativement plus basse par comparaison avec des disques de carotte, ce système présente de nombreux avantages. Non seulement les nématodes sont cultivés dans des conditions d'asepsie totale, mais ce système est également moins exigeant en

main d'œuvre et il offre une production d'inoculum plus continue. De plus, la culture sur des cals de luzerne n'altère pas la pathogénicité de *R. similis* et de *P. coffeae*.

R. similis et *P. coffeae* ont pu infecter et se reproduire sur les racines de plantes de 'Grande naine' cultivées *in vitro*. Des lésions nécrotiques ont été observées sur les racines deux à trois semaines après inoculation avec les deux nématodes. Dans un dernier essai, la reproduction de *R. similis* a été étudiée *in vitro* sur six cultivars de *Musa* différents ayant une réponse comme plante hôte connue à *R. similis*. Excepté pour 'Yangambi km5', leur réponse en tant qu'hôte en conditions *in vitro* correspondait à celle observée en champ ou en serre. La sensibilité de 'Grande naine', 'Gros Michel' et 'Cachaco' a été confirmée, ainsi que la résistance de 'Pisang jari buaya' et 'SH-232'.

Evaluation de plantes transgéniques exprimant différents types de lectines pour le contrôle des nématodes

K. Carlens, A. Elsen, E. Van Damme¹, L. Sági et R. Swennen

Laboratory of Tropical Crop Improvement, Kasteelpark Arenberg 13 et ¹Laboratory for Phytopathology and Plant Protection, Willem De Croylaan 42, KULeuven, B-3001 Leuven, Belgique

Dans la grande majorité des pays africains où l'on cultive les bananes riches en amidon et les bananes plantain, les *Musa* sont d'importantes plantes de consommation courante, qui sont souvent cultivées uniquement par de petits paysans. Cela s'applique particulièrement aux bananes d'altitude à cuire et à bière en Afrique orientale et centrale. Pendant les deux dernières décades, cependant, les rendements en bananes en Afrique de l'Est ont décliné régulièrement en partie à cause d'endoparasites migrateurs ou sédentaires : le nématode foreur *Radopholus similis*, le nématode des lésions racinaires *Pratylenchus coffeae* et le nématode à galle des racines (*Meloidogyne* spp.). Avec le développement des méthodologies de transformation génétique, une méthode attractive de lutte contre ces nématodes est le transfert, dans les *Musa* ciblés, de gènes codant pour les lectines. Avant son application chez le bananier, l'effet nématocide d'un nombre de lectines ou de protéines proches des lectines a été testé pour son efficacité contre les nématodes du bananier chez *Arabidopsis thaliana* et/ou des tabacs transgéniques. Les différents systèmes de tests *in vitro* sont discutés en même temps que les résultats initiaux.

Liaison de lectines avec le nématode parasite *Radopholus similis* et son effet sur le repérage de l'hôte

N. Wuyts, A. Elsen, E. Van Damme¹, D. De Waele, R. Swennen et L. Sági

Laboratory of Tropical Crop Improvement, Kasteelpark Arenberg 13 et ¹Laboratory for Phytopathology and Plant Protection, Willem De Croylaan 42, KULeuven, B-3001 Leuven, Belgique

L'effet des lectines sur le nématode parasite

Radopholus similis a été étudié dans une série d'essais. Il a été trouvé que les lectines marquées au FITC ou à l'or colloïdal de *Canavalia ensiformis* (ConA), du blé (WGA) et de *Helix pomatia* (UPA) se liaient aux nématodes dans la région de la tête, au pore excréteur, aux pores du système reproducteur et à ceux des phasmides. La viabilité et la réponse chimiotactique vis à vis des racines des plantes après traitement des nématodes avec des lectines ont été examinées *in vitro* en analysant les traces des mouvements laissées sur l'agar dans les boîtes. L'essai comprenait six lectines végétales de cinq classes différentes et la protéine du bananier de type thaumatine. Une concentration d'1% d'agglutinine de *Phaseolus vulgaris* (PHA) a eu un effet toxique sur les femelles de *R. similis* : 68% n'ont montré aucun mouvement ou des mouvements très réduits après inoculation, par comparaison avec une moyenne de 30% pour les autres lectines et de 5% pour le traitement témoin. Une concentration de 0,05% de PHA a encore réduit la viabilité des femelles de *R. similis* de 75%. ConA et WGA n'a pas altéré la réponse chimiotactique vis à vis des racines des plantes, malgré la démonstration que ces deux lectines se liaient à *R. similis*. À l'inverse, l'agglutinine de *Galanthus nivalis* (GNA) a réduit le mouvement orienté des femelles vers les racines végétales. Enfin, les sécrétions de *R. similis* ont été colorées au bleu brillant de Coomassie. Ces sécrétions apparaissent aux amphides, au pore excréteur, à la vulve, aux spicules et aux phasmides. De plus, les nématodes traités avec la GNA produisaient des sécrétions moins abondantes.

Détection précoce de hors-types nains de bananier par analyse avec les AFLP, TE-AFLP et les MSAP

I. Engelborghs, L. Sági et R. Swennen

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

La technique des AFLP ainsi que plusieurs variantes ont été utilisées chez le bananier afin de caractériser différents phénotypes nains. Le plantain nain AAB 'Curare enano' et son hors-type de taille normale généré par culture *in vitro* ont été analysés par AFLP, TE-AFLP, MSAP, cDNA-AFLP, et cDNA-TE-AFLP. Les techniques AFLP et TE-AFLP ont également été utilisées avec quatre paires de bananiers nains spontanés et normaux. Des patterns en AFLP différentielle ont été obtenus et jusqu'à 25% de polymorphisme a été observé selon la combinaison amorce/cultivar. L'analyse en TE-AFLP a généré un nombre inférieur de fragments plus courts, ce qui n'a permis d'observer que peu de polymorphisme entre les cultivars nains et normaux. Les variants somaclonaux obtenus *in vitro* à partir du nain 'Curare enano' pourraient avoir été causés par de la méthylation induite par les conditions de culture *in vitro*. L'analyse par la technique MSAP, basée sur l'(in)sensibilité à la méthylation d'une paire d'enzymes de restriction isoschismères est apparue comme un outil efficace pour révéler une méthylation différentielle de la cytosine. Le clonage et le séquençage des fragments différentiels n'a pas révélé de correspondants significativement homologues dans les bases de données publiques. L'analyse par cDNA-AFLP entre le 'Curare enano' nain et normal a révélé un fragment spécifique du cultivar normal, alors que

l'analyse par cDNA-TE-AFLP a produit un fragment spécifique du cultivar nain. L'AFLP et les techniques dérivées ont montré leur potentiel pour différencier des génotypes très fortement reliés. Des combinaisons d'amorces supplémentaires et/ou l'altération des enzymes de restriction augmenteront nos chances de trouver plus de séquences liées au phénotype nain.

Etablissement de suspensions cellulaires embryogènes à partir de cultivars de bananiers indiens

P. Suprasanna*, B. Panis, L. Sági et R. Swennen

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

*Permanent address: Nuclear Agriculture & Biotechnology Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Bombay 400 085, Inde

Le bananier (*Musa* spp.) est une culture fruitière d'importance majeure en Inde, qui est le plus grand producteur de bananes au monde. Cependant, des maladies et ravageurs tels que les maladies de la Sigatoka noire et de Panama, le virus du bunchy top ainsi que les nématodes demeurent des menaces majeures pour la production. Les manipulations génétiques en utilisant les suspensions cellulaires embryogènes (SCE) apparaissent comme une approche adéquate pour l'amélioration génétique intégrée. Des progrès ont été faits pour le développement de protocoles pour l'établissement de SCE, et des fleurs mâles immatures ainsi que des cultures proliférantes *in vitro* ont été principalement utilisées. En particulier, les méristèmes proliférants *in vitro* ('scalps') sont un matériel de départ idéal, parce qu'ils peuvent être générés pendant toute l'année chez presque tous les cultivars. La méthode utilisée comprend une pré-culture des méristèmes proliférants sur un milieu avec une concentration de cytokinines élevée qui induit la compétence embryogène. Plusieurs cultivars indiens importants [('Robusta' (AAA), 'Basrai' (AAA), 'Shrimanthi' (AAA), 'Karpooora vallii' (ABB)] ont été employés dans cette étude pour l'induction de scalps de bonne qualité et de cals embryogènes. Parmi ces cultivars, la formation de cals embryogènes qui ont ensuite été employés pour l'établissement de SCE a été observée chez 'Robusta'. L'effet de cytokinines alternatives telles que la méta-topoline (MT, thidiazuron (TDZ) et la N-chloro-4-pyridyl-N'-phénylurée (CPPU) a également été étudié sur des méristèmes isolés de 'Cachaco' (ABB), Williams (AAA) de même que sur des scalps de 'Robusta'. Sur les méristèmes isolés ('Williams', 'Cachaco'), la CPPU a seulement permis le développement de pousses et de racines uniques, alors que l'emploi de la MT a induit la formation de cal spongieux et la prolifération. Le TDZ a principalement induit un gonflement des explants. Le TDZ s'est avéré être une meilleure cytokinine que la MT pour l'induction et l'entretien de scalps de bonne qualité. Ces derniers sont en cours d'évaluation pour l'induction embryogène. Les SCE établies seront caractérisées et utilisées pour des essais de cryoconservation et de transformation génétique.

Utilisation des techniques de RAPD, SSR et AFLP pour détecter le polymorphisme entre des parents et des rejets irradiés chez deux cultivars philippins de bananiers comestibles

D.M. Hautea, G.C. Molina, N.B. Coronado, H.F. Galvez, C.H. Balatero et R.B. Quilloy

Institute of Plant Breeding, College of Agriculture, University of the Philippines Los Baños, 4031 College, Laguna, Philippines

Ce rapport résume les résultats de nos efforts pour évaluer l'utilité des techniques de marquage de l'ADN, telles que l'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (RAPD), les microsatellites ou séquences simples répétées (SSR) et l'amplification du polymorphisme de longueur des fragments (AFLP) pour caractériser les altérations du génome chez des mutants de deux cultivars de bananiers philippins. Les mutants ont été induits chez deux des cultivars de bananiers comestibles les plus populaires des Philippines par irradiation de cultures *in vitro* d'apex aux rayons gamma et aux neutrons rapides. Les clones prometteurs ont été sélectionnés et évalués plus en détail en utilisant les marqueurs moléculaires. Chez le bananier, plusieurs techniques de marquage de l'ADN ont été utilisées pour étudier les relations génétiques entre accessions de *Musa* et pour déterminer les différences entre variants somaclonaux et mutants induits par irradiation. Dans cette étude, les techniques de RAPD, SSR et AFLP ont été utilisées avec succès dans les conditions locales et se sont révélées utiles pour caractériser les clones de bananiers irradiés et non irradiés. Les marqueurs RAPD, SSR et AFLP ont également révélé un polymorphisme suffisant pour différencier les deux cultivars utilisés. L'un des résultats les plus significatifs de ce projet CRP est le développement d'une technique de haute qualité et non radioactive de coloration à l'argent pour l'analyse des AFLP, qui peut facilement être adoptée dans les conditions de laboratoire des pays en développement. Les marqueurs AFLP ont montré à la fois une bonne reproductibilité et une capacité discriminante. Des marqueurs AFLP polymorphes ont été identifiés (Tableau 2) et ils se sont révélés utiles pour la production d'empreintes génétiques chez les bananiers et d'autres espèces de *Musa*. L'AFLP a été la seule technique de marquage testée qui ait été capable de détecter de la variation dans les profils d'ADN des clones de mutants induits, de leurs rejets de premier cycle et de clones témoins non irradiés (Figure 2), qu'on ne peut distinguer sur le plan morphologique. Les résultats indiquent que la technique AFLP est idéale et très utile à des fins de production d'empreintes par comparaison avec d'autres systèmes de marquage à cause de son rapport multiplex élevé, car plus de bandes (= loci) peuvent être observées. Bien que d'autres combinaisons d'amorces doivent être testées, ces résultats suggèrent que cette technique est potentiellement utile pour détecter des variations du génome entre cultivars et des altérations du génome chez les mutants de bananiers induits, y compris ceux montrant des phénotypes très semblables. La variation détectée entre les clones parents irradiés et les rejets suggère que le nombre de cycles de propagation végétative pour la tech-

Tableau 2. Résumé du polymorphisme détecté avec les marqueurs RFLP utilisés pour l'analyse des clones parentaux irradiés, des rejets de premier cycle et des clones non irradiés des cultivars Lakatan et Latundan.

Paires d'amorces sélectives	No. de bandes	Nombre de bandes polymorphes	% de polymorphisme
E-ACG/M-CTC	35	11	31,4
E-ACG/M-CTG	32	20	62,5
E-ACG/M-CTT	18	14	77,8
E-AGC/M-CAA	40	20	50,0
E-AGC/M-CAC	34	14	41,2
E-AGC/M-CAG	29	14	48,3
E-AGC/M-CAT	31	14	45,2
E-AGC/M-CTA	21	7	33,3
E-AGC/M-CTC	29	19	65,5
E-AGC/M-CTG	32	18	56,2
Moyenne	34	15,1	51,1

nique de culture d'apex utilisée (Novak *et al.* 1989) peut ne pas être suffisante pour complètement éliminer les chimères dans les populations mutées. Les résultats obtenus pourraient offrir des bases sûres pour rendre plus efficace l'application des techniques de mutation et de marquage moléculaire pour l'amélioration du bananier aux Philippines.

Références

- Novak F.J., R. Afza, M. Van Duren & M.S. Omar. 1989. Mutation induction by gamma irradiation of *in vitro* cultured shoot-tips of banana and plantain (*Musa cvs*). *Trop. Agric. (Trinidad)* 67 (1):21-28.

Tests d'alimentation de rats avec des bananes transgéniques exprimant un peptide antifongique de l'oignon

S. Remy, G. Flo², I. Deconinck, S. Lievens², M. Cokelaere², E. Decuyper¹, L. Sági et R. Swennen

Laboratory of Tropical Crop Improvement et ¹Laboratory of Physiology and Immunology of Domestic Animals, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique
²Subfaculteit Geneeskunde KULAK, Sabbelaan 53, Kortrijk, Pays Bas

Des plants transgéniques du bananier dessert 'Williams' contenant un gène codant pour le peptide antifongique Ace-AMP1 de l'oignon (*Allium cepa*) ont été produites par bombardement de particules pour augmenter leur tolérance aux attaques du champignon pathogène *Mycosphaerella fijiensis*. Des tests ELISA sur des extraits lyophilisés de pulpe de banane ont montré que la concentration du peptide Ace-AMP1 atteignait 0,0316% de la quantité totale de protéines solubles, soit six fois plus que le signal de base mesuré dans de la pulpe de bananes non transformées. Nous avons vérifié si ce niveau d'expression avait un effet sur des rats dont le régime alimentaire contenait de la pulpe de banane transgénique.

Alors que le contenu énergétique était comparable dans la pulpe transgénique et témoin, la matière sèche et le contenu en protéines étaient respectivement plus bas et plus élevés dans la pulpe transgénique que dans la pulpe témoin. Vingt pour cent de nourriture lyophilisée de bananes témoins et transgéniques ont été incorporés dans la nourriture habituelle des rongeurs et administrés à des rats Wistar mâles et femelles. La fourniture d'aliments transgéniques pendant six semaines n'a causé aucune différence sur l'absorption de nourriture, le taux de croissance et le poids des organes internes par rapport à l'alimentation témoin. De plus, des analyses de sang complexes n'ont révélé aucun effet sur les rats consommant les aliments contenant de la banane transgénique.

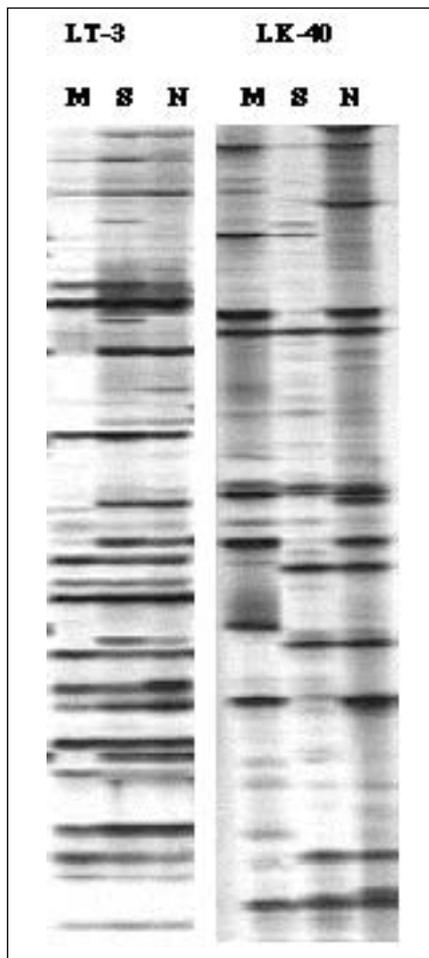


Figure 2. Empreintes AFLP de clones de bananiers irradiés (M), de rejets de premier cycle (S) et de clones non irradiés (N) des cultivars 'Latundan' (LT-3) et 'Lakatan' (LK-40).

Cryoconservation pour l'élimination de la mosaïque du concombre et de la mosaïque à tirets chez le bananier (*Musa* spp.)

B. Helliot¹ B. Panis² R. Swennen² et P. Lepoivre¹

¹Unité de pathologie végétale, Université d'agriculture de Gembloux, 5030 Gembloux, Belgique

²Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

Les bananiers et bananiers plantain (*Musa* spp.) sont menacés par divers ravageurs et maladies qui incluent des maladies virales importantes qui limitent la production de bananes et le mouvement trans-frontalier de matériel génétique. Cela retarde considérablement la distribution aux paysans de nouvelles variétés à haut rendement issues des programmes de sélection.

L'INIBAP a donc mis en place un système pour le mouvement international en sécurité de matériel génétique de *Musa*. Ce système implique que tout le matériel génétique maintenu dans la collection internationale de matériel génétique de *Musa* de l'INIBAP (basée à KULeuven, en Belgique) soit testé par différents centres d'indexation pour les virus (Afrique du Sud, Australie et France). Aujourd'hui, environ 25% de la collection, incluant un nombre significatif de variétés potentiellement importantes et améliorées, est infecté par des virus. Les virus principaux présents dans le matériel infecté sont le BSV (virus de la mosaïque à tirets mais également le CMV (virus de la mosaïque du concombre), le BBTV (virus du bunchy top du bananier), le BanMMV (virus de la mosaïque atténuée du bananier) et le BBrMV (virus de la mosaïque des bractées du bananier).

Un programme d'élimination des virus est donc mené par l'Unité de pathologie végétale (FUSAGx, Belgique) en collaboration avec le Laboratory of Tropical Crop Improvement (KULeuven, Belgique). Différentes techniques *in vitro* telles que la thérapie, la chimiothérapie, la culture de méristèmes et la cryothérapie sont expérimentées. Des plants du cultivar de bananier 'Williams BSJ' ont été naturellement infectés avec le BSV ou mécaniquement infectés avec le CMV ou BBTV. Des cultures *in vitro* proliférantes ont été produites à partir de ce matériel. Des massifs méristématiques excisés ont été cryoconservés en utilisant la technique de vitrification avec la solution PVS2. L'état d'infection du matériel régénéré a d'abord été vérifié sur des plants *in vitro* par ELISA. Le matériel putativement exempt de virus a ensuite été retesté après acclimatation en serre. Les taux d'éradication après cryoconservation pour le CMV et le BSV étaient respectivement de 30 et 90%. En comparaison, la fréquence de plants exempts de virus régénérés directement à partir de méristèmes hautement proliférants, qui reflète l'éradication spontanée, atteignait respectivement 0% et 52% pour le CMV et la BSV. La culture de méristèmes conventionnelle produisait 0% de plants exempts de CMV et 76% de plants exempts de BSV.

En conclusion, la cryoconservation semble une technique très prometteuse pour l'éradication des virus du matériel génétique de *Musa*, qui permettrait de distribuer plus rapidement le matériel génétique intéressant.

Un système ultrasensible de détection luminescente en biotechnologie du bananier : de l'étiquetage de promoteurs à l'hybridation par la technique de Southern

S. Remy, G. De Weerd, I. Deconinck, R. Swennen et L. Sági

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

L'imagerie digitale utilisant une caméra CCD refroidie devient un outil de plus en plus polyvalent pour la recherche en biotechnologie. Un système de caméra ultrasensible comprenant une caméra CCD à balayage lent refroidie à l'azote liquide connectée à un logiciel d'analyse d'image puissant est capable de détecter de très faibles signaux d'émission de lumière en provenance de plusieurs sources de signaux et est utilisé pour enregistrer les résultats dans différentes applications en biotechnologie du bananier.

Le système rapporteur le plus sensible, la luciférase bioluminescente (LUC) est utilisé pour l'étiquetage de promoteurs au moyen d'ADN-T. Puisque l'intégration du gène *luc* sans promoteur se fait au hasard, le niveau d'expression de la LUC est suboptimal chez la plupart des transformants criblés, ce qui demande une détection extrêmement sensible. Les résultats préliminaires du criblage *in vivo* de l'expression de la LUC dans plusieurs centaines de cultures de cellules avec un promoteur putativement étiqueté sont présentés.

La chimioluminescence a été pendant plusieurs années la méthode de choix dans notre laboratoire pour l'analyse d'hybridation non radioactive. Bien que l'exposition et le développement d'un film rayons X soit une technique sensible, elle est coûteuse en temps et en argent parce que de multiples expositions sont nécessaires pour l'évaluation des résultats. En plus de l'augmentation de la flexibilité et de la sensibilité de détection, les signaux peuvent être captés plus rapidement avec une caméra CCD qu'avec un film. De bons résultats peuvent être obtenus avec une seule exposition en ajustant l'échelle des gris de l'image captée, comme cela sera montré.

En plus de la luminescence, la caméra peut également détecter des signaux fluorescents, ce qui est démontré par la possibilité de suivre l'expression de la protéine vert fluorescent dans cultures de cellules transgéniques de bananier. Une démonstration de la quantification de l'intensité lumineuse par le logiciel sera réalisée.

Transformation par *Agrobacterium* et bombardement de particules d'une large gamme de cultivars de bananiers

G. Arinaitwe*, S. Remy, H. Strosse, R. Swennen et L. Sági

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

*adresse permanente : Makerere University, Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Crop Science, P.O. Box 7062 Kampala, Ouganda

La transformation génétique du bananier (*Musa* spp.) par bombardement de particules et *Agrobacterium* n'est opérationnelle que dans un petit nombre de laboratoires dans le monde. En général, il est rapporté que les fréquences de transformation sont cultivar-dépendantes. Il y a donc un besoin d'optimiser les protocoles de transformation établis pour tous les types de bananiers. Dans cette étude, les deux méthodes de transformation ont été comparées et l'effet de paramètres physiques sur la fréquence de transformation a été étudié chez quatre cultivars de bananiers : Grande naine' (AAA), 'Obino l'ewai' (AAB), 'Orishele' (AAB) et 'Three hand planty' (AAB). La fréquence de transfert d'ADN a été mesurée en suivant l'expression de la β -glucuronidase et le gène de la protéine vert fluorescent. Les résultats indiquent des différences majeures entre les deux systèmes de transformation. Une expression transitoire et stable significativement supérieure a été obtenue chez tous les cultivars de bananiers avec la méthode basée sur *Agrobacterium*. Les effets de l'âge et du volume de suspensions cellulaires ainsi que de la durée de l'infection ont été optimisés. Les cultivars ont été classés sur la base de leur compétence pour la transformation et de leur capacité de régénération. Des analyses moléculaires et biochimiques seront effectuées pour confirmer l'intégration et l'expression des transgènes dans les différents cultivars.

Cryoconservation de suspensions cellulaires embryogènes de bananier en appui à l'amélioration du bananier

B. Panis, H. Strosse, S. Remy, L. Sági et R. Swennen

Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, B-3001 Leuven, Belgique

L'initiation de cultures de suspensions cellulaires de bananiers est toujours difficile et coûteuse en temps, quel que soit le matériel de départ utilisé (fleurs mâles immatures, embryons zygotiques immatures ou méristèmes proliférants *in vitro*). La réponse embryogène est très faible et lente. En effet, pour la plupart des cultivars, moins de 1% des explants initiaux donnent un cal embryogène utilisable pour l'initiation d'une suspension cellulaire et 9 à 26 mois sont nécessaires avant de pouvoir établir une telle suspension. De plus, une fois établies, ces suspensions cellulaires sont soumises à la variation somaclonale et aux contaminations microbiennes, et une période de culture prolongée risque de conduire à une diminution et finalement à une perte totale de la capacité morphogénétique.

Jusqu'à présent, les protocoles de transformation du bananier sont basés sur les suspensions cellulaires embryogènes. Les protocoles basés sur le bombardement de particules ainsi que sur *Agrobacterium* ont conduit à la production de plantes transgéniques. L'hybridation somatique et l'électroporation de protoplastes dépendent également toutes deux de l'isolation de protoplastes capables de régénérer à partir de suspensions cellulaires. Enfin, les suspensions cellulaires embryogènes peuvent être utilisées pour la propagation en masse comme alternative aux cultures d'apex.

La conservation en sécurité de ces précieuses

suspensions au moyen de la cryoconservation est donc d'une importance critique. Une technique de cryoconservation a été développée, qui comporte la cryoprotection avec 7,5% de DMSO (diméthylsulfoxyde) et 180 g/l de saccharose, suivie par une congélation lente à 1°C/min jusqu'à -40°C et l'immersion dans l'azote liquide. Aujourd'hui, 651 cryotubes contenant des suspensions embryogènes appartenant à 48 lignées cellulaires indépendantes et 14 cultivars différents sont stockés en sécurité dans l'azote liquide pour le long terme. Récemment, des suspensions cellulaires de bananier ont été reproduites après cinq ans de stockage dans l'azote liquide. Leur capacité à produire des embryons était restée intacte. Leur compétence pour la transformation par *Agrobacterium* a également été évaluée et comparée à celle d'une suspension non cryoconservée de la même lignée cellulaire. L'expression transitoire du gène marqueur introduit ainsi que l'efficacité de la régénération de plantules transformées étaient comparables.

Événements oxydatifs induits par les métabolites de *Mycosphaerella fijiensis* chez la cercosporiose noire du bananier (*Musa spp.*) et analyse de la faisabilité d'une sélection précoce de la résistance à cette maladie

J.P. Busogoro¹, B. Panis², J. Messiaen³, P. Van Cutsem³, R. Swennen² et P. Lepoivre¹

¹Unité de Phytopathologie, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique

²Laboratory of Tropical Crop Improvement, KULeuven, Kasteelpark Arenberg 13, 3001 Leuven, Belgique

³Unité de recherche en Biologie Végétale Cellulaire, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Rue de Bruxelles 61, 5000 Namur, Belgique

Les mécanismes d'action des toxines de *M. fijiensis* dans la cercosporiose noire ou maladie des raies noires (MRN) ont été étudiés. L'acétate d'éthyle de l'extrait brut des filtrats de cultures du pathogène (EaCE) et la juglone (5-hydroxy-1,4-naphthoquinone), qui un métabolite purifié à partir d'EaCE, ont été injectés dans des feuilles de deux cultivars de bananier. Les cultivars 'Grande naine' et 'Fougamou' ont servi de références respectivement sensible et partiellement résistante. Ces bioessais ont induit des nécroses et une diminution de l'index de vitalité déterminé à partir des données de fluorescence de la chlorophylle (Lichtenthaler *et al.* 1986). Le cultivar 'Grande naine' était plus sensible que 'Fougamou' quel que soit l'essai pris en compte (induction de nécrose ou fluorescence de la chlorophylle). La dépendance à la lumière révélée par ces essais, l'effet précoce sur la fluorescence de la chlorophylle (Harelimana *et al.*

1997) et le gonflement des chloroplastes de 'Grande naine' après l'injection d'EaCE, sont des indications que les chloroplastes pourraient être une cible potentielle pour les toxines de *M. fijiensis*.

Un protocole mécanique (Leegood et Malkin 1986) pour isoler des chloroplastes physiologiquement intacts à partir des feuilles de bananier a été développé. Un nouveau bioessai basé sur l'addition de juglone à des suspensions de chloroplastes de bananier a été utilisé pour analyser l'impact des métabolites de *M. fijiensis*. En réalisant la réaction de Hill (Allen et Holmes 1986) avec les suspensions ainsi traitées pour mesurer la capacité des chloroplastes de transférer des électrons, un effet inhibiteur direct de la juglone sur cette activité physiologique a été clairement démontré. De plus, cet effet était plus important avec des chloroplastes de 'Grande naine' que de 'Fougamou'.

Puisque les chloroplastes constituent l'un des sites de production d'espèces actives de l'oxygène dans les plantes (Sutherland 1991, Foyer *et al.* 1997), leurs interactions directes avec la juglone ont conduit à une nouvelle hypothèse. Ainsi, les événements oxydatifs ont été soupçonnés d'être à l'origine de dégâts physiologiques dans les chloroplastes isolés. En fait, l'implication de métabolites de naphthoquinone fongique dans le processus oxydatif n'est pas rare (Medentsev et Akimento 1998). Leurs propriétés auto-oxydatives responsables de l'oxydation du NADH et du NADPH conduisent à la disparition de ces molécules du système de phosphorylation oxydative en tant que sources potentielles d'équivalents de réduction pour la chaîne respiratoire.

Dans le cas de la MRN, la vérification de cette hypothèse a été réalisée en considérant les interactions possibles entre la juglone et les systèmes antioxydants du bananier. Nous avons observé que la juglone cause une oxydation *in vitro* de l'acide ascorbique, l'antioxydant le plus abondant chez les plantes (Smirnoff 2000). La présence de phénomènes oxydatifs induits par ce métabolite chez le bananier a été également suivi en analysant les patterns de la superoxyde dismutase (SOD) à plusieurs intervalles de temps après l'injection de juglone dans les feuilles des deux cultivars de référence. En fait, les superoxyde dismutases sont considérées comme jouant un rôle central dans la défense contre les stress oxydatifs (Beyer *et al.* 1991, Scandalias 1993). Nos observations préliminaires ont montré qu'il existait un effet répressif sur un isoforme de la SOD chez 'Grande naine' alors qu'un effet stimulateur semblait se produire sur un autre isoforme de SOD chez 'Fougamou'. Sur la base des résultats obtenus avec les deux systèmes antioxydants analysés précédemment, on peut supposer que la juglone priverait partiellement les bananiers de leur capacité antioxydante. Des recherches complémentaires doivent être effectuées dans ce domaine afin de déterminer exactement tous les

mécanismes affectés par les métabolites du pathogène pendant le développement de la MRN.

Enfin, un premier essai de sélection *in vitro* pour la résistance à la MRN a également été réalisé. Pour cela, de la juglone à différentes concentrations a été mélangée à des suspensions cellulaires de deux lignées de 'Three hand planty' ainsi qu'à des suspensions de ces mêmes lignées contenant des embryons somatiques. Après incubation toute la nuit, le matériel a été transféré sur du milieu frais sans juglone. De façon générale, les deux matériels végétaux se sont nécrosés et n'ont montré aucune augmentation de poids pendant la période d'incubation suivant le traitement. Cependant, à partir des embryons somatiques d'une lignée traitée, quelques plantes ont été obtenues à partir de tissus qui n'étaient pas devenus nécrotiques avec 50 ppm de juglone. Ces plantes régénérées vont être évaluées pour une possible résistance à la MRN avec les bioessais décrits précédemment ainsi que par inoculation artificielle du pathogène. Ces régénérants constitueront un matériel précieux pour analyser plus en profondeur le rôle joué par les toxines de *M. fijiensis* dans le développement de la MRN.

Références

- Allen J.F. and N.G. Holmes. 1986. Electron transport and Redox Titration. Pp. 103-141 *in* Photosynthesis energy transduction. A practical approach (M.F. Hipkins and N.R. Baker, eds). IRL Press, Washington, USA.
- Beyer W., J. Imlay & I. Fridovich. 1991. Superoxide dismutase. *Prog. Nucl. Acid Res.* 40:221-53.
- Foyer C., G. Noctor & J.F. Morot-Gaudry. 1997. L'oxygène: bienfait ou danger pour les plantes? *Biofutur* 169:27-29.
- Harelimana G., P. Lepoivre, H. Hijakli & X. Mourichon. 1997. Use of *Mycosphaerella fijiensis* toxins for the selection of banana cultivars resistant to black leaf streak. *Euphytica* 96:125-128.
- Leegood R.C. & R. Malkin. 1986. Isolation of sub-cellular Photosynthetic Systems. Pp. 9-26 *in* Photosynthesis energy transduction. A practical approach. (M.F. Hipkins and N.R. Baker, eds). IRL Press, Washington, USA.
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C., Rinderle U. and Schmuck G. (1986) Application of chlorophyll fluorescence in ecophysiology. *Radiation and Environmental Biophysics* 25: 297-308.
- Medentsev A.G. & V.K. Akimenko. 1998. Naphthoquinone metabolites of the fungi. *Phytochemistry* 47:935-959
- Scandalias J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 101:7-12.
- Smirnoff N. 2000. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule. *Current Opinion in Plant Biology* 3:229-235.
- Sutherland M.W. 1991. The generation of oxygen radicals during host plant responses to infection. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 39:79-93.

