

INFOMUSA

La Revue Internationale sur Bananiers et Plantains



Vol. 11 N° 2
Décembre 2002

DANS CE NUMERO

Variabilités produites par induction de mutations ou par culture de tissus

Étude de variants expérimentalement induits dans le but de sélectionner ceux qui sont résistants à la fusariose

Transformation génétique via *Agrobacterium tumefaciens* de suspensions cellulaires embryogéniques

Génotypes de bananiers soumis au stress salin: tolérance et sensibilité

'J.D. Dwarf' : un cultivar supérieur de Cavendish ?

Evidences de populations ségrégeantes en ce qui a trait à la résistance à la maladie des raies noires et aux nématodes

Résistance à la chute des doigts chez les génotypes diploïdes

Classification et caractérisation de *Musella splendida* sp. nov.

Etude de la diversité des bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est

Identification des nématodes phytopathogènes en Colombie

Comparaison des systèmes d'immersion temporaire et permanente

Effet de la densité brute du sol sur le développement racinaire et global de six variétés de bananier

Utilisation d'inocula de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet afin d'évaluer le comportement de deux cultivars

Un nouveau facteur pour estimer la surface foliaire totale chez le bananier

Caractéristiques après récolte de bananes 'Rasthali' cultivées sous différents films de polyéthylène

Thèses

Nouvelles des *Musa*

Nouvelles de l'INIBAP

Livres etc.

Notes de lecture



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



Vol. 11, N° 2

Photo de couverture :

Uma Subbarayan du NRCB avec un 'Pisang awak' amélioré. (Sathiamoorthy, NRCB, India)

Editeur :

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

Rédacteur en chef :

Claudine Picq

Comité de Rédaction :

Charlotte Lusty, Suzanne Sharrock, Anne Vézina, Jean-Vincent Escalant, Emile Frison

Imprimé en France

ISSN 1023-0068

Rédaction : INFOMUSA, INIBAP, Parc Scientifique Agropolis II, 34397 Montpellier Cedex 5, France. Téléphone : + 33-(0)4 67 61 13 02 ; Télécopie : + 33-(0)4 67 61 03 34 ; Courrier électronique : inibap@cgiar.org

L'abonnement est gratuit pour les pays en développement. Les lecteurs sont invités à envoyer lettres et articles. La rédaction se réserve le droit d'abréger ou de reformuler les textes publiés pour des raisons de clarté et de concision. INFOMUSA ne peut s'engager à répondre à toutes les lettres reçues, mais s'efforcera de le faire dans un délai raisonnable. La reproduction de tout extrait du magazine est autorisée, à condition d'en spécifier l'origine.

INFOMUSA est également publié en anglais et en espagnol.

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 phytogénétiques (IPGRI), un centre *Future Harvest*.

INFOMUSA

Vol. 11, N° 2

SOMMAIRE

Editorial..... 3

Etude comparative des variabilités produites par induction de mutations ou par culture de tissus chez le bananier plantain (*Musa* sp.) cv. 'Grande naine' 4

Étude de variants expérimentalement induits de 'Manzano' (AAB) et 'Gros Michel' (AAA) dans le but de sélectionner ceux qui sont résistants à la fusariose..... 7

Transformation génétique via *Agrobacterium tumefaciens* de suspensions cellulaires embryogéniques du bananier plantain 'Dominico harton' (*Musa* AAB Simmonds) 9

Génotypes de bananiers (*Musa* spp.) soumis au stress salin: tolérance et sensibilité 13

'J.D. Dwarf' : un cultivar supérieur de Cavendish ? 18

Evaluation de la descendance d'un croisement entre 'Pisang Berlin' et *M. acuminata* spp. *burmannicoides* 'Calcutta 4' à la recherche de populations ségrégeantes en ce qui a trait à la résistance à la maladie des raies noires et aux nématodes..... 20

Résistance à la chute des doigts chez les génotypes diploïdes 22

Classification et caractérisation de *Musella splendida* sp. nov. 24

Etude de la diversité des bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est avec la technique AFLP 28

Identification des nématodes phytopathogènes chez les bananiers plantain cv. 'Dominico harton' (*Musa* AAB Simmonds) et 'Africa' et chez les hybrides 'FHIA-20' et 'FHIA-21' en Colombie..... 33

Comparaison des systèmes d'immersion temporaire et permanente pour la culture *in vitro* du bananier 36

Effet de la densité brute du sol sur le développement racinaire et global de plants de six variétés de bananier 38

Utilisation de différents inocula de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en conditions de serre afin d'évaluer le comportement de deux cultivars de bananier 41

Un nouveau facteur pour estimer la surface foliaire totale chez le bananier 42

Caractéristiques après récolte de bananes 'Rasthali' cultivées sous différents films de polyéthylène..... 43

Thèses 45

Nouvelles de *Musa*..... 49

Nouvelles d'INIBAP 50

Livres etc..... 54

Notes de lecture..... 54

INFOMUSA fait peau neuve



Pour la première fois depuis sa création, *INFOMUSA* change de format en réponse au nombre croissant de manuscrits que nous recevons chaque année. À partir du prochain numéro, la mise en page sera différente pour contenir un plus grand nombre d'articles plus courts.

Notre but est de vous offrir une revue de meilleure qualité, plus attrayante visuellement mais également plus informative pour tous les lecteurs. Des manuscrits écrits clairement et simplement aideraient à rendre les articles publiés dans *INFOMUSA* accessibles au plus grand nombre de lecteurs, qu'ils soient généticiens ou économistes. De notre côté, nous offrirons de courts résumés vulgarisés sur des sujets d'intérêt et nous ouvrirons certaines de nos pages à des éditoriaux et des débats.

Certaines rubriques vont disparaître de la revue, mais l'audience qu'elles visent restera informée des développements les plus récents, quoique sous une forme différente. Et, de même qu'*INFOMUSA* avait besoin de faire peau neuve, *PROMUSA* ne sera plus inséré dans la revue et sera publié uniquement sous forme électronique.

Plus d'articles dans le même espace signifie que les futurs auteurs devront être brefs et aller droit au fait. Un article, illustrations incluses, devra tenir dans 2½ pages. Les auteurs devront viser 2500 mots, références comprises. La longueur du texte variera en fonction du nombre et de la taille des tableaux et figures.

Cet ajustement peut être fait sans nuire à la qualité des articles. Comme vous l'avez certainement remarqué, de nombreux articles commencent avec une introduction sur les bananiers. Dans le passé, le fait de laisser ces introductions a probablement encouragé l'émulation, mais s'il existe un public qui n'a pas besoin d'être éduqué sur l'importance des bananes comme nourriture de base ou source de revenus, c'est bien celui des lecteurs d'*INFOMUSA*. À partir d'aujourd'hui, l'introduction servira seulement à présenter le sujet de la recherche.

'Matériel et méthodes' est une autre section qui peut souvent être plus courte. Les auteurs devraient donner seulement les détails qui permettent au lecteur d'apprécier la validité de la recherche. De même, seuls les tableaux et figures nécessaires à la compréhension de l'article devraient être inclus. Un court texte peut parler autant que certains tableaux ou histogrammes.

Dans la mesure du possible, il faudrait éviter de citer en références des rapports non publiés ou documents à diffusion limitée, tels que les rapports annuels. Nos 'Conseils aux auteurs', à la fin de la revue, expliquent comment les références doivent être citées. Nous sommes conscients d'être quelque peu hors-normes, d'où notre demande aux futurs auteurs de suivre nos instructions lors de la préparation d'un manuscrit pour *INFOMUSA*.

Également déroutante à l'occasion est la nomenclature des cultivars de bananiers. Tout le monde est conscient de la nécessité de standardiser les nombreuses façons d'écrire le nom d'un cultivar. En attendant qu'une telle liste devienne disponible, nous demandons aux auteurs d'utiliser des guillemets simples, de mettre en majuscule la première lettre du nom, mais non la seconde partie s'il en existe une, et d'éviter autant que possible les variantes locales ou les traductions, comme 'Gran enano' à la place de 'Grande naine'.

L'utilisation de noms vernaculaires pour décrire les différentes parties des bananiers devrait également être évitée. L'INIBAP a produit une petite brochure, 'Descripteurs pour le bananier', qui peut être consultée. Elle est disponible sur le site web de l'INIBAP, tout comme le thésaurus qui est également trilingue.

Nous espérons que vous apprécierez le nouvel *INFOMUSA* que nous préparons pour vous et que vous continuerez à envoyer les articles qui sont sa raison d'être. N'hésitez pas à nous écrire, une analyse comme une courte lettre. Nous sommes toujours curieux de voir ce que vous pensez et ferons de notre mieux pour publier vos opinions, et de le faire dans les délais. Vous avez sûrement observé un certain décalage entre la date indiquée sur la couverture d'*INFOMUSA* et la date à laquelle vous le recevez. Nous vous présentons nos excuses pour notre retard et pour les fois où nous avons tardé à informer les auteurs du devenir de leurs articles ou d'autres sujets. Nous espérons à l'avenir être en mesure de mieux répondre à vos besoins et à vos demandes, et de ne plus vous faire attendre.

Les éditeurs

Etude comparative des variabilités produites par induction de mutations ou par culture de tissus chez le bananier (*Musa sp.*) cv. 'Grande naine'

L. R. García, P.J Pérez, I.C. Bermúdez, P.P. Orellana, N.R. Veitia, Y.M. Padrón et C.Q. Romero

Étant donné que la majorité des cultivars de bananiers plantain et de bananiers sont généralement triploïdes, stériles et à fruits parthénocarpiques, leur amélioration par croisement est extrêmement difficile à mettre en œuvre. Aussi l'utilisation de l'amélioration par mutations induites combinées aux méthodes biotechnologiques a pris de plus en plus d'importance pour cette culture (Donini et Sonnino 1998, Nichterlein 2000).

Quand Larkin et Scowcroft (1981) posèrent le principe de la variation somaclonale, de grandes attentes ont vu le jour et de nombreux laboratoires se sont lancés dans des programmes d'amélioration via la culture de tissus. Cependant, malgré de nombreuses années de recherche, les résultats escomptés par le biais de cette technique n'ont pas encore été atteints car son efficacité reste faible pour l'amélioration de caractères spécifiques (Vuytsteke 2001).

Les systèmes d'amélioration où sont utilisées des mutations induites sont fondés sur le fait que les agents mutagènes produisent des changements similaires à ceux rencontrés lors de mutations naturelles, mais en un laps de temps relativement court et en plus grand nombre (Donini et Sonnino 1998). Chez *Musa*, le chimérisme provoqué par le traitement mutagène de structures pluricellulaires et la sélection diplontique représentent les obstacles les plus importants pour l'isolement des mutants somatiques induits.

Certains chercheurs partent du principe que les mutations issues de la variabilité somaclonale sont semblables à celles produites spontanément ou par des méthodes de mutagenèse (Pérez 1998b). Chez le cultivar 'Grande naine', il n'y a pas, à notre connaissance, d'études mettant en relation la variabilité des plantes obtenues par culture de tissus et celle résultant de la combinaison de cette technique et des techniques nucléaires.

L'objectif des travaux présentés ici était de comparer les variations phénotypiques de plants régénérés à partir de bourgeons adventifs ayant été soumis aux radiations gamma du ^{60}Co avec celles de plants régénérés à partir de bourgeons adventifs non irradiés.

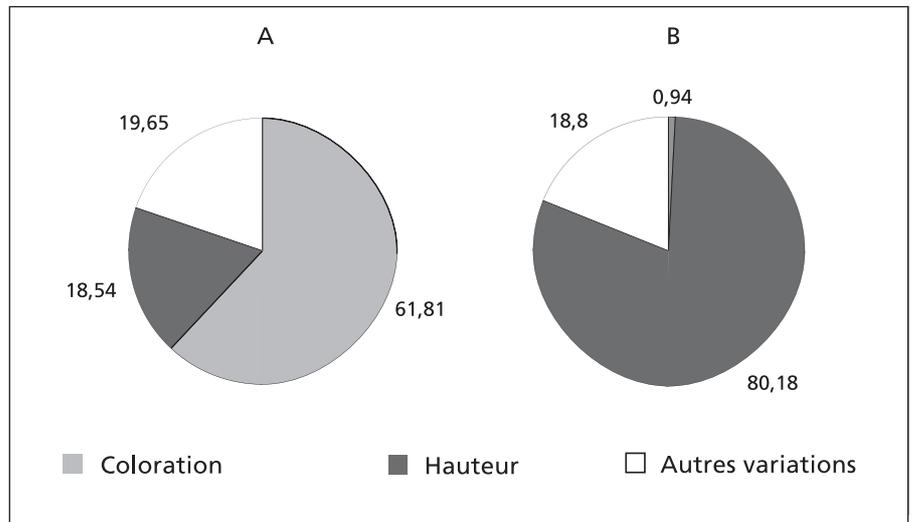


Figure 1. Pourcentages des principales variations phénotypiques par rapport à la totalité des variations rencontrées chez A) la population ayant subi un traitement mutagène ; B) la population non irradiée.

Matériel et méthodes

Comme matériel de départ, on a utilisé des apex du cv. 'Grande naine', issus de rejets baïonnettes, d'environ 50 à 100 cm de hauteur, que l'on a cultivés *in vitro* selon la méthodologie proposée par Orellana (1994). Pour induire les bourgeons adventifs, on a utilisé le protocole proposé par García (2001).

Des explants de 1 mm² provenant des bourgeons adventives ont été traités par 25 Gy de radiations gamma émises par du ^{60}Co à la puissance de 1,98 Gy/min. Immédiatement après, ils ont été placés sur un milieu de culture frais afin d'éviter une quelconque toxicité produite par l'action des radiations sur les composants du milieu de culture. On a régénéré 6000 plants à partir de ces structures traitées par l'agent mutagène et 5000 à partir de celles non irradiées mais qui ont été manipulées *in vitro* de la même façon que les précédentes. On a planté au hasard 100 rejets provenant de cormes comme témoins.

Pour l'enracinement des plants, on a employé la méthode proposée par Orellana (1994). Tout le processus d'acclimatation s'est déroulé selon le manuel d'instructions pour la micropropagation du bananier plantain (MINAGRI 1992).

Divers caractères comme la hauteur de la plante (cm), la circonférence du pseudotronc (cm), sa couleur, celle des feuilles et des nervures, celle du pétiole, le port et la texture des feuilles, l'aspect du régime, le type de rachis, la forme et la couleur du bourgeon mâle, ont été évalués à l'aide du manuel: "Descripteurs pour le bananier" (INIBAP 1996).

On a déterminé la proportion de variants, le pourcentage représenté par chaque variation par rapport à l'ensemble des variations phénotypiques observées ainsi que leurs fréquences d'apparition par rapport au total des plants évalués. Les résultats ont été analysés statistiquement par le test du chi-deux grâce au programme STATGRAFICS ver. 4.1 de Windows.

Connaissant l'importance de la maladie des raies noires (ou cercosporiose noire) chez ce cultivar en raison des ravages qu'elle y provoque, on a étudié la réaction des plants face à cette maladie fongique, en considérant chacun d'entre eux comme une entité expérimentale, et on a réalisé des évaluations de la maladie à la récolte.

La plantation a été établie dans la zone de la Station Expérimentale de Remedios "Pedro Lantigua", sur un sol ferrallitique rouge (Jiménez *et al.* 1994) et à une distance de plantation de 3,0 x 1,0 m. Les soins culturaux ont été menés d'après les instructions pour la culture du bananier plantain publiées par MINAGRI (1994).

Résultats et discussion

Les évaluations réalisées sur les populations de plants obtenus révèlent que les variations phénotypiques diffèrent quantitativement et qualitativement : la proportion de variants étaient plus élevée lorsqu'on a utilisé le traitement mutagène sur la culture de tissus que lorsque les plants ont été régénérés à partir des bourgeons adventives non traités, soit respectivement 16,5% et 6,6%.

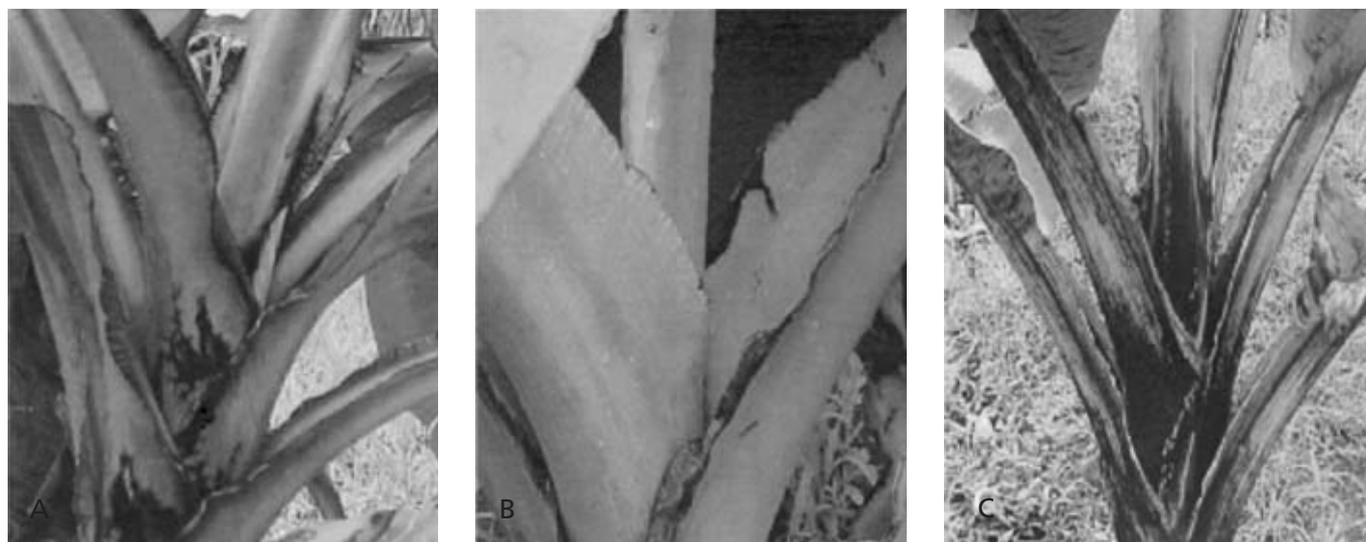


Figure 2. Quelques-unes des variations phénotypiques rencontrées au niveau de la coloration des plantes issues de bourgeons adventifs. A-B) Changement de coloration du bord du pétiole. C) Taches abondantes de couleur brunâtre sur les pétioles et les pseudotruncs.



Figure 3. Quelques-unes des variations phénotypiques rencontrées au niveau de la hauteur des plantes régénérées à partir de bourgeons adventifs irradiés. A) Plante naine B) Grêle.

Parmi les variations phénotypiques rencontrées chez les plants obtenus sans traitement mutagène, prédominent les variations portant sur la diminution de la hauteur des plantes (80,2% du total), alors que le taux de variations portant sur la coloration des plantes n'est que de 0,9% (Figure 1). Au sein de cette population,

on a relevé d'autres sortes de variations portant entre autres sur le port foliaire érigé, la finesse du pseudotrunc, le type 'Valery', les changements au niveau de l'inflorescence et du régime; variations représentant respectivement 0,6%; 0,6%; 13,8% et 3,8% du total des variations phénotypiques observées.

Tableau 1. Fréquence d'apparition des variations phénotypiques chez les populations du cv. 'Grande naine' ayant subi ou non le traitement mutagène (radiations gamma).

| Variation phénotypique | Fréquence (%) | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Population avec traitement mutagène | Population sans traitement mutagène |
| Diminution de la hauteur | 3,49 b | 5,44 a |
| Coriaces | 0,46 | — |
| Changement de coloration | 11,61 a | 0,06 b |
| Port foliaire | 2,24 a | 0,042 b |
| 'Valery' | 0,48 b | 0,93 a |
| Rayures blanchâtres des feuilles et du pseudotrunc | 0,11 | — |
| Floraison précoce | 0,26 | — |
| Inflorescence et régime | 0,24 a | 0,25 a |
| Réaction différentielle à la maladie des raies noires | 0,018 | — |

Les valeurs suivies de lettres différentes dans une même colonne diffèrent pour $P < 0,05$ d'après le test du chi-deux.

Parmi la population obtenue par induction de mutations, 18,5% seulement des variations rencontrées avaient trait à la diminution de la taille des plants contre 61,8% portant sur des variations de la coloration de la plante (Figure 1). On a relevé un large spectre de variations phénotypiques, ce que montrent les figures 2, 3 et 4. Quelques-unes de ces variations n'ont pas été observées chez les plants non irradiés comme par exemple les déformations au niveau de la forme et de la texture des feuilles (coriaces) ou la floraison précoce (Tableau 1). Les changements de coloration du pseudotrunc, du bord du pétiole (brun foncé), les rayures blanchâtres des feuilles et du pseudotrunc n'ont pas été retrouvés sur les plants non irradiés, dont les variations de coloration tirent seulement vers le rougeâtre.

Dans les évaluations réalisées au niveau des inflorescences et des régimes, certaines des variations qui ont été observées chez les plants obtenus avec le traitement mutagène, comme la réversion du régime type 'French' au type 'Horn', le rachis dénudé et le changement de coloration du bourgeon mâle du pourpre au jaune, n'ont également pas été retrouvées parmi la population issue de bourgeons adventifs non traités (Figure 4). Parmi les plants issus de bourgeons irradiés, on a sélectionné une plante qui présentait des réactions différentes face à la maladie des raies noires alors que dans la population issue de bourgeons adventifs non irradiés, toutes les plantes se sont révélées fortement sensibles. Les études se poursuivent sur cette plante pour déterminer si cette réaction différentielle à la maladie reste stable.

Sur le tableau 1, on peut apprécier les principales variations phénotypiques rencontrées au sein de chaque population. Il est évident que les changements de coloration de la plante et de son port foliaire dépendent de la source de variabilité utilisée : la fréquence d'apparition de ces caractères est beaucoup plus élevée dans la population obtenue après application de radiations. Le test du chi-deux a permis de

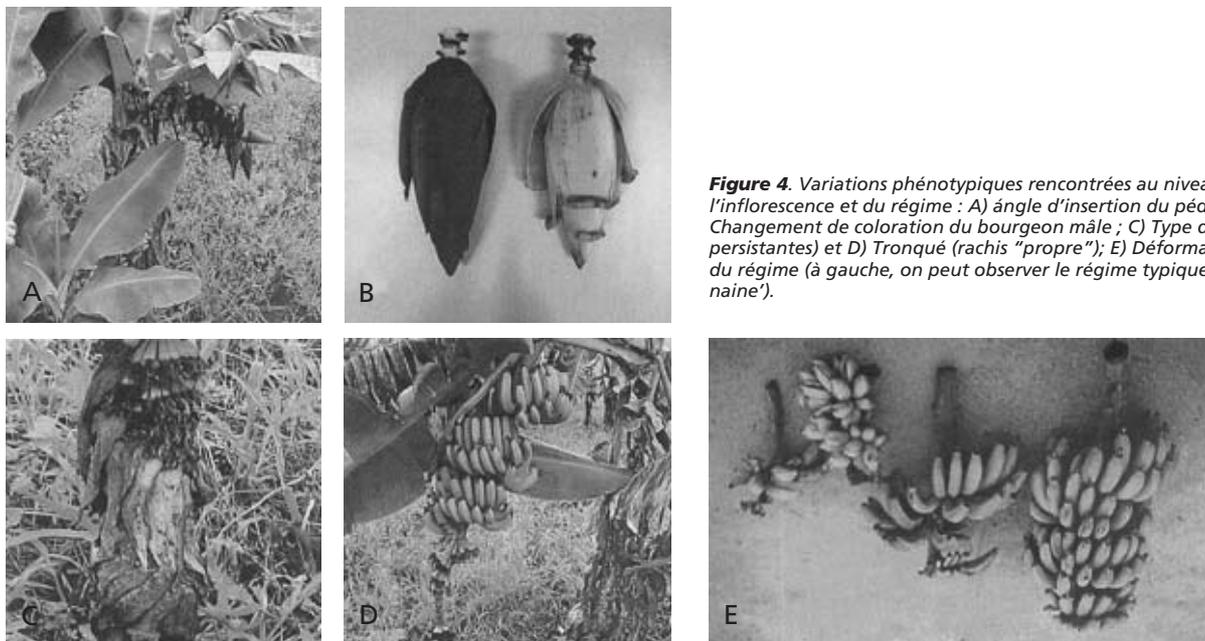


Figure 4. Variations phénotypiques rencontrées au niveau de l'inflorescence et du régime : A) angle d'insertion du pédoncule ; B) Changement de coloration du bourgeon mâle ; C) Type de rachis (bractées persistantes) et D) Tronqué (rachis "propre"); E) Déformation des doigts et du régime (à gauche, on peut observer le régime typique du cv. 'Grande naine').

constater que la fréquence des plantes présentant une diminution de taille dépend davantage de la source de variabilité que pour le type 'Valery' alors que la fréquence d'apparition des changements au niveau de l'inflorescence et du régime ne dépendent pas de la source de variabilité.

Chez le bananier, on a rapporté l'existence de variants somaclonaux issus de micropropagation dans le sous-groupe Cavendish (Israeli *et al.* 1991), mais ces variants étaient toujours associés à des problèmes de taille et de qualité du fruit (Vuylsteke et Ortiz 1996). Vuylsteke (2001) a signalé que la variation somaclonale ne doit pas être surestimée en tant que source de variabilité pour l'amélioration génétique du bananier.

La majorité des cultivars de bananiers et de bananiers plantain proviennent de mutations spontanées. D'après la base de données de la FAO/IAEA, il existe deux cultivars chez le bananier obtenus à la suite d'induction de mutations (Nichterlein 2000).

Les résultats du travail présenté ici concordent avec ceux décrits par Ahloowalia (1998), qui avait remarqué que les variations chez les plants de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) régénérés à partir de culture de tissus et ceux obtenus à partir de traitements mutagènes différaient complètement en fréquence d'apparition et spectre de variation. Des résultats semblables ont été obtenus par Schum et Preil (1998) sur *Chrysanthemum*.

En comparant la variation somaclonale et l'induction de mutations chez la canne à sucre, Pérez (1998b) a noté qu'on n'obtenait pas les résultats espérés avec la variabilité produite par culture de tissus seule mais, qu'en revanche, il avait été très efficace d'utiliser la mutagenèse *in vitro*.

Tout ce qui a été décrit précédemment démontre que l'on obtient des taux plus importants et de plus larges spectres de variations

phénotypiques lorsqu'on utilise les radiations gamma sur les bourgeons adventifs. On peut alors rencontrer des variations présentant un intérêt agricole comme des plantes à floraison précoce ou à réaction différentielle face à la maladie des raies noires. Dans cette population, 68% de variations ne s'étaient pas produites chez les plantes régénérées à partir de bourgeons adventices non irradiés. L'estimation de la variabilité peut donner la mesure des possibilités de sélection parmi les populations (Pérez 1998a). Les résultats obtenus indiquent que ces possibilités pourraient être plus élevées au sein de la population issue de bourgeons irradiés que parmi la population issue de culture de tissus. Ce qui pourrait influencer ce type de sélection serait la variabilité du caractère à améliorer et la fréquence de mutation du ou des gènes impliqués dans l'expression de ce caractère; ce qui imposerait la détermination d'un effectif suffisant de population pour réussir de façon concluante ce processus. ■

Références

- Ahloowalia B.S. 1998. *In vitro* techniques and mutagenesis for the improvement of vegetatively propagated plants. Pp. 293-309 *in* Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement. (M.S. Jain, D.S. Brar and B.S. Ahloowalia, eds.). Kluwer Academic Publishers.
- Donini P. & A. Sonnino. 1998. Induced mutation in plant breeding: Current status and future outlook. Pp.255-291 *in* Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement. (S.M. Jain, ed.). Kluwer Academic Publishers. London.
- INIBAP. 1996. Descripteurs pour le bananier (*Musa* spp.). IPGRI 55pp.
- Israeli Y., O. Reuveni & E. Lahav. 1991. Qualitative aspects of somaclonal variations in banana propagated by *in vitro* techniques. *Scientia Horticulturae* 48:71-88.
- Jiménez L.M., F.R. Hernández & R.F. Gómez. 1994. Nueva versión de clasificación genética de los suelos

de Cuba. Instituto Nacional de Suelo. MINAGRI. Cuba.

Larkin P.J. & Scowcroft. 1981. Eye-spot disease of sugar cane. *Plant Physiol.* 67:408-414.

MINAGRI. 1992. Instructivo técnico para la micropropagación del plátano en biofábricas. MINAGRI, Cuba.

MINAGRI. 1994. Instructivo técnico del plátano. MINAGRI, Cuba.

Nichterlein K. 2000. Workshop on Mutation and *in vitro* culture techniques for the improvement of vegetatively propagated tropical food crops. Curso FAO/IAEA/UCR. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. 56pp.

Orellana P.P. 1994. Tecnología para la micropropagación *in vitro* de clones de *Musa* spp. Tesis en opción del Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Biotecnología de Las Plantas. Cuba. 120pp.

Pérez J.P. 1998a. Mutagénesis *in vitro*. Pp. 299-311 *in* Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. (P.J. Pérez, ed.). Editora GEO.

Pérez J.P. 1998b. Variación somaclonal. Pp. 105-121 *in* Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. (P.J. Pérez, ed.). Editora GEO.

Schum A. & W. Preil. 1998. Induced mutations in ornamental plants Pp. 333-367 *in* Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement. (M.S. Jain, D.S. Brar and B.S. Ahloowalia, eds.). Kluwer Academic Publishers. London.

Vuylsteke D.R. 2001. Strategies for utilization of genetic variation in plantain improvement. Thesis submitted for the posthumous award of degree of Doctor of Philosophy (PhD.) in the Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences. Katholieke Universiteit Leuven. 213pp.

Vuylsteke D.R. & R. Ortiz. 1996. Field performance of conventional vs. *in vitro* propagules of plantain (*Musa* spp., AAB group). *HortScience* 31:862-865.

Les auteurs travaillent à l'Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de las Villas, Carretera a Camajuani km 5, Santa Clara, Cuba. Fax 53 (42) 281329; Courriel: lougarcia@uclv.edu.cu

Étude de variants expérimentalement induits de 'Manzano' (AAB) et 'Gros Michel' (AAA) dans le but de sélectionner ceux qui sont résistants à la fusariose

I. Bermúdez, L. Herrera I.*,
P. Orellana, N. Veitia, C. Romero,
J. Clavelo, L. García, M. Acosta,
L. García R. et Y. Padrón

Les rapports les plus anciens sur le flétrissement provoqué par la fusariose, aussi appelée maladie de Panama et dont l'agent causal est *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* E. F. Smith (*Foc*), proviennent de Cuba, de Puerto Rico et de Jamaïque. D'après Stover (1962), la maladie était prédominante chez le cultivar 'Manzano' (sous-groupe Silk) et 'Gros Michel' à Cuba. Depuis lors, ces deux cultivars ont subi en permanence des attaques qui ont abouti à leur totale disparition du marché. Avec la maladie de Sigatoka, ou cercosporiose jaune, la fusariose a causé l'effondrement de l'industrie bananière à Cuba dans les années 40 (Batlle et Pérez 1999). C'est pourquoi, ces dernières années, la recherche de différentes sources de résistance à cette maladie dévastatrice s'est intensifiée.

La combinaison des techniques d'amélioration par mutations et de la culture *in vitro* a rendu l'induction et la sélection de mutations somatiques plus efficaces. La culture *in vitro* a été utilisée comme système d'induction de mutations chez plusieurs génotypes de *Musa* présentant différents niveaux de ploïdie et de combinaisons des génomes *acuminata* (A) et *balbisiana* (B) (Novak *et al.* 1986).

Dans le cadre de l'application de techniques de biotechnologie aux méthodes d'amélioration, ce travail présente les résultats de recherches portant sur une méthode de sélection par inoculation de l'agent pathogène, déjà mise au point par les auteurs, permettant l'évaluation des caractères agronomiques des variants potentiellement résistants ou tolérants à la fusariose, obtenus en utilisant des agents mutagènes physiques sur deux variétés sensibles.

Matériel et méthodes

Le processus général d'introduction du matériel végétal au laboratoire est décrit par Orellana *et al.* (1991). Les explants pour l'induction des bourgeons auxiliaires ont été placés sur un milieu Murashige et Skoog modifié contenant 20 mg/l de 6 Benzylaminopurine (6 BAP) et 0,65 mg/l d'acide indolacétique (AIA). Les bourgeons auxiliaires ont été irradiés par 25 Gy de radiations Gamma, provenant d'une source de ⁶⁰Co. On a obtenu une population de 5000 vitroplants de chaque variété que

l'on a infectés, pendant 30 minutes, par une solution de 3×10^5 spores/ml de la souche INIFAT-1 qui s'était révélée la plus pathogène lors d'études préliminaires. Une fois cette opération menée à terme, les vitroplants ont été mis dans des pots contenant un sol organique contaminé par des débris de plantes infectées par *Foc*. Après 60 jours, les vitroplants qui ne présentaient pas de symptômes de jaunissement foliaire ont été ré-inoculés en injectant à la base du pseudotrunc 1 ml d'une suspension de spores de la même souche mycélienne. Six mois plus tard, les vitroplants ne présentant pas de symptômes ont été transplantés dans un champ contaminé par l'agent pathogène afin d'évaluer l'incidence de la maladie. On a sélectionné 42 lignées que l'on a multipliées *in vitro* jusqu'à obtention de 100 individus pour chacune d'elles. Sur chaque lignée clonale, on a répété la méthodologie décrite antérieurement jusqu'au stade de la mise en pots. Pour la sélection en pots et au champ, on a appliqué comme critère de niveau de résistance, la notation suivante proposée par Hwang (1991) et modifiée par les auteurs.

| Notation | Taux d'infection (%) | Degré de résistance |
|----------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 0 – 10 | Fortement résistant (FR) |
| 2 | 11 – 20 | Résistant (R) |
| 3 | 21 – 30 | Moyennement résistant (MR) |
| 4 | 31 – 40 | Moyennement sensible (MS) |
| 5 | 41 – 50 | Sensible (S) |
| 6 | + 50 | Fortement sensible (FS) |

Parmi les plants en pots classés 3 et moins, 60 plantes saines ont été transplantées dans une zone expérimentale, dans un sol ferrallitique rouge typique et dans des conditions d'infection naturelle, pour l'étude de leur comportement du point de vue agronomique et face à la maladie.

Le traitement statistique a consisté en une analyse de variance de classification simple, appelée *Oneway*. Pour déterminer les groupes homogènes et/ou significativement différents, à 5% près, on a utilisé la méthode des rangs multiples de Duncan avec vérification préalable d'une supposée homogénéité de variance et de normalité des données. Dans le cas contraire, on a appliqué le test non paramétrique de comparaison des moyennes de Dunnett à l'aide du

programme statistique SPSS/PC version 9.00 pour Windows.

Résultats et discussion

Au départ, 11 486 vitroplants de chacun des deux cultivars ont été soumis à un processus rigoureux de sélection vis-à-vis de l'agent pathogène. Ils ont réagi de façon variée, tant en pots qu'au champ, au premier comme au second cycle de sélection. Après avoir été inoculés et ré-inoculés, les 42 lignées sélectionnées au champ ont répondu de façon différente à l'attaque fongique, réaction exprimée par le pourcentage de survie. Suite à l'évaluation de 32 lignées sélectionnées et transplantées dans un champ où l'infection est naturelle, neuf variants ont été identifiés (tableau 1).

Comme on peut le voir sur ce tableau, après les différents processus d'évaluation, les lignées clonales dérivées du cultivar 'Manzano' ont fini par être éliminées à cause de leurs niveaux d'infection, dont le taux dépassait 30%, ce qui représente le degré 4 de la notation proposée par Hwang (1991) et modifiée par les auteurs.

Parmi les plants classés jusqu'au degré 3 inclus, 60 plantes saines ont été transplantées dans des conditions d'infection naturelle pour évaluer leur comportement du point de vue agronomique et face à la maladie.

Les pourcentages d'infection des 9 plants (0,17% des 5314 plants initiaux) dérivés du cultivar 'Gros Michel' sont présentés au tableau 2. Ces plants ont atteint des niveaux d'infection inférieurs à 30% : huit d'entre eux présentent le degré 1 de l'échelle (FR) et un seul, le degré 2 (R). Les plantes témoins ont, elles, atteint des niveaux d'infection supérieurs à 40%, ce qui confirme le niveau de contamination du sol par l'agent pathogène et la résistance des plants sélectionnés.

Ces dernières années, en utilisant les techniques d'induction de mutations chez le bananier et le bananier plantain, on a obtenu plusieurs variants résistants à la fusariose (Hwang 1991, De Beer et Visser 1995), avec un poids accru du régime (Smith *et al.* 1994), une hauteur réduite de la plante (Bermúdez 2000) et une floraison précoce (Roux *et al.* 1994).

Parmi les plants dérivés du cultivar 'Gros Michel', certains se démarquent par leurs caractéristiques agronomiques supérieures à celles du témoin (tableau 3):

- IBP 5-61 présente un cycle végétatif plus court (15 mois) que la variété donneuse (17 mois). Les autres paramètres comme le poids du régime, le nombre de mains et de doigts par

Tableau 1. Résultats de la sélection face à *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*.

| Cultivars | Vitroplants inoculés en phase III et en pots | Vitroplants plantés au champ | Matériel sélectionné au champ | Matériel sélectionné en pots | Variants sélectionnés au champ |
|-------------|--|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Manzano | 6172 | 934 | 20 | 11 | - |
| Gros Michel | 5314 | 213 | 22 | 21 | 9 |
| Total | 11 486 | 1147 | 42 | 32 | 9 |

régime sont maintenus par rapport au cultivar 'Gros Michel', mais ce variant a une maturation du régime très uniforme et se comporte comme une plante fortement résistante (3% d'infection).

- IBP 5-B présente un cycle végétatif semblable à celui du témoin, mais un poids du régime et un nombre de doigts par mains supérieurs à ceux du témoin. Il possède également comme caractéristique intéressante de maintenir au champ une résistance face à l'agent pathogène avec un taux d'infection de seulement 3,2%.
- IBP 12 possède des caractéristiques semblables à celles du témoin quant au poids du régime et au nombre de mains par régime, mais il produit un plus grand nombre de doigts par régime et ces doigts sont plus longs. Il atteint, comme IBP 5-B, un taux de 3,2% d'infection dans les conditions au champ.
- Les autres variants atteignent des taux d'infection relativement bas mais ne présentent pas de caractéristiques de rendement et de cycle de développement favorables. IBP 5-42 et IBP 5-6 sont deux cas à part puisqu'ils possèdent les taux d'infection les plus bas mais aussi les régimes les moins lourds.
- IBP 5-66, IBP 13-A, IBP 13-B et IBP 5-5 présentent une maturation avec détachement prématuré des doigts ce qui les rend impropres à la production. Il est important de souligner que des plantes possédant un haut degré de résistance n'ont pas forcément un bon comportement agricole et un bon rendement.

Des résultats similaires aux nôtres ont été obtenus par Hwang et Ko (1988) qui ont réussi à sélectionner des variants fortement résistants à *F. oxysporum*, mais tous étaient des variants morphologiques possédant des combinaisons de caractères agronomiques inférieures à la variété originelle.

Conclusion

Tout au long de ce travail, on a mis en évidence les possibilités d'utilisation de l'amélioration par mutations chez les bananiers et les bananiers plantain. Trois variants dérivés du cultivar 'Gros Michel' ont manifesté une résistance à *F. oxysporum* et possèdent un bon comportement agronomique, un résultat qui pourrait s'avérer d'une grande valeur pratique. ■

Références

- Batlle A. & L.V. Pérez. 1999. Groupes de compatibilité végétative des populations de *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense* (E. F. Smith) Snyder et Hans. présentes à Cuba. *INFOMUSA* 8(1):22-23.
- Bermúdez I. 2000. Variación somaclonal e inducción de mutaciones. P. 80 in Monografía del curso en aplicaciones de la biotecnología en la mejora genética de las plantas y la producción de semillas. Santa Cruz, Bolivia.
- De Beer Z & A.A. Visser. 1995. Mutation breeding of banana in South Africa. Pp. 243-247 in The improvement and testing of *Musa*: a global partnership. (D.R. Jones, ed.). INIBAP, Montpellier, France.
- Hwan S.C. 1991. Somaclonal resistance in Cavendish banana to *Fusarium* wilt. *Plant. Prot. Bull.* (Taiwan) 33:124-132.
- Hwang S.C. & W.H. Ko. 1988. *In vitro* somaclonal variation in banana and its application for screening for resistance to fusarium wilt. *Technical Bulletin Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region* (Taiwan) 107:1-9
- Orellana P.P., J.N. Pérez, D.P. Agramonte, R.K. Gómez & E.G. Jiménez. 1991. La micropropagación del plátano a escala comercial en Cuba. *ACEVIC. Boletín Científico* 3(3):29-38.
- Roux N., R. Afza, H. Brunner, R. Morpurgo & M. van Duren. 1994. Complementary approaches to cross-breeding and mutation breeding for *Musa* improvement. Pp. 213-218 in The improvement and testing of

Tableau 2. Pourcentages d'infection des variants sélectionnés pour leur résistance à *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* dans les conditions au champ.

| Code | % de plantes malades au champ | Degré de résistance |
|-------------|-------------------------------|---------------------|
| IBP 5 – 42 | 0,2 | FR |
| IBP 5 – 6 | 2,5 | FR |
| IBP 5 – 61 | 3,0 | FR |
| IBP 5 - B | 3,2 | FR |
| IBP 12 | 3,2 | FR |
| IBP 13 – A | 3,3 | FR |
| IBP 5 – 66 | 4,0 | FR |
| IBP 5-5 | 5,5 | FR |
| IBP 13 – B | 12,5 | R |
| Manzano | 48,0 | S |
| Gros Michel | 43,0 | S |

FR : Fortement résistant

R : Résistant

S : Sensible

Musa: a global partnership. (D.R. Jones, ed.). INIBAP, Montpellier, France.

Smith M.K., A.H. Hamill, P.W. Langdon & K.G. Pegg. 1994. Mutation Breeding for Banana Improvement in Australia. Pp. 233-242 in The improvement and testing of *Musa*: a global partnership. (D.R. Jones, ed.). INIBAP, Montpellier, France.

Stover R.H. 1962. Fusarium wilt (Panama disease) of bananas and other *Musa* species. *Phytopathological Paper* 4. CMI. 117pp.

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

*L. Herrera travaille à la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Courriel: idalbermudez@uclv.edu.cu

Tableau 3. Comparaison des caractères agronomiques des variants dérivés du cultivar 'Gros Michel' qui étaient résistants à *F. oxysporum* var. *cubense*.

| Variants | Cycle de croissance (mois) | Hauteur de la plante (cm) | Diamètre du pseudotrunc (cm) | Poids du régime (kg) | Nombre de mains par régime | Nombre de doigts par régime |
|-------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| IBP 13-A | 16,8 | 332,5 c | 55,10 cd | 14,02 ab | 7,8 bcd | 108,2 abc |
| IBP 13-B | 16,5 | 343,4 bc | 58,15 bcd | 10,42 b | 8,5 abc | 10,4 abc |
| IBP 5-6 | 17,0 | 368,5 abc | 62,30 abc | 11,84 b | 8,8 abc | 119,6 a |
| IBP 5-5 | 18,0 | 37,6 ab | 59,30 bcd | 13,57 ab | 9,0 ab | 113,4 ab |
| IBP 5-66 | 18,0 | 387,5 a | 63,40 ab | 14,52 ab | 9,3 a | 117,2 ab |
| IBP 5-61 | 15,0 | 353,5 abc | 54,50 cd | 15,89 a | 9,0 ab | 116,4 ab |
| IBP 5-42 | 15,5 | 335,7 bc | 53,40 d | 10,88 b | 7,5 d | 100,0 c |
| IBP 5-B | 17,0 | 343,3 bc | 59,20 bcd | 17,05 a | 9,0 ab | 120,5 a |
| IBP 12 | 17,0 | 336,0 bc | 59,95 bcd | 16,82 a | 8,6 abc | 114,0 ab |
| Gros Michel | 17,0 | 359,0 abc | 67,60 a | 16,92 a | 8,9 ab | 103,5 bc |
| EE | - | ±3,76 | ±0,85 | ±0,41 | ±0,13 | ±1,50 |

Les moyennes affectées de lettres différentes dans une même colonne diffèrent selon Duncan ou Dunnett pour p<0,05.

Transformation génétique via *Agrobacterium tumefaciens* de suspensions cellulaires embryogéniques du bananier plantain 'Dominico harton' (*Musa* AAB Simmonds)

C.R. Pineda*, N. Toro Perea,
J. Narvaez, M.L. Orozco, A. Laignelet,
et H. Cárdenas

Les cultures de *Musa* spp. sont attaquées par divers virus, bactéries et champignons. Ceux-ci sont contrôlés par des pratiques culturales et des fumigations intensives de produits chimiques qui polluent le milieu ambiant et nuisent à la santé humaine tout en augmentant les coûts de production. Le recours aux méthodes traditionnelles d'amélioration n'a pas donné les résultats espérés en raison du peu de connaissances sur la biodiversité et la génétique des agents pathogènes ainsi qu'en raison des problèmes soulevés par la triploïdie, les faibles niveaux de fertilité et le long cycle vital du bananier. Le génie génétique apparaît donc comme une façon de dépasser ces limitations grâce aux possibilités qu'il offre d'introduire des changements génétiques spécifiques en peu de temps (Sági *et al.* 1994).

Il existe une grande variété de méthodes de transformation des cellules végétales. L'infection par un vecteur naturel comme *Agrobacterium tumefaciens* est la plus prometteuse pour le moment, surpassant de loin la biolistique ou autres techniques de transfert direct de gènes. Elle s'en distingue par sa simplicité, son efficacité de transformation, la possibilité de transférer des segments relativement longs d'ADN aux extrémités bien définies et l'intégration d'un faible nombre de copies dans le chromosome végétal (Gelvin et Liu 1994, Komari *et al.* 1996). La méthodologie de transformation par *Agrobacterium* a été employée avec succès aussi bien chez les dicotylédones que chez les monocotylédones. On l'a utilisée entre autres pour le riz, le maïs, le manioc et le bananier (Ganapathi 2001, Sági *et al.* 2000). La transformation génétique via *Agrobacterium* a également été décrite pour des tissus méristématiques de *Musa* spp. var. 'Grande naine' (May *et al.* 1995).

Ce travail évalue l'efficacité de transformation par *A. tumefaciens* de suspensions cellulaires embryogéniques (SCE) du bananier plantain 'Dominico hartón' (AAB), sur la base de l'expression transitoire du gène

de la β -glucuronidase (GUS) en fonction de trois facteurs: 1) la concentration d'*Agrobacterium*, 2) la concentration d'acétosyringone (AS) et 3) le temps d'infection. Les résultats confirment le potentiel de cette méthode de transformation des SCE par *A. tumefaciens* en vue d'introduire des gènes étrangers d'intérêt chez les variétés commerciales de bananiers plantain.

Matériel et méthodes

Matériel végétal et conditions de culture

Les SCE de 'Dominico hartón' ont été mises en culture au Laboratoire des Cultures Tropicales de la *Katholieke Universiteit Leuven* (KULeuven), en Belgique, à partir de matériel provenant de la collection *in vitro* de *Musa* de l'INIBAP. Elles ont été maintenues en milieu liquide MS avec la moitié des macro-éléments et de fer, 5 μ M d'acide dichlorophénoxyacétique (2,4-D) et 1 μ M de zéatine comme régulateurs de croissance (Dhed'a *et al.* 1991, Sági *et al.* 1995), à $26 \pm 2^\circ\text{C}$, sous agitation constante à 85 r/min, avec un éclairage de 1000 lux et une photopériode de 14/10 heures de lumière/obscurité. Les suspensions embryogéniques ont été homogénéisées par tamisage (1,0 ; 0,5 et 0,25 mm de diamètre) et cultivées sur un milieu identique pendant 4 jours (Sági *et al.* 1995), à 80 r/min, à $26 \pm 2^\circ\text{C}$, sous une lumière fluorescente.

Souche bactérienne et plasmide

Les SCE ont été infectées avec la souche AT650 d'*A. tumefaciens* qui contient le plasmide binaire pLIGH, souche donnée par le *Centro Internacional de Agricultura Tropical* (CIAT). Ce vecteur de 9,5 kb, dérivé du pSG-ManI, contient deux gènes chimériques: 1) le gène de l'enzyme β -glucuronidase de 2,5 kb avec un intron d'actine (*gusA-intron*), le promoteur 35S du virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV) et le terminateur 35S du CaMV ; 2) le gène *hph* (hygromycine phosphotransférase) (31) de 1,7 kb, qui confère la résistance à l'hygromycine, avec le promoteur 35S du CaMV et le terminateur *tml* (*tumor morphology large gen*).

Transformation

La souche AT650/pLIGH d'*A. tumefaciens* a été cultivée en milieu AB semi-solide (Gelvin et Liu 1994) en présence de 300 mg/l de streptomycine, de 100 mg/l de spectinomycine et de 50 mg/l d'hygromycine, pendant 2 à 3 jours, à $28 \pm 2^\circ\text{C}$. L'inoculum a été préparé à partir de cellules de culture récente en milieu liquide AB avec la même concentration d'antibiotiques, et incubé de 12 à 16h, sous agitation à $28 \pm 2^\circ\text{C}$, jusqu'à l'obtention d'une concentration de $1 \text{ à } 2 \times 10^9$ cellules/ml. Cette culture a été lavée dans une solution saline stérile et resuspendue dans deux volumes du milieu d'induction (Gelvin et Liu 1994), contenant 2 mM de phosphate de sodium; 30 mM de tampon MES pH 5,6, une solution de sels AB 1X, 0,5% de glucose et 50, 100, 200 ou 400 μ M d'AS. Cette suspension a été mise à incuber à $25 \pm 2^\circ\text{C}$ de 12 à 16 heures, à 100 r/min. La concentration bactérienne a été ajustée à 10^8 et 10^9 cellules/ml, en faisant des dilutions du milieu d'induction contenant 50, 100, 200 ou 400 μ M d'AS. Le milieu de culture des SCE a été remplacé par la suspension d'*Agrobacterium* de la concentration désirée: 10^8 ou 10^9 cellules/ml. L'infection s'est déroulée à $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 140 r/min, dans l'obscurité, pendant 1, 4, 8, 12, 16, 20 ou 24 heures. Après infection, on a lavé les SCE avec du milieu MS pour retirer l'excédent de bactéries. Durant les trois jours suivants de co-culture à l'obscurité, on a utilisé du milieu MS liquide avec la moitié de la concentration, 5 μ M de 2,4-D et 1 μ M de zéatine, au pH 5,8 (Sági *et al.* 1995), et contenant 50, 100, 200 ou 400 μ M d'AS. On a remplacé ensuite ce milieu par un milieu similaire sans AS, contenant 250 g/l de cefotaxime et 20 mg/l d'hygromycine.

Evaluation transitoire de l'activité GUS

L'analyse de la coloration histochimique (GUS) s'est faite en suivant la méthode de Jefferson *et al.* 1987. Le tissu a été fixé dans une solution de formaldéhyde à 0,27%, MES 0,01 mM et du manitol à 5,46%, mis sous vide et, après trois lavages dans une solution de phosphate de sodium (50 mM, pH 5,0), mis à incuber toute une nuit à 37°C dans du tampon phosphate de sodium (50 mM, pH 7,0), contenant 1 mM de 5-bromo-4-chloro-3-indo-

lyl-b-D-glucuronide (X-Gluc-GibcoBRL). Après incubation, le tissu (SCE) a été décoloré à l'hypochlorite de sodium 2,5% avant d'être observé au stéréomicroscope. La présence d'agrégats cellulaires présentant une activité GUS (taches bleues) a été évaluée toutes les 24 heures après l'infection par *Agrobacterium*, pendant sept jours consécutifs et une dernière fois le dixième jour, pour chaque traitement et répétition. Les résultats sont exprimés en pourcentages.

Protocole expérimental et analyse statistique

Les SCE de 'Dominico hartón' ont été infectées par *Agrobacterium* sous différentes conditions. Les traitements correspondant à la combinaison des facteurs analysés (concentration d'*Agrobacterium*, concentration d'AS et temps d'infection) sont décrits au tableau 1. Les arrangements de facteurs sont au nombre de 2x4x7, avec trois répétitions. L'expression transitoire de *gusA* a été déterminée par la variable : pourcentage d'agrégats cellulaires présentant une activité GUS, pour les sept premiers jours et pour le dixième jour suivants l'infection.

Les résultats ont été soumis à une analyse de variance et la méthode de Tukey pour comparer les moyennes des principaux facteurs et des interactions ; les composantes de la variance ont été estimées par l'intermédiaire du programme statistique SAS, version 6.3. Les moyennes et l'intervalle de confiance pour les principaux facteurs et les

Tableau 1. Facteurs et traitements pour la transformation des SCE de 'Dominico hartón' via *A. tumefaciens*.

| Facteurs | Niveaux | Traitements |
|--|---|--|
| a: Concentration d' <i>Agrobacterium</i> | a1: 1x10 ⁸ cellules/ml a2: 1x10 ⁹ cellules/ml | a1b1c1-a1b1c7 a1b2c1-a1b2c7 |
| b: Concentration d'acétylsyringone | b1: 50 µM b2: 100 µM b3: 200 µM b4: 400 µM | a1b3c1-a1b3c7 a1b4c1-a1b4c7 |
| c: Temps d'infection des SCE | c1: 1 h c2: 4 h c3: 8 h c4: 12 h c5: 16 h c6: 20 h c7: 24 h | a2b1c1-a2b1c7 a2b2c1-a2b2c7 a2b3c1-a2b3c7 a2b4c1-a2b4c7 |

interactions ont été représentés graphiquement grâce au programme *Stat Graphics*.

Résultats

L'activité GUS des SCE de 'Dominico hartón'

L'activité GUS des SCE de 'Dominico hartón' infectées par la souche At650/pLIGh a été mise en évidence grâce à l'analyse histochemique (figure 1). Comme le gène *gusA* du plasmide LIGh contient un intron qui ne lui permet pas de s'exprimer dans les cellules bactériennes, il ne peut le faire que dans les cellules végétales transformées. Le tissu végétal non transformé ne manifestant pas d'expression endogène, on peut donc en conclure que l'activité GUS observée chez les SCE correspond à l'expression du gène rapporteur par les cellules embryogéniques transformées (figure 1).

Importance des interactions entre les facteurs analysés au cours du processus de transformation

L'analyse statistique des interactions axb, axc, bxc et axbxc montre qu'elles sont très importantes pour le processus de transformation ($P < 0,0001$) et que les meilleures moyennes de l'efficacité de l'expression transitoire sont obtenues pour les interactions: a1xb3 (34,96%), a1xc7 (32,76%), b3xc7 (41,21%) et a1xb3xc7 (61,10%).

L'estimation des composants de la variance indique que l'interaction *Agrobacterium* x AS est la plus importante, avec une contribution de 12,97% à la variance totale (figure 2). Sur la figure 3-A, on peut observer que, pour les deux concentrations d'*Agrobacterium*, l'efficacité la plus élevée de transformation a été atteinte à la concentration de 200 µM d'AS et que celle de 10⁸ cellules d'At650/pLIGh /ml a permis d'obtenir le plus grand nombre d'agrégats cellulaires présentant une activité GUS et ce, pour les quatre niveaux d'AS essayés.

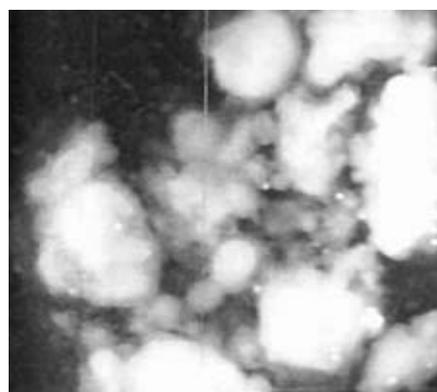
L'interaction AS x temps d'infection confirme que la concentration de 200 µM d'AS est celle qui permet la meilleure efficacité, pour une durée d'infection de 12 à 24 h (figure 3-B).

L'interaction temps d'infection x *Agrobacterium* est celle qui a contribué le moins à la variance totale (6,39%) (figure 2). Sur la figure 3-C, la supériorité de la concentration de 10⁸ cellules/ml s'est confirmée et ce, quelque soit le temps d'infection.

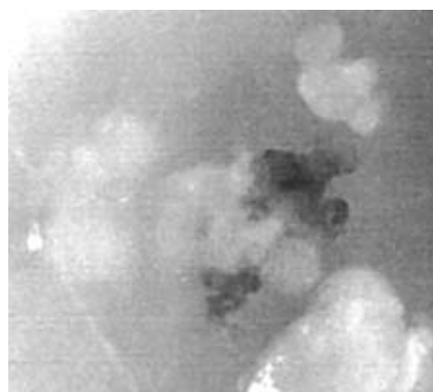
En ce qui a trait à l'interaction entre les trois facteurs, la contribution de la variance moyenne à la variance totale est de 8,2% (figure 2), ce qui indique que, même si elle est importante, ce n'est pas celle qui pèse le plus parmi toutes les interactions analysées.

Expression transitoire pendant les évaluations

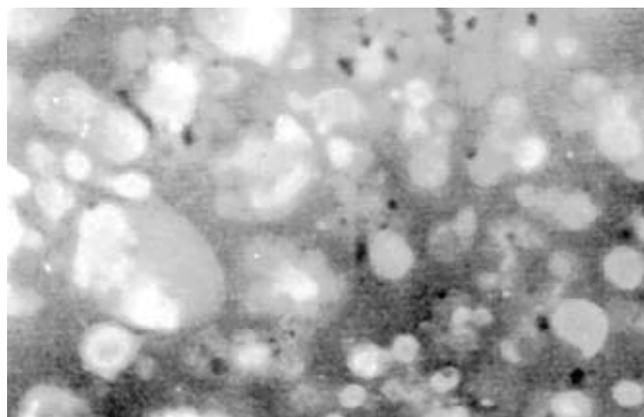
Bien que le temps d'infection n'ait pas été considéré comme un facteur de poids dans le processus de transformation, ses résultats ne dépendant pas des principaux facteurs étudiés, l'interaction de ce facteur avec le temps d'évaluation permet d'observer la variation dans l'efficacité de l'expression



A



B



C

Figure 1. Coloration histochemique des suspensions embryogéniques de 'Dominico hartón' transformées par la souche At650/pLIGh montrant une activité GUS. Agrégats cellulaires en milieu MS avec la moitié de la concentration, 5 µM de 2,4-D et 1 µM de zéatine, teintés histochemiquement 72 h après infection; A) sans infection; B) et C) : infectés pendant 24 h par 10⁸ cellules d' At650/pLIGh / ml, en présence de 200 µM d'AS.

transitoire pendant ces dix jours. La figure 4 indique que la fréquence de transformation la plus élevée a été obtenue au bout de trois jours après une infection de 24 h (37,62%), mais que, au dixième jour, elle a chuté (10,57%). On observe également que pour 1, 4 et 8 h d'infection, l'activité GUS s'est manifestée au bout du deuxième jour de co-culture (0,44 à 2,12%), mais qu'au dixième jour, elle a disparu. Le contraire s'est produit pour les temps d'infection de 12, 16, 20 et 24 h, temps pour lesquels l'action de l'enzyme a commencé dès le premier jour de co-culture (de 6,92 à 20,62%) et s'est maintenue jusqu'au dixième jour (de 3,88 à 15,35%). La meilleure efficacité de transformation au bout de dix jours a été atteinte pour un temps d'infection de 20h (15,35%) (figure 4).

Discussion

L'expression transitoire du gène *gusA* chez les SCE de 'Dominico hartón' a été obtenue au cours de cette étude après leur transformation par *Agrobacterium*, ce que l'on a mis en évidence grâce à l'activité GUS des agrégats embryogéniques évaluée par analyse histochemique. L'utilisation de la construction génétique *gusA*, qui contient un intron, garantit que l'activité GUS que l'on observe correspond bien au transfert d'ADN-T dans la cellule végétale et non à son expression dans les cellules d'*Agrobacterium*.

Avant les expérimentations de transformation, on a déterminé la sensibilité des SCE de 'Dominico hartón' aux antibiotiques utilisés par la suite, après infection. On notera que la concentration de 250 mg/l de cefotaxime, sélectionnée pour inhiber le développement d'*Agrobacterium*, n'avait pas d'effet apparent sur la régénération des cellules embryogéniques.

La souche AT650 s'est montrée efficace pour transférer de façon transitoire l'ADN-T aux SCE de 'Dominico hartón', probablement parce qu'elle contient un plasmide Ti désarmé du type supervirulent agropine pTiBo542, plasmide qui a fait ses preuves sur des cultures récalcitrantes (Gelvin et Liu 1994, Hiei *et al.* 1994, Narasimhulu *et al.* 1996). Les caractéristiques du vecteur binaire utilisé sont également très importantes quand on prétend à une grande efficacité lors de la transformation. Le plasmide utilisé ici, pLIGh, possède le gène *gusA* régulé par le promoteur 35S du CaMV. Il est efficace sur d'autres monocotylédones. Il a de plus des bordures de type nopaline plus efficaces que les bordures de type octopine chez les monocotylédones comme le maïs (Shen *et al.* 1993).

La concentration de *A. tumefaciens* la plus efficace [10^8 cellules/ml (15,04%)] coïncide avec celle utilisée pour le maïs (Ishida *et al.* 1996), mais diffère d'autres rapportées où on a utilisé des concentrations allant de 1

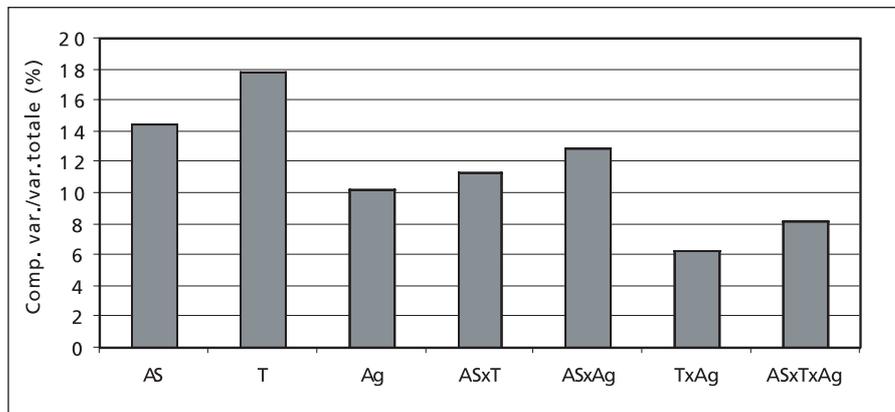
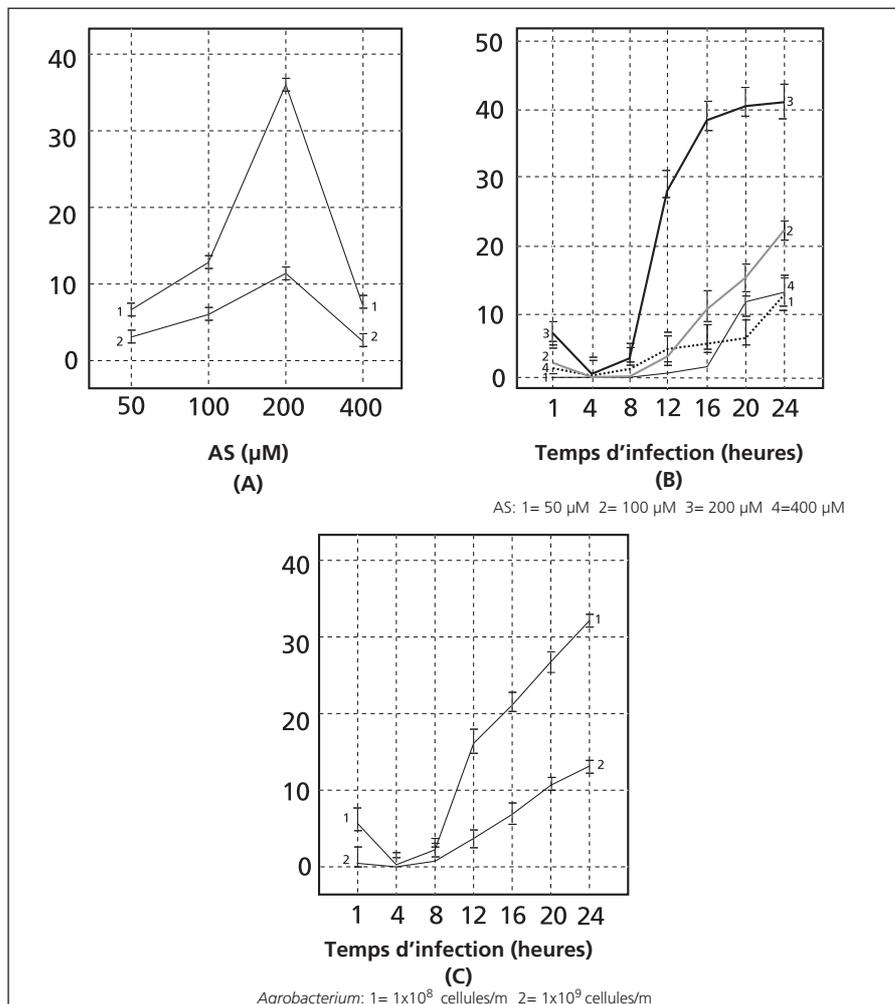


Figure 2. Estimation des composants de la variance pour les facteurs : concentration d'*Agrobacterium* (Ag), concentration d'acétosyringone (AS), temps d'infection (T) et leurs interactions.

à 2×10^{10} cellules/ml (Shen *et al.* 1993). Ceci pourrait s'expliquer par le type de tissu et l'espèce végétale que l'on infecte. Il est probable que le tissu soit plus rapidement infecté par une concentration bactérienne supérieure à 10^9 cellules/ml, ou peut-être est-il plus sensible à l'infection. Ainsi, une concentration de 10^8 cellules/ml serait suffisante pour transférer l'ADN-T et nécessaire afin qu'il y ait moins de compétition entre les cellules pour l'utilisation des éléments nutritifs du milieu de culture.

On sait que l'AS augmente l'efficacité de la transformation aussi bien chez les dicotylédones que chez les monocotylédones infectées (Stachel *et al.* 1985, Sheikholesman *et al.* 1987, Delmotte *et al.* 1991, Shen *et al.* 1993, Hansen *et al.* 1994). L'absence d'activité GUS dans les traitements sans AS démontre que la présence de ce composé phénolique est indispensable pour la transformation de ce type de tissu. Cela pourrait provenir du fait que le tissu végétal n'est pas infecté ou que les monocotylédones ont des

Figure 3. Moyenne et intervalle de confiance de l'activité GUS observée pour les interactions entre les facteurs évalués. A) *Agrobacterium* x AS. B) AS x temps d'infection. C) *Agrobacterium* x temps d'infection.



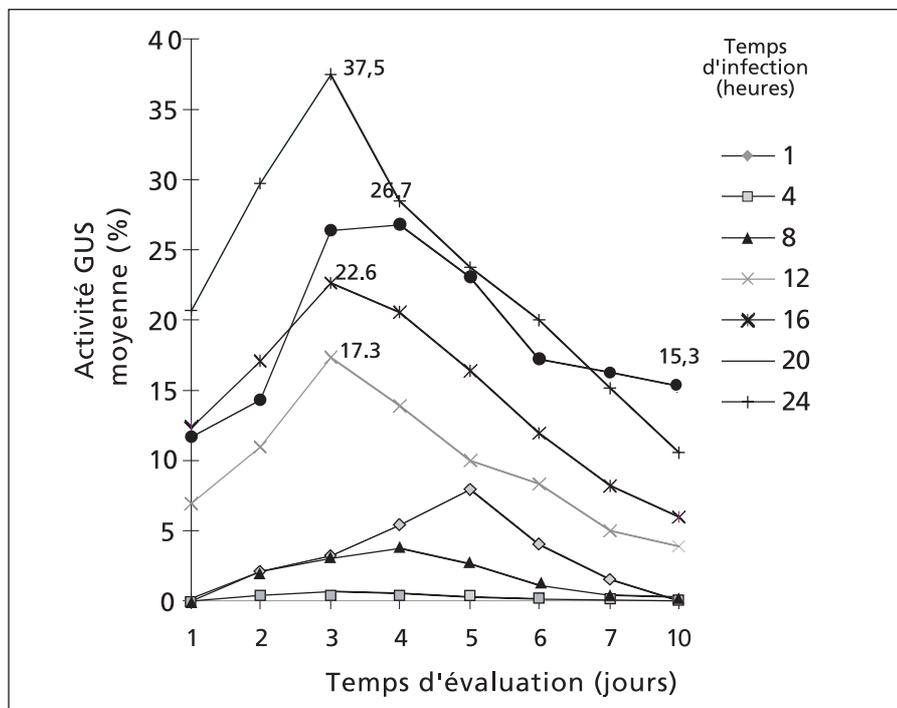


Figure 4. Moyenne et intervalle de confiance de l'efficacité de la transformation pour les temps d'infection à différents temps d'évaluation.

difficultés à activer les gènes de virulence. Bien que l'on trouve des composés phénoliques inducteurs de gènes *vir* chez des tissus infectés de monocotylédones (Usami *et al.* 1988), ceux-ci ne suffisent probablement pas pour provoquer l'activation (Schäfer *et al.* 1987) et par conséquent, il s'avère nécessaire d'ajouter de l'AS synthétique dans les milieux d'induction, d'infection et de coculture.

L'analyse indépendante des facteurs montre que la meilleure efficacité de l'expression transitoire est obtenue pour 24 heures (23,24%). On n'a pas réussi à déterminer, avec les durées d'infection testées, celle permettant la meilleure efficacité, mais seulement que le temps d'infection doit être situé entre 16 et 24h dans le cas des SCE. Il reste à évaluer si une durée supérieure à 24h permettrait une augmentation du pourcentage de cellules modifiées ou si, au contraire, elle porterait atteinte à la viabilité du tissu végétal. Ces résultats démontrent que l'efficacité de la transformation dépend en grande partie du temps d'infection. L'utilisation d'un intervalle aussi étendu (1 à 24h) découle du fait que ce facteur est un de ceux qui varient le plus en fonction du type de tissu végétal.

L'étude des interactions entre les trois paramètres étudiés souligne qu'il est important de les combiner afin d'améliorer l'efficacité de la transformation.

L'expression du gène rapporteur a été étudiée dans les premiers jours suivant l'infection. L'interaction du facteur temps d'infection avec celui de la durée de l'évaluation permet de constater que le pic de l'activité maximale du gène GUS survient au troisième

jour et, qu'à partir de là, cette activité diminue. Cela est peut-être dû à l'action sur les SCE de l'antibiotique de sélection que l'on a ajouté au quatrième jour, suggérant que l'expression initiale du gène *gusA* était généralement de type transitoire. La détection de l'activité GUS au dixième jour montre la possibilité d'obtenir des transformants stables pour diverses raisons: 1) l'expression transitoire d'un gène est détectée seulement dans les 4 à 6 premiers jours suivant la transformation et disparaît au dixième jour (Castle et Morris 1994); 2) à partir du quatrième jour, l'antibiotique de sélection a agi et l'activité GUS est détectée seulement dans les SCE transformées résistantes à l'antibiotique (Zheng *et al.* 1991); 3) la transformation proportionnée par *Agrobacterium* est un mécanisme qui possède l'avantage par rapport aux méthodes de transformation directe d'introduire beaucoup plus probablement de l'ADN hétérologue au sein du génome végétal, avec intégration d'un faible nombre de copies des gènes introduits (Hiei *et al.* 1994), et transfert de segments d'ADN relativement longs, aux extrémités bien définies et présentant peu de recombinaisons (Gelvin et Liu 1994, Hiei *et al.* 1994, Pineda et Orozco 1996, Ishida *et al.* 1996, Komari *et al.* 1996).

Conclusion

La possibilité d'obtenir des transformants stables est confirmée par l'expression stable, postérieure à l'infection par *A. tumefaciens*, qui a été réussie chez des cellules méristématiques de bananier 'Grande naine' (May *et al.* 1995). L'efficacité de cette méthodologie pour la réussite d'une trans-

formation stable est encore plus probable en utilisant des suspensions cellulaires embryogéniques de *Musa* (Ganapathi 2001). Les cultures embryogéniques présentent en effet l'avantage que les plantes peuvent être régénérées à partir d'une seule cellule, évitant ainsi la formation de transformants chimeriques. Le taux de multiplication est aussi au moins cinq fois plus élevé que celui de prolifération des cultures de méristèmes (Dhed'a *et al.* 1991, Escalant et Teisson 1989, Panis *et al.* 1993). De plus, utiliser des cellules en division active comme les cellules embryogéniques peut favoriser l'intégration de l'ADN-T dans le génome nucléaire, le matériel enzymatique nécessaire à l'intégration y étant présent (Shen *et al.* 1993).

La méthode utilisée pour transformer des suspensions cellulaires embryogéniques de 0,25 à 0,5 mm en phase de croissance du bananier plantain 'Dominico hartón', a permis d'obtenir une expression transitoire allant jusqu'à 37,5% ce qui nous permet d'espérer obtenir des plantes transgéniques exprimant de façon stable le gène intégré.

Remerciements

Les auteurs remercient le Dr William Roca du CIAT, pour avoir aimablement fourni la souche d'*Agrobacterium* At650/pLIGH, l'Institut de Biotechnologie de l'Université de Colombie pour son assistance technique, le Dr Rony Swennen (KULEuven) pour sa collaboration dans la mise en culture des SCE dans son laboratoire et l'*Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología* (COLCIENCIAS) pour le financement de ce projet. ■

Références

- Castle L. & R. Morris. 1994. Transient Expression Assays using GUS constructs and fluorometric detection for analysis of T-DNA transfer. Pp. 1-16 in Plant Molecular Biology Manual B5. Kluwer Academic Publishers, Belgique.
- Delmotte F., D. Delay, J. Cizeau, B. Guerin & J. Leple. 1991. *Agrobacterium* vir-inducing activities of glycosylated acetosyringone, acetovanillone, syringaldehyde and syringic acid derivatives. *Phytochemistry* 30:3549-3552.
- Dhed'a D., F. Dumortier, B. Panis, D. Vuylsteke & E. De Langhe. 1991. Plant regeneration in cell suspension cultures of the cooking banana cv. "Bluggoe" (*Musa* spp. ABB group). *Fruits* 46:125-135.
- Escalant J. & C. Teisson. 1989. Somatic embryogenesis and plant from immature zygotic embryos of species *Musa balbisiana* and *Musa acuminata*. *Plant Cell Reports* 7:665-668.
- Ganapathi T.R. 2001. *Agrobacterium*-mediated transformation of embryogenic cell suspensions of the banana cultivar Rasthali (AAB). *Plant Cell Reports* 20:157-162

- Gelvin S. & C. Liu. 1994. Genetic manipulation of *Agrobacterium tumefaciens* strains to improve transformation of recalcitrant plant species. Pp. 1-13 in *Plant Molecular Biology Manual B4*. Kluwer Academic Publishers, Belgium.
- Hansen G., A. Das & M. Chilton. 1994. Constitutive expression of the virulence genes improves the efficiency of the plant transformation by *Agrobacterium*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 7603-7607.
- Hiei Y., S. Ohta, T. Komari & T. Kumashiro. 1994. Efficient transformation of rice (*Oryza sativa* L.) mediated by *Agrobacterium* and sequence analysis of the boundaries of the T-DNA. *The Plant Journal* 6:271-282.
- Ishida Y., H. Saito, S. Ohta, Y. Hiei, T. Komari & T. Kumashiro. 1996. High efficiency transformation of maize (*Zea mays* L.) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Nature Biotechnology* 14:745-750.
- Jefferson R.A., T.A. Kavanagh & M.W. Bevan. 1987. GUS fusions: b-glucuronidase as a sensitive and versatile gene marker in higher plants. *EMBO J.* 6:3901-3907.
- Komari T., Y. Hiei, Y. Saito, N. Murai & T. Kumashiro. 1996. Vectors carrying two separate T-DNAs for co-transformation of higher plants mediated by *Agrobacterium tumefaciens* and segregation of transformants free from selection markers. *The Plant Journal* 10:165-174.
- Narasimhulu S., X. Deng, R. Sarriá & S. Gelvin. 1996. Early transcription of *Agrobacterium* T-DNA genes in tobacco and maize. *The plant cell* 8:873-886.
- Panis B., D. Dhed'A., K. De Smet, L. Sági, B. Cammue & R. Swennen. 1993. Cell suspensions from somatic tissue in *Musa*: Applications and prospects. Pp. 317-325 in *Breeding banana and plantain for resistance to diseases and pests* (J. Ganry, ed.). Cirad-Flhor, Montpellier, France.
- Pineda C. & M. Orozco. 1996. *Agrobacterium* Ingeniero genético natural. *Innovación y Ciencia* V(5):27-32.
- Sági L., S. Remy, B. Panis, R. Swennen & G. Volckaert. 1994. Transient gene expression in electroporated banana (*Musa* spp., cv. 'Bluggoe', ABB group) protoplast isolated from regenerable embryogenic cell suspensions. *Plant Cell Reports* 13(5):262-266.
- Sági L., B. Panis, S. Remy, H. Schoofs, K. De Smet, R. Swennen & B. Cammue. 1995. Genetic transformation of banana and plantain (*Musa* spp.) via particle bombardment. *Biotechnology* 13:481-485.
- Sági L., S. Remy, B.P.A. Cammue, K. Maes, T. Raemaekers, B. Panis, H. Schoofs & R. Swennen. 2000. Production of transgenic banana and plantain. *Acta Horticulturae* 540:203-206.
- Schäfer W., A. Goerz & G. Kahl. 1987. T-DNA integration and expression in a monocot crop plant after induction of *Agrobacterium*. *Nature* 327:529-32.
- Sheikholesman S. & D. Weeks. 1987. Acetosyringone promotes high efficiency transformation of *Arabidopsis thaliana* explants by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Molecular Biology* 8:291-298.
- Shen W., J. Escudero, M. Schalappi, C. Ramos, B. Hohn & Z. Kuokolikova. 1993. T-DNA transfer to maize cells: histochemical investigation of b-glucuronidase activity in maize tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90:1488-1492.
- Stachel S., E. Messens, M. Montagu & P. Zambirsky. 1985. Identification of the signal molecules produced by wounded plant cells that activate T-DNA transfer in *Agrobacterium tumefaciens*. *Nature* 318:624-629.
- Usami S., S. Okamoto, Y. Takebe & Y. Machida. 1988. Factor inducing *Agrobacterium tumefaciens vir*

Cielo Rocío Pineda travaille au Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Vegetal, et Andrés Laignelet à l'Unidad de Vinculación Tecnológica, CORPOICA, A.A. 240142, Las Palmas, Santafé de Bogotá, Colombia; Nelson Toro Perea et Heiver Cárdenas au Departamento de Biología, Sección de Genética, Universidad del Valle, A.A. 25360, Cali, Colombia; Javier Narvaez et Martha Lucia Orozco travaillent actuellement à l'Institute of Biological Chemistry, Washington State University, Pullman, WA99164, EEUU. *Auteur pour toute correspondance électronique, e-mail: ciropi70@hotmail.com

Amélioration

Tolérance à la salinité

Génotypes de bananiers (*Musa* spp.) soumis au stress salin: tolérance et sensibilité

E. Waked Ferreira Gomes,
L. Willadino*, L.S. Semen Martins,
T. Rangel Camara
et S. de Oliveira e Silva

La culture des bananiers est restreinte dans les zones présentant des problèmes de salinité ou de teneur élevée en sodium. Ces problèmes, dus à une eau d'arrosage saline et à un travail inapproprié du sol, vont en s'aggravant dans les régions arides et semi-arides un peu partout dans le monde.

La salinité du sol réduit la croissance et la productivité de la culture en raison de la diminution de la pression osmotique dans le sol et de l'augmentation de la concentration de certains ions, qui atteint alors un niveau toxique pour la plante. Ces facteurs interfèrent non seulement avec des processus physiologiques tels que la transpiration, la pho-

tosynthèse, la translocation et la respiration, mais de plus, ils provoquent un déséquilibre hydrique et/ou ionique chez la plante (Richards 1992, Bohra *et al.* 1993).

Les techniques de récupération des sols salins sont, en général, lentes et onéreuses. Aussi, l'emploi de cultivars de bananiers tolérant le stress salin est-il présenté comme une solution davantage viable du point de vue technico-économique. La sélection de génotypes de bananiers sur des sols naturellement salins s'avère difficile à cause de la grande variabilité spatio-temporelle de la concentration ionique dans le sol. Pour éviter ces variations naturelles, une première étape de sélection peut avoir lieu dans une solution nutritive saline (Rawson *et al.* 1998), là où le contrôle de la concentration ionique est réalisable.

Le travail présenté ici a pour objectif d'évaluer la tolérance à la salinité de cinq génotypes de bananiers cultivés en serre,

d'étudier l'effet du stress salin sur les paramètres physiologiques et d'évaluer la diversité génétique existant entre eux grâce à des marqueurs iso-enzymatiques.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a été conduite en serre à l'Université Rurale Fédérale de Pernambuco, à Recife, Brésil. Ont été évalués les génotypes des bananiers suivants: 'Calcutta 4' (AA) ; 'Pacovan' (AAB, sous groupe Prata), mutant de la variété commune Prata (Pome) ; 'Nanicão' (AAA, sous groupe Cavendish) ; 'Caipira' ('Yangambi km 5', AAA) et 'FHIA-18' (AAAB).

On a utilisé des plants issus de micropropagation d'environ 15 cm de long. La culture s'est faite en sacs de polyéthylène noir de 55 cm de long et 33 cm de diamètre contenant 10 kg de sable. La surface du substrat a été recouverte d'une couche de 3 cm de graviers pour réduire l'évaporation et favoriser le

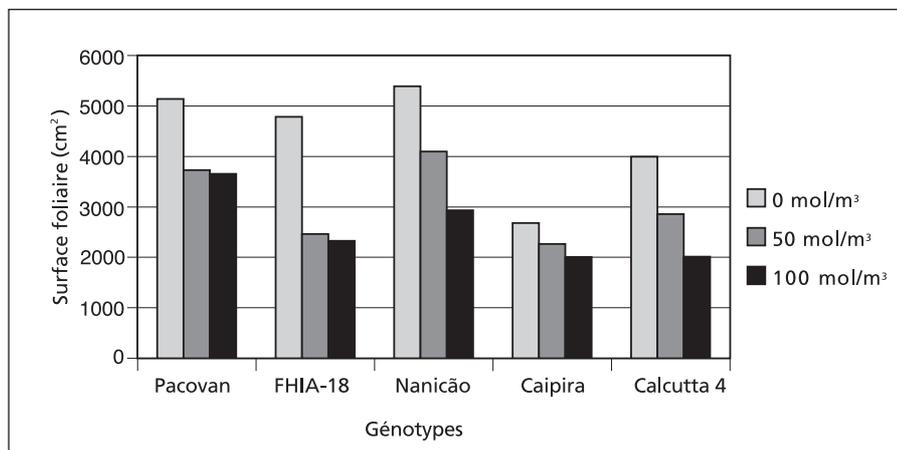


Figure 1. Surface foliaire de cinq génotypes de bananiers après 21 jours de traitement salin.

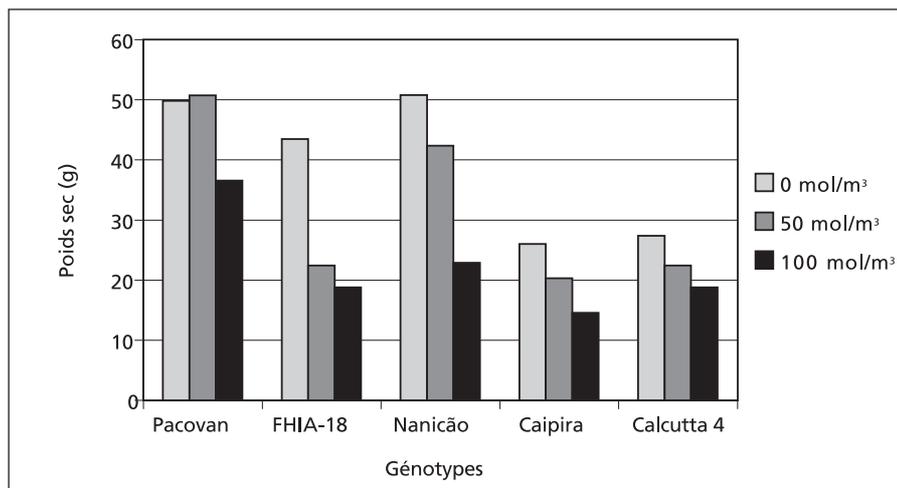


Figure 2. Poids sec de cinq génotypes de bananiers après 21 jours de traitement salin.

contrôle de la salinité. On a employé un système d'irrigation au goutte à goutte, avec arrosage journalier de 15 min pour garantir un apport de 0,6 L de liquide par plante et par jour. La solution d'arrosage contenait 742,86 mg/l de fertilisant soluble (Kristalon®), composé de 3% de N, de 11% de P₂O₅, de 38% de K₂O, de 4% de MgO, de 11% de S et d'oligoéléments. On a fourni également 840 mg/l de nitrate de calcium (Barco Viking®), comprenant 15,5% de N et 19% de Ca. On a établi trois types de traitements en faisant varier les concentrations du NaCl additionné à la solution nutritive: 0 ; 50 et 100 mol/m³. La conductivité électrique des solutions a été respectivement de: 0,3 ; 6,5 et 11,7 dS/m. Le niveau de conductivité électrique a été mesuré tous les deux jours et ajusté si nécessaire.

L'expérimentation a respecté un dispositif complètement randomisé, avec trois niveaux de salinité et cinq cultivars (2 x 3 x 5), soit au total 30 sous-parcelles. Chaque sous-parcelle portait 4 plantes de chaque génotype, soient 120 plantes en tout. Les données ont été analysées statistiquement grâce à l'analyse de variance. La comparaison des moyennes a été faite par le test de Tukey, à 5% de probabilité. On a évalué les paramètres suivants : la surface foliaire, la pro-

duction de matière sèche et la concentration de sodium (Na⁺), de potassium (K⁺), de calcium (Ca²⁺) et de chlorure (Cl⁻) dans le tissu végétal. On a analysé en outre cinq systèmes isoenzymatiques: la peroxydase (PO), la shikimate déshydrogénase (SKDH), la malate déshydrogénase (MDH), la glutamate oxalo acétate transaminase (GOT) et la phosphatase acide (ACP).

A la fin de l'expérimentation, 21 jours après le début des traitements, on a estimé la superficie foliaire en multipliant le produit de la largeur et de la longueur de la feuille (cm) par le coefficient 0,7 (adapté de Moreira 1987). Les plantes ont été sectionnées en trois parties : limbe, pseudotrunc et racines + rhizome. Le poids sec a été déterminé après passage en étuve à 65°C, jusqu'à obtenir un poids constant. On a analysé les concentrations en Na⁺, K⁺, Ca⁺ et Cl⁻ sur chacune de ces parties de la plante

Une fois sec, le matériel végétal a été malaxé. On en a prélevé une partie pour la soumettre à une digestion nitro-perchlorique afin d'analyser le sodium, le potassium et le calcium. Les concentrations en Na⁺ et en K⁺ ont été déterminées par spectrophotométrie de flamme et celle en calcium par spectrophotométrie d'absorption atomique (Malavolta *et al.* 1989). Le chlorure a été

mesuré par titrage au nitrate d'argent, après extraction préalable en solution aqueuse (Malavolta *et al.* 1989).

Pour l'analyse des isoenzymes, on a utilisé 350 mg de matériel frais du limbe de la troisième feuille de chaque plante. Les échantillons ont été pulvérisés dans un mortier refroidi à l'avance, avec 1 ml de solution tampon (Scandalios 1969), 300 mg de saccharose et 300 mg de polyvinylpyrrolidone (PVP). Les matières ainsi homogénéisées ont été centrifugées à 14 000 t/min à 4°C, durant 10 min. Ensuite, on a prélevé des parties aliquotes de 10 ml du surnageant et on les a incluses dans les gels. La migration s'est faite à la température de 4°C et à un potentiel de 9,0 V/cm, jusqu'à ce que la ligne de front atteigne 9 cm en direction du pôle positif. On a ensuite teinté et photographié les gels. Pour les systèmes ACP, MDH et SKDH, les gels ont été confectionnés avec 8 ml de tampon borate de lithium à 0,2 M et de pH 8,3 et 72 ml de tampon citrate à 0,2 M et de pH 8,3. Dans les cuves, on a employé du tampon borate de lithium à 0,2 M et de pH 8,3. Les gels du système GOT ont été confectionnés avec du tampon acétate de sodium à 0,2 M et de pH 5,0, et ceux du système PO avec du tampon Poulik pour gel, de pH 8,0 (9,2g de Tris, 0,96g d'acide citrique et de l'eau distillée pour compléter à 1000 ml). Dans les cuves, on a utilisé, aussi bien pour le système GOT que pour le PO, du tampon Poulik pour cuves (18,54 g d'acide borique et 2 g d'hydroxyde de sodium et de l'eau distillée pour compléter à 1000 ml). Tous les gels ont été utilisés à la concentration de 7% (0,28g de bis-acrylamide, 5,32g d'acrylamide, 0,08ml de TEMED, 0,8 ml de persulfate d'ammonium à 10% et 80 ml de tampon spécifique). La fixation des gels s'est faite en solution AYALA (alcool méthylique, acide acétique glacial et eau distillée dans les proportions de 1/1/1, v/v), durant 20 min.

Les résultats obtenus à partir de l'analyse isoenzymatique et de la coloration des gels ont été répertoriés suivant la présence (1) ou l'absence (0) de bandes. Les similitudes génétiques entre génotypes ont été estimées d'après le coefficient de Dice (équivalent à l'indice de Nei et Li 1979), grâce au programme NTSYS - pc (*Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, version 1.70, Exeter software, NY, USA*). Les dendrogrammes ont été construits selon la méthode UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Arithmetic Average*) grâce au programme NTSYS - pc.

Résultats et discussion

Effets de la salinité sur la croissance

L'augmentation de la teneur en NaCl de la solution nutritive provoque la réduction de la surface foliaire (figure 1) et du poids sec

(figure 2), pour la majorité des génotypes. Cet effet, fréquent chez les glycophytes, a précédemment été observé chez d'autres génotypes (Borges et Cintra 1988, Araújo Filho *et al.* 1995). La diminution de la croissance des feuilles résulte en partie d'une réduction de l'assimilation nette en CO₂ (Akita et Cabuslay 1990) provoquée par la fermeture des stomates en réponse au faible potentiel de l'eau du sol ou du substrat, conséquence à son tour de la concentration élevée en sel. Il y a, parallèlement à l'adaptation à la salinité, un coût métabolique dû au détournement d'une partie de l'énergie destinée à la compartimentation des ions et à la synthèse des solutés organiques (Binzel *et al.* 1985). En ce qui concerne le traitement avec 100 mol/m³ de NaCl, la plus forte réduction de la surface foliaire s'est produite chez 'FHIA-18' (51,34%), suivie par 'Calcutta 4' (49,64%) et 'Nanicão' (45,70%), alors que les réductions ont été seulement de 25,14% et de 28,91% chez 'Caipira' et 'Pacovan', respectivement (figure 1). Dans le cas de 'Caipira', la réduction coïncide avec une surface foliaire déjà petite chez les plantes témoins (sans NaCl).

Des symptômes de stress tels que la chlorose et la nécrose de la marge du limbe foliaire se sont manifestés plus sévèrement chez le diploïde 'Calcutta 4', allant jusqu'à la

mort des feuilles. Ces symptômes ont réduit la surface active pour la photosynthèse et provoqué une réduction marquée de la croissance.

En conditions non salines, 'Nanicão' et 'Pacovan' avaient les poids secs les plus élevés (50,76g et 49,80g par plante, respectivement), comme on peut le voir sur la figure 2. De plus, au niveau le plus élevé de salinité (100 mol/m³ de NaCl), 'Pacovan' a présenté la plus faible réduction du poids sec (40,01%), alors que 'Nanicão' et 'Calcutta 4' ont subi des pertes de 58,95% et 69,32% respectivement. 'Pacovan' a maintenu une forte production de biomasse au niveau de salinité le plus élevé (100 mol/m³), ce qui représente une des caractéristiques importantes des génotypes tolérants au stress. Chez ce génotype, le maintien de 60% de la production de biomasse a coïncidé avec une faible réduction de la surface foliaire par rapport aux autres génotypes.

Accumulation d'ions

On n'a pas enregistré de différences significatives entre les génotypes en ce qui concerne la concentration du sodium dans l'ensemble racines + rhizome (tableau 1). Cependant, 'Pacovan' et 'FHIA-18' ont accumulé moins de sodium dans le pseudotrunc à la concentration de 100 mol/m³ de NaCl que

les autres génotypes étudiés (tableau 1). Ces deux cultivars se détachent également du lot pour avoir présenté, avec 'Caipira', les concentrations les plus basses en sodium dans le limbe à la concentration saline la plus élevée (tableau 1). 'Calcutta 4', d'autre part, a accumulé plus de sodium dans la feuille que les autres variétés, soit une concentration jusqu'à huit fois supérieure au traitement témoin. Ces résultats montrent une différence génétique quant à la faculté d'exclure le sodium des parties aériennes afin d'éviter l'augmentation de la présence de ce cation dans les feuilles et de minimiser son effet toxique sur le métabolisme foliaire, surtout dans les processus photosynthétiques (Boursier *et al.* 1987). Compte tenu que l'excès de sodium dans le milieu provoque une accumulation passive de cet ion dans les racines qui possèdent une capacité limitée à accumuler les ions, il est probable qu'il existe un mécanisme d'exclusion du sodium opérant au niveau racinaire pour éviter le transport de ce cation jusqu'aux parties aériennes. Ce mécanisme de transport du sodium vers les feuilles et celui de l'absorption racinaire paraissent être régulés séparément. La difficulté à maintenir le contrôle de la concentration du sodium dans des tissus métaboliquement actifs, comme les feuilles par exemple, pro-

Tableau 1. Teneurs en sodium, chlorure, potassium et calcium dans le pseudotrunc, l'ensemble racines + rhizome et le limbe foliaire de cinq génotypes de bananiers après 21 jours de traitements comportant du NaCl.

| Génotypes | Pseudotrunc | | | Racines + rhizome | | | Limbe foliaire | | |
|------------|----------------------------|----------|----------|----------------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | NaCl (mol/m ³) | | | NaCl (mol/m ³) | | | NaCl (mol/m ³) | | |
| | 0 | 50 | 100 | 0 | 50 | 100 | 0 | 50 | 100 |
| | Na ⁺ (g/kg) | | | Na ⁺ (g/kg) | | | Na ⁺ (g/kg) | | |
| Caipira | 1,6bA* | 10,4abA | 15,4aA | 2,9aA | 8,8aA | 12,9aA | 3,5aB | 5,1bAB | 6,5cA |
| Pacovan | 2,1aB | 9,2abA | 10,8bA | 4,6aA | 10,0aA | 15,4aA | 3,2aB | 5,3bA | 6,3cA |
| Calcutta 4 | 1,6aC | 7,9bB | 13,8aA | 2,9aB | 9,2aAB | 15,4aA | 3,8aC | 18,1aB | 28,0aA |
| FHIA-18 | 0,8aB | 6,7bA | 7,9bA | 2,9aA | 8,8aA | 11,7aA | 3,4aB | 5,5bA | 5,8cA |
| Nanicão | 1,7aB | 12,1aA | 12,5aA | 4,7aB | 13,3aAB | 16,7aA | 3,5aC | 5,8bB | 14,9bA |
| | Cl ⁻ (g/kg) | | | Cl ⁻ (g/kg) | | | Cl ⁻ (g/kg) | | |
| Caipira | 4,0aB | 53,4abA | 62,1aA | 3,5aB | 41,4aA | 49,7aA | 3,3aB | 40,6aA | 42,2bcA |
| Pacovan | 4,8aB | 37,6bA | 42,6aA | 5,7aB | 41,8aA | 45,9aA | 3,9aB | 31,4aA | 34,3cA |
| Calcutta 4 | 3,1aB | 44,3abA | 49,3aA | 5,3aB | 45,1aA | 50,5aA | 4,9aC | 35,2aB | 66,2aA |
| FHIA-18 | 3,5aB | 48,0abA | 46,8aA | 4,0aB | 38,5aA | 43,4aA | 5,6aB | 29,9aAB | 38,1cA |
| Nanicão | 6,1aB | 62,9aA | 57,9aA | 3,1aB | 46,7aA | 45,1aA | 4,3aB | 37,7aA | 58,8abA |
| | K ⁺ (g/kg) | | | K ⁺ (g/kg) | | | K ⁺ (g/kg) | | |
| Caipira | 117,1aAB | 138,8abA | 97,9abB | 54,2aA | 64,2aA | 55,5aA | 25,8abA | 27,5aA | 30,0abA |
| Pacovan | 90,4aB | 145,4aA | 117,9aAB | 57,9aA | 52,9aA | 61,3aA | 20,8bA | 26,3aA | 25,8bA |
| Calcutta 4 | 99,2aA | 113,3abA | 73,8bB | 54,2aA | 54,2aA | 52,5aA | 28,8aA | 16,3bB | 11,7cB |
| FHIA-18 | 95,0aA | 104,2bA | 106,3abA | 41,3aB | 62,9aA | 60,8aA | 25,8abB | 30,4aAB | 32,5aA |
| Nanicão | 100,8aB | 131,3abA | 107,5abB | 54,6aA | 58,3aA | 66,7aA | 24,2abA | 27,1aA | 22,9bA |
| | Ca ²⁺ (g/kg) | | | Ca ²⁺ (g/kg) | | | Ca ²⁺ (g/kg) | | |
| Caipira | 4,6aA | 5,7bA | 6,7bA | 5,3bA | 4,7bA | 6,6abA | 10,6abA | 8,3aB | 6,7abB |
| Pacovan | 4,2aA | 5,0bA | 3,7cA | 8,0abA | 6,2bA | 6,1abA | 7,6cA | 5,5bcB | 4,4bB |
| Calcutta 4 | 6,4aB | 11,5aA | 13,2aA | 8,2abA | 9,9aA | 8,7aA | 11,7aA | 4,3cB | 4,7bB |
| FHIA-18 | 6,8aA | 6,1bA | 5,9bcA | 7,5abA | 5,5bA | 4,8bA | 9,3bcA | 6,2bB | 4,9bB |
| Nanicão | 6,6aA | 5,9bA | 7,2bA | 8,8aA | 5,8bB | 7,3abAB | 9,7bA | 7,4abB | 8,4aB |

* Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre minuscule, ou de la même lettre majuscule sur la même ligne, ne présentent pas de différences significatives par la preuve de Tukey à 5% de probabilité.

voque des perturbations physiologiques et biochimiques (Boursier et Lauchli 1990, Botella *et al.* 1997).

Le chlorure est l'ion qui s'est le plus accumulé dans les tissus végétaux. 'Calcutta 4' a présenté la concentration la plus élevée de chlorure dans le limbe foliaire, à la concentration de 100 mol/m³ de NaCl. Dans les mêmes conditions, 'Pacovan' et 'FHIA-18' ont maintenu les niveaux de chlorure les plus bas dans le limbe (tableau 1). La compartimentation ionique au niveau de l'organe est un mécanisme de tolérance au stress salin, bien que son fondement physiologique n'ait pas été encore complètement élucidé (Shanon et Noble 1995). Les ions peuvent s'accumuler dans les feuilles en fonction de la quantité d'eau transpirée. Cependant, quand la concentration dans les feuilles excède le niveau de tolérance de la plante, il se produit des dégâts caractéristiques sur les feuilles comme des nécroses et des brûlures (Ayers et Westcot 1999). Les symptômes du stress salin sur le limbe foliaire ont été plus sévères chez 'Calcutta 4' que chez les autres génotypes étudiés et ont coïncidé, de surcroît, avec les concentrations de Na⁺ et de Cl⁻ les plus élevées.

En ce qui concerne les teneurs en K⁺, 'Calcutta 4' a présenté une réduction significative de ce cation dans la partie aérienne (limbe foliaire et pseudotrunc) en relation avec l'augmentation de la salinité (tableau 1). Ces baisses ont été concomitantes à l'augmentation du Na⁺ dans les tissus. La tolérance au stress salin est associée à l'exclusion des ions toxiques et à la sélectivité de la membrane, principalement dans la discrimination entre Na⁺ et K⁺ (Botella *et al.* 1997), mécanisme absent chez 'Calcutta 4'. Quant à la distribution de K⁺ dans les différentes parties de la plante (limbe, pseudo-tronc et ensemble racines + rhizome), les teneurs les plus fortes ont été observé dans le pseudotrunc, pour tous les génotypes étudiés (tableau 1).

L'augmentation de la salinité a coïncidé avec une diminution de la teneur en Ca²⁺ dans le limbe foliaire de tous les génotypes étudiés, à l'exception du diploïde 'Calcutta 4' qui a accumulé ce cation dans le pseudotrunc, pour les différents traitements salins (tableau 1).

Les résultats contrastés entre les génotypes étudiés sont en relation avec leur capacité d'adaptation et de croissance en milieu salin, laquelle, à son tour, est contrôlée par des facteurs génétiques. A part le cultivar 'Nanicão', dont la vigueur initiale était comparable à celle de 'Pacovan', c'est ce dernier qui s'est montré le plus productif et le plus tolérant dans les conditions de stress salin imposées. La production élevée de biomasse de ce cultivar peut être attribuée à sa facilité à limiter les mouvements ioniques de Na⁺ et de Cl⁻ vers les feuilles, de façon à ce que l'incidence des symptômes et des dommages au niveau du limbe foliaire soit la plus faible possible. Dans le même temps, le diploïde 'Calcutta 4' soumis au stress salin, a présenté les teneurs les plus élevées en Na⁺ et Cl⁻ dans le limbe foliaire qui étaient associées aux symptômes de toxicité les plus marqués et à la production de biomasse la plus faible.

Isoenzymes

Le profil de l'estérase n'a pas présenté de bandes consistantes pour aucun traitement ou génotype étudiés. Au contraire, Reyes *et al.* (1998) avaient détecté un total de 14 bandes réparties en 5 zones d'activité enzymatique en analysant les feuilles de 15 clones du genre *Musa* provenant de culture *in vitro*, ce qui indiquerait que ces bandes pourraient être activées au cours d'autres phases de développement de la plante.

Le degré de polymorphisme le plus élevé a été obtenu pour le profil de la peroxydase (PO), soit 15 bandes au total (figure 3). Parmi elles, trois (Po-10, Po-11 et Po-15) ont été observées chez tous les individus analy-

sés, indépendamment du traitement auquel avaient été soumises les plantes. C'est seulement dans le traitement sans sel que se sont révélées les bandes suivantes : Po-4 et Po-7 chez 'Pacovan', Po-6 et Po-7 chez 'Nanicão' et Po-14 chez 'Calcutta 4'. La présence du sel a probablement inactivé l'action de ces enzymes. D'autre part, la concentration de 100 mol/m³ de NaCl a activé l'apparition des bandes Po-2, Po-8, Po-13 et Po-14 chez 'FHIA 18' et celle de la bande Po-5 chez 'Pacovan'. Malgré un degré élevé de polymorphisme dans ce système, on n'a pas détecté de bandes apparaissant simultanément pour les différents traitements salins. D'autres chercheurs (Jarret et Litz 1986, Bhat *et al.* 1992) en travaillant sur d'autres génotypes, ont enregistré diverses zones d'activité très polymorphiques chez le bananier.

Quatre bandes sont apparues dans le profil de la shikimate déshydrogénase (SKDH). Les bandes Skdh-3 et Skdh-4 ont présenté une activité chez tous les individus analysés (figure 3). L'activité de ce système a également été rapportée dans d'autres travaux portant sur des génotypes différents de bananier (Jarret et Litz 1986, Horry 1989, Espino et Pimentel, 1990, Bhat *et al.* 1992b, Reyes *et al.* 1998). La bande Skdh-1 est apparue uniquement chez le génotype 'Calcutta 4' soumis au traitement salin. Pour les génotypes 'FHIA-18' et 'Calcutta 4', la présence du sel a activé les bandes Skdh-2 et Skdh-1 respectivement, ce qui indique que l'activité de ces enzymes peut être reliée au stress salin chez ces génotypes.

Le profil de la malate déshydrogénase (MDH) a présenté, chez tous les individus, trois bandes d'activité (Mdh-1, Mdh-2 et Mdh-3), révélant un système monomorphique (figure 4).

Deux régions de bandes ont été observées dans le profil de la glutamate oxaloacétate transaminase (GOT). La bande Got-2 était présente chez tous les individus (figure 4). La bande Got-1 n'était pas active chez les

Figure 3. Zymogramme de la variation isoenzymatique de PO et SKDH pour les génotypes étudiés (migration vers l'anode). Colonne 1 : traitement sans sel, colonne 2 : traitement avec 50 mol/m³ de NaCl et colonne 3 : traitement avec 100 mol/m³ de NaCl.

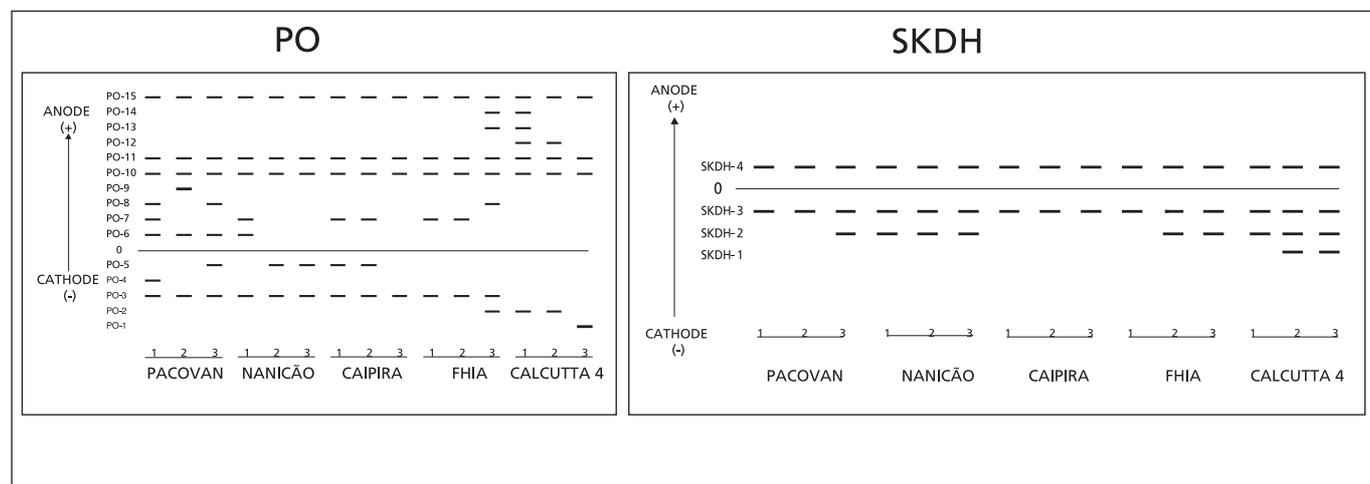
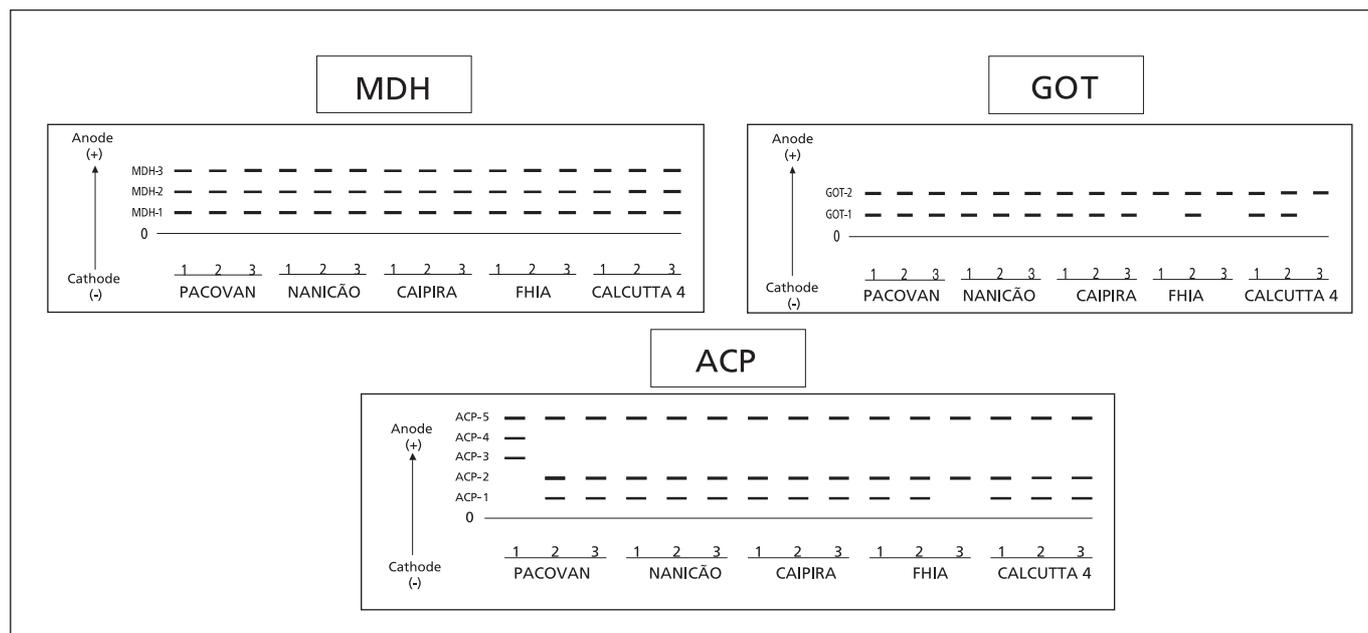


Figure 4. Zymogramme de la variation enzymatique de MDH, GOT et ACP pour les génotypes étudiés (migration vers l'anode). Colonne 1 : traitement sans sel, colonne 2 : traitement avec 50 mol/m³ de NaCl et colonne 3 : traitement avec 100 mol/m³ de NaCl.



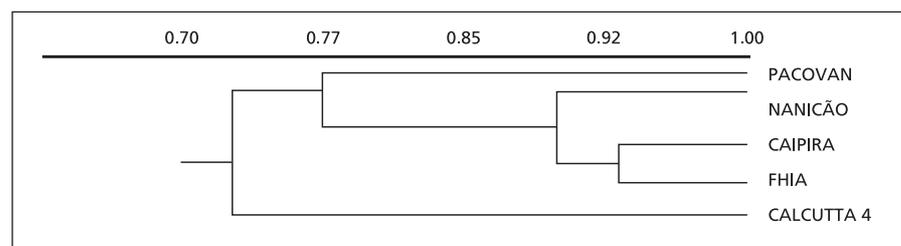
'FHIA-18' lors du traitement sans sel, pas plus que chez 'FHIA-18' et 'Calcutta 4' soumis aux concentrations de 100 mol/m³ de NaCl. Le faible degré de polymorphisme présenté par ce système ne permet pas de spéculer sur sa relation avec le stress salin.

Le profil de phosphatase acide (ACP) a présenté cinq bandes. La plus anodine, Acp-5, a été observée chez tous les individus analysés (figure 4). Les bandes Acp-4 et Acp-3 ont été observées uniquement chez 'Pacovan' non soumis au stress salin. Pour ce traitement, 'Pacovan' n'a pas présenté de bande Acp-2, observée chez tous les autres individus, ni Acp-1 qui n'a pas été observée non plus chez 'FHIA-18' soumis à la concentration de 100 mol/m³ de NaCl. Ce système isoenzymatique peut être utilisé comme marqueur moléculaire pour 'Pacovan', puisqu'en présence de sel (50 et 100 mol/m³) deux bandes n'ont pas été observées (Acp-3 et Acp-4) et que le sel a activé l'expression des bandes Acp-1 et Acp-2. Pour les génotypes du groupe A ('Nanição', 'Caipira' et 'Calcutta 4'), on a observé le même schéma de bandes indépendamment de la présence ou de l'absence de sel.

En considérant qu'on a évalué des génotypes de différents niveaux de ploïdie (diploïdes, triploïdes et tétraploïdes), l'absence d'identification d'un marqueur de sensibilité au sel résulte probablement de l'ampleur de la variabilité génétique ainsi que du nombre de gènes impliqués dans l'activation des enzymes liées aux voies métaboliques activées en réponse au stress salin.

Des cinq systèmes isoenzymatiques ayant manifesté une activité, quatre ont mis en évidence des bandes polymorphiques (ACP, GOT, PO et SKDH). On a révélé un total de 244 bandes, 150 monomorphiques et 94 polymorphiques. D'après l'analyse de la diversité

Figure 5. Analyse du regroupement des individus des génotypes 'Pacovan' (1, 2, 3), 'Nanição' (4, 5, 6), 'Caipira' (7, 8, 9), 'FHIA-18' (10, 11, 12) et 'Calcutta 4' (13, 14, 15), obtenue grâce au programme NTSYS-pc (option UPGMA).



génétique, les génotypes les plus apparentés sont les cultivars 'Nanição' (AA) et 'FHIA-18' (AAAB), avec un degré de ressemblance de 0,969 (96,9%). La paire la plus éloignée génétiquement est formée par les cultivars 'Pacovan' (AAB) et 'Calcutta 4' (AA), avec un degré de ressemblance de 0,606 (60,6%).

Les analyses physiologiques et biochimiques des individus étudiés démontrent que le génotype 'Calcutta 4' est le plus sensible au sel alors que 'Pacovan' est le plus tolérant. Le dendrogramme (figure 5) indique clairement que les génotypes peuvent être divisés en deux groupes: l'un formé par le génotype 'Calcutta 4', diploïde sensible au sel et l'autre composé par les autres génotypes, triploïdes (AAA et AAB) et tétraploïdes (AAAB). ■

Références

Akita S. & G.S. Cabuslay. 1990. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. *Plant and Soil* 123:277-294.
 Araújo Filho J.B. de, H.R. Gheyi, N.C. Azevedo & J.G.R. Santos. 1995. Tolerância da bananeira à salinidade em fase inicial de desenvolvimento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30(7):989-997.
 Bhat K.V., S.R. Bhat & P.S. Chandel. 1992a. Survey of isozyme polymorphism for clonal in *Musa*. I Esterase,

acid phosphatase and catalase. *The Journal of Horticultural Science* 67(6):737-743.

Bhat K.V., S.R. Bhat & P.S. Chandel. 1992b. Survey of isozyme polymorphism for clonal in *Musa*. II Peroxidase, superoxide desmutase, shikimate dehydrogenase and malate dehydrogenase. *The Journal of Horticultural Science* 67(6):737-743.

Binzel M.L., P.M. Hasegawa, A.K. Handa & R.A. Bressan. 1985. Adaptation of tobacco cells to NaCl. *Plant Physiology* 79:118-125.

Bohra J.S. & K. Doerffling. 1993. Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. *Plant and Soil* 152:299-303.

Borges A.L. & F.L.D. Cintra. 1988. Queima das folhas de bananeira no Nordeste do Brasil. *Embrapa/CNPMP. Documentos* 35/91, 16pp.

Botella M.A., V. Martinez, J. Pardines & A. Cerdá. 1997. Salinity induced potassium deficiency in maize plants. *Journal of Plant Physiology* 150:200-205.

Boursier P., J. Lynch, A. Lauchli & E. Epstein. 1987. Chloride partitioning in leaves of salt stressed sorghum, maize, wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 14:463-473.

Boursier P. & A. Lauchli. 1990. Growth response and mineral nutrition relations of salt-stressed sorghum. *Crop Science* 30:1226-1233.

Espino R. & R. Pimentel. 1990. Electrophoretic analysis of selected isoenzymes in BB cultivars of Philippine bananas. Pp 36-40 *in* Identification of genetic diver-

sity in genus *Musa* (R.L. Jarret, ed.). INIBAP, Montpellier, Francia.

Horry J.P. 1989. Chimiotaxonomie et organisation génétique dans le genre *Musa*. *Fruits* 44(9):455-475.

Jarret R. & R. Litz. 1986. Isozymes and allelic diversity in the genus *Musa*. *Plant Genetic Newsletter*. FAO/IBPGR 70:20-23.

Malavolta E., G.C. Vitti & S.A. Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, SP, Potafos.

Moreira R.S. 1987. Banana: teoria e prática de cultivo. Campinas, SP: Fundação Cargill.

Nei M. & W.H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonu-

lease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 76:5269-5273.

Rawson H.M., R.A. Richards & R. Munns. 1998. Na examination of selection criteria for salt tolerance in wheat, barley and triticale genotypes. *Australian Journal of Agricultural Research* 39:759-772.

Reyes L.M.C., O.M. Martínez, & M. Beltrán. 1998. Chimiovariabilité chez le genre *Musa*: caractérisation génétique à l'aide de neuf systèmes enzymatiques. *INFOMUSA* 7(1):6-10.

Richards R.A. 1992. Increasing salinity tolerance of grain crops: is it worthwhile? *Plant and Soil* 146:89-98.

Scandalios J.G. 1969. Genetic control of multiple molecular forms of enzymes in plants. *Biochemical Genetics* 3:337-379.

Elaine Waked Ferreira Gomes, Lilia Willadino*, **Luiza Suely Semen Martins et Terezinha Rangel** Camara travaillent à l'Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, CEP 52.171-900, Recife PE, Brazil. Sebastião de Oliveira e Silva travaille à l'Embrapa Mandioca e Fruticultura, CP 007. CEP 44.380-000 Cruz das Almas-BA, Brésil. *e-mail: lilia@truenet.com.br.

Amélioration

Variant somaclonal

'J.D. Dwarf' : un cultivar supérieur de Cavendish ?

J. Daniells

Les bananes et bananes plantain sont numéro un au niveau mondial, tant en termes de production, environ 98 millions de tonnes, qu'au niveau du marché, évalué à plus de 4306 millions de \$ US (Base de données FAOSTAT 2002). Les cultivars appartenant au sous-groupe Cavendish (AAA) représentent 41% de la production mondiale, dont un tiers (soit 13% de la production mondiale) est exporté (INIBAP 1999).

Grâce à leur rendement élevé, leur longue vie de transport et leur saveur largement acceptée, les cultivars Cavendish ont dominé le marché de l'exportation depuis l'abandon de 'Gros Michel' il y a plus de 50 ans. Leur principal désavantage est leur susceptibilité à une large gamme de ravageurs et de maladies, en particulier la maladie des raies noires causée par *Mycosphaerella fijiensis*. Il en résulte que ces cultivars nécessitent des applications régulières de pesticides. Les organismes de recherche se sont efforcés depuis des années de trouver un remplaçant qui ait des caractéristiques équivalentes à celles des cultivars Cavendish, mais qui soit moins dépendant des pesticides.

Plusieurs cultivars de Cavendish, tels que 'Grande naine', 'Williams', 'Valery', 'Poyo', 'Robusta' et 'Giant Cavendish', sont cultivés dans le monde entier, chacun ayant ses propres avantages et désavantages. Par exemple, le cultivar 'Grande naine' tend à être moins sensible aux dégâts causés par le vent mais n'est pas aussi productif dans des sols pauvres et un environnement plus sec que 'Robusta' et 'Valery'. En Australie, le cultivar le plus populaire, 'Williams', couvre 10 000 hectares.

En 1988, le *Queensland Department of Primary Industries* (QDPI) a produit une variété, 'J.D. Dwarf', qui pourrait être intéressante pour les petits fermiers dans le monde entier. 'J.D. Dwarf' a été collectée comme un hors-type dans une plantation du cultivar

'Williams' issue de culture de tissus. Des données ont été collectées sur un petit nombre de plantes cultivées à la station de recherches de South Johnstone et des essais ont été mis en place sur des propriétés de planteurs en 1990. Le cultivar a été mis en circulation en 1998 pour une évaluation au champ plus large (Daniells et Bryde 1998). Il est aujourd'hui cultivé sur plus de 100 ha dans le Nord Queensland.

Observations en station de recherche

La sélection d'origine avait un port très nain avec des feuilles exceptionnellement dressées, mais au cours des plantations suivantes, le port nain est devenu moins prononcé. 'J.D. Dwarf' n'a pas une hauteur tellement différente de 'Williams'. Comme l'ont montré nos essais en champ, 'J.D. Dwarf' tend à être légèrement plus grand dans les cultures des pieds-mère mais plus petit lors des cycles de production subséquents (Tableau 1).

Les fruits de 'J.D. Dwarf' tendent à être environ 5% plus courts que ceux de 'Williams'. Cela pourrait empêcher l'adoption de 'J.D. Dwarf' par les grossistes et les détaillants qui sont prêts à payer des prix plus élevés pour des fruits plus longs, même si des enquêtes auprès des consommateurs indiquent une préférence pour des fruits de taille intermédiaire. Cette différence de longueur aurait des conséquences moindres pour les petits propriétaires produisant pour leur consommation propre et pour vendre localement.

Lorsqu'ils sont récoltés avec le même diamètre de doigts, les régimes de 'J.D. Dwarf' pèsent moins lourd que ceux de 'Williams', bien que la différence ne soit pas significative. Cependant, on peut laisser les fruits des régimes de 'J.D. Dwarf' se remplir une semaine de plus, ce qui compense le poids de régime inférieur.

Observations à la ferme

'J.D. Dwarf' a un pseudotrunc plus robuste que 'Williams' (figure 1), caractéristique qui le rend

plus résistant aux dégâts causés par le vent, cause la plus importante de perte de rendement dans les bananeraies (Stover et Simmonds 1987). La résistance au vent plus élevée de 'J.D. Dwarf' devrait contribuer à réduire ces pertes. Ceci devrait également se traduire en bénéfices économiques pour les planteurs commerciaux et en sécurité alimentaire accrue pour les petits paysans. 'J.D. Dwarf' peut également souvent être cultivé sans supports pour les régimes, tels que des haubans ou des bambous.

Un autre facteur qui contribue à sa stabilité est son pseudotrunc relativement dressé, qui penche très rarement. Cependant, la récolte doit être effectuée avec un soin particulier. Quand le pseudotrunc de 'J.D. Dwarf' est coupé avec une machette, il peut s'effondrer lorsque le régime est abaissé sur les épaules de la personne qui récolte.

Les taches liées à la maturité sont un désordre physiologique du fruit qui est caractérisé par des taches bronze-rouge sur la peau. Il cause des pertes de production majeures dans le Nord Queensland (Daniells 1985) et dans d'autres endroits comme au Costa Rica (Lahav *et al.* 2000). Les observations des planteurs indiquent que 'J.D. Dwarf' est moins sujet aux taches liées à la maturité. On peut laisser les fruits de 'J.D. Dwarf' se remplir avec beaucoup moins de taches de maturité que 'Williams'.

Pendant les mois d'hiver plus frais du Nord Queensland, la frisure est un problème important (Daniells 1997). Ceci est également vrai pour d'autres zones de production marginales situées loin de l'équateur. En conséquence, les fruits ont une bonne floraison et une belle couleur jaune pendant le mûrissement, à condition que les températures ne descendent pas trop bas. Dans notre essai, les producteurs ont régulièrement tiré des prix plus élevés de 'J.D. Dwarf' à cause de sa meilleure floraison.

Les feuilles dressées de 'J.D. Dwarf' (figure 1) pourraient expliquer la meilleure floraison des fruits et la réduction des taches liées à la maturité, du fait du meilleur régime d'éclair-

Tableau 1. Rendement et caractéristiques de plants de 'J.D. Dwarf' à la station de recherches de South Johnstone et dans les plantations participant à l'évaluation

| | Jours de a plantation à la récolte des régimes | Poids des régimes (kg) | Longueur des doigts de la seconde main (cm) | Hauteur du pseudotrunc (cm) | Longueur du limbe foliaire (cm) | Largeur du limbe foliaire (cm) | Rapport longueur sur largeur du limbe foliaire |
|--|--|------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Station de recherches de South Johnstonea | | | | | | | |
| J.D. Dwarf | 351 ± 4 b | 22,9 ± 1,4 | 24,5 ± 0,5 | 214 ± 4 | 195 ± 6 | 89 ± 1,9 | 2,20 ± 0,03 |
| Williams | 363 ± 5 | 24,9 ± 0,7 | 25,9 ± 0,5 | 205 ± 4 | 195 ± 3 | 84 ± 1,3 | 2,34 ± 0,02 |
| 3ième cycle de production c | | | | | | | |
| J.D. Dwarf | 908 ± 10 | 40,0 ± 2,1 | 25,6 ± 0,5 | 303 ± 7 | 252 ± 7 | 101 ± 1,7 | 2,49 ± 0,04 |
| Williams | 952 ± 21 | 44,0 ± 2,0 | 27,1 ± 0,5 | 327 ± 20 | 265 ± 13 | 98 ± 2,9 | 2,69 ± 0,08 |
| Plantations participantes d | | | | | | | |
| J.D. Dwarf | 400 | 26,1 | 24,0 | 237 | - | - | - |
| Williams | 403 | 27,3 | 24,8 | 232 | - | - | - |

a Les données correspondent à la moyenne de six plants.

b Erreur standard de la moyenne.

c Les données du 2ième cycle de production ont été exclues pour cause de mauvaise sélection des rejets.

d Les données correspondent à la moyenne de 4 plantations avec 20 plants par plantation ; seules les données concernant le 1er cycle de production (ped-mère) étaient disponibles.

ment dans la canopée. 'J.D. Dwarf' pourrait avoir une densité optimale de plants plus élevée, mais ceci nécessite des recherches.

Certains planteurs ont trouvé que 'J.D. Dwarf' est plus facile à emballer dans les cartons en carton-fibre de 13 kg utilisés à l'heure actuelle. C'est parce que les fruits de 'J.D. Dwarf' se remplissent jusqu'à l'extrémité – il n'y a pas de pincement à l'extrémité du côté de la fleur. On a donc un poids plus élevé pour une longueur de fruit donnée, et cela d'autant plus si on laisse les régimes se remplir. 'J.D. Dwarf' a également des mains bien formées, ce qui facilite encore l'emballage.

Dans le nord du Queensland, on traite de manière routinière les régimes émergents quand ils sont encore dressés avec un insecticide pour contrôler la mite de la galle du bananier (*Nacoleia octasema*) et les thrips des fleurs (*Thrips hawaiiensis*). Cependant, comme les feuilles de 'J.D. Dwarf' sont fortement dressées, il est plus difficile de détecter et d'injecter le produit dans les régimes émergents. Une application au sol de fongicides peut également être empêchée par le port dressé de ses feuilles.

La pourriture bactérienne du corme causée par *Erwinia* spp. est un problème d'importance croissante dans le nord du Queensland (Daniells 1995). Les pertes dues à la chute des plants ont pu atteindre jusqu'à 20-30 % dans les premiers cycles de production. Jusqu'ici, les indications données par les fermiers sont que

'J.D. Dwarf' est plus susceptible à la pourriture du corme et du cœur que 'Williams'. 'J.D. Dwarf' pourrait être plus sensible aux stress environnementaux, ce qui le rendrait plus vulnérable à l'invasion par ce pathogène opportuniste (Buddenhagen 1994). Des études en cours pourraient identifier des micro-organismes antagonistes à inoculer sur les plants issus de culture de tissus.

Jusqu'à présent, les plantations en champ de plants de 'J.D. Dwarf' provenant de culture de tissus ont été raisonnablement conformes, avec en moyenne moins de 3% de hors-types. De manière intéressante, la plupart de ces hors-types sont une réversion vers 'Williams', dont ce cultivar est dérivé. Si les autres clones produisaient aussi peu de hors-types que 'J.D. Dwarf', les planteurs auraient une meilleure perception de la culture de tissus.

Conclusion

Les origines de 'J.D. Dwarf' soulignent l'intérêt de la collecte et de la conservation des variants issus de plantations de matériel provenant de culture de tissus. Cette étude illustre également le fait que la communauté scientifique et les planteurs doivent être à l'affût de toute variation potentiellement bénéfique (Daniells et Smith 1993). Aujourd'hui plus que jamais, les planteurs de bananiers ont besoin d'exploiter les variations pour les bénéfices qu'elles pourraient apporter.

Quant à savoir si 'J.D. Dwarf' est supérieur au cultivar 'Williams', la réponse dépendra des circonstances locales. Daniells (2000) a soutenu qu'il n'y a pas de variété parfaite, mais que chacune a son propre lot d'avantages et de désavantages. Les planteurs doivent trouver ce qui est le meilleur pour eux. Toute personne souhaitant évaluer 'J.D. Dwarf' est priée de contacter l'INIBAP. ■

Références

- Buddenhagen I.W. 1994. Banana diseases caused by bacteria. Pp. 15-17 in *Compendium of Tropical Fruit Diseases* (R.C. Ploetz, G.A. Zentmyer, W.T. Nishijima, K.G. Rohrbach, & H.D. Ohr, eds.). APS Press, St Paul, Minnesota.
- Daniells J.W. 1985. The maturity bronzing disorder of banana fruit. *Queensland Agricultural Journal* 11:239-40.
- Daniells J.W. 1995. Results of a survey of research/development priorities and crop management practices in the north Queensland banana industry. *QDPI Bulletin QB 95001*. 20pp.
- Daniells J.W. 1997. Chilling damage in the field. *Bananatopics* 23:26,30,31.
- Daniells J.W. 2000. Quelle variété de bananier cultiver? *INFOMUSA* 9(1):31-33
- Daniells J.W. & N.J. Bryde. 1998. Cavendish dwarf out for trial. *Good Fruit & Vegetables* 8(9):43.
- Daniells J.W. & M.K. Smith. 1993. Somatic mutations of bananas - their stability and potential. Pp162-171 in *Proceedings of the international symposium on recent developments in banana cultivation technology* (R.V. Valmayor, S.C. Hwang, R. Ploetz, S.W. Lee, & N.V. Roa, eds.). 14-18 December 1992, Los Baños, Philippines. INIBAP/ASPNET.
- INIBAP. 1999. *Networking Banana and Plantain: INIBAP Annual Report 1998*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France.
- Lahav E., Y. Israeli, D.R. Jones & R.H. Stover. 2000. Non-infectious disorders of banana. Pp. 325-338 in *Diseases of banana, abacá, and enset* (D.R. Jones, ed.). CAB International.
- Stover, R.H. & N.W. Simmonds. 1987. *Bananas*. Longman.



Figure 1. 'J.D. Dwarf' (à droite) a des feuilles plus dressées et légèrement plus larges que 'Williams' (à gauche).

Evaluation de la descendance d'un croisement entre 'Pisang Berlin' et *M. acuminata* spp. *burmannicoides* 'Calcutta 4' à la recherche de populations ségrégeantes en ce qui a trait à la résistance à la maladie des raies noires et aux nématodes

T. Moens, J.A. Sandoval, J.V. Escalant
et D. De Waele

Le processus d'amélioration pour obtenir des cultivars résistants peut être accéléré si la présence de la caractéristique désirée de la plante, telle que la résistance à une maladie fongique ou aux nématodes, peut être démontrée à un stade précoce de développement de la plante. Ceci est possible quand un lien peut être trouvé entre la présence de certaines séquences d'ADN, que l'on nomme marqueurs moléculaires, et les caractéristiques désirées de la plante. Ces séquences d'ADN peuvent être identifiées dans des populations ségrégeantes, c'est à dire qu'il y a eu ségrégation au sein de la descendance issue de croisements entre variétés contrastées, dans ce cas un parent résistant et un non-résistant.

Cette étude fait partie d'un projet visant à trouver des marqueurs moléculaires liés à la résistance à la maladie des raies noires et aux nématodes. 'Pisang Berlin', le parent mâle, a été choisi du fait de sa susceptibilité à la maladie des raies noires, alors que 'Calcutta 4' a été choisi à cause de sa réaction hypersensible à la maladie des raies noires qui le rend résistant au pathogène.

Matériel et méthodes

Du pollen de 'Pisang Berlin' a été croisé sur des fleurs femelles de *Musa acuminata* spp. *burmannicoides* 'Calcutta 4'. Les 155 graines résultantes ont été immergées dans l'eau pendant 12 heures et les graines qui flottaient, donc non-fonctionnelles, ont été éliminées. Les 150 graines viables ont été désinfectées pendant 10 minutes dans une solution d'hypochlorite de calcium à 3% et rincées à l'eau stérile. L'embryon de chaque graine a été extrait en conditions aseptiques et transféré sur un milieu de Murashige et Skoog. Au cours des 45 jours suivants, 120 des 150 embryons ont germé en chambre de culture ($27 \pm 1^\circ\text{C}$, photopériode de 12 heures de lumière/12 heures d'obscurité, humidité relative de 80%). Dix des plantules germées ont été choisies au hasard et micropropagées. Sept clones de chaque plantule (lignée) ont été cultivés en serre dans des sacs en plastique pour servir de matériel de plantation.

Essai au champ

L'essai a été mis en place à la station de recherche de CORBANA à 28 Millas, dans le canton de Matina, dans la plaine côtière atlantique de la province de Limón, au Costa Rica. La hauteur cumulée des précipitations entre juin 2000 et septembre 2001 atteignait 5089 mm. Juin 2001 a été le mois le plus humide (pluviométrie de 548 mm) et mars 2001 le plus sec (pluviométrie de 76 mm). Les températures maximales/minimales moyennes pendant cette période ont été $29,5^\circ\text{C}/20,2^\circ\text{C}$. Le sol était une argile sableuse (52% de sable, 42% d'argile et 6% de limon), avec un pH de 5,9, un contenu en matière organique de 1,3% et un contenu en bases de 25,7 cmol/L de Ca, 10,1 cmol/L de Mg, 0,24 cmol/L de K, 7,2 mg/L de P, 269 mg/L de Fe, 5 mg/L de Cu, 1,1 mg/L de Zn et 54 mg/L de Mn.

Avant le début de l'essai, un site de 20 x 40 m a été planté avec *Musa* AAA cv. 'Grande naine' pour assurer une forte présence de nématodes parasites, particulièrement *Radopholus similis*. La distance était de 2,5 m entre les lignes et 2,7 m entre les plantes. Des billons orientés est-ouest d'environ 0,5 m de largeur et 0,2 m de profondeur ont été faits. Ils débouchaient dans un canal central pour évacuer l'eau de surface. Les 70 plantes (10 lignées x 7 répétitions/lignée) ont été plantées en groupes de 1 à 2 plantes par lignée à 4 dates différentes sur une période de 5 semaines, afin d'assurer la disponibilité en fleurs mâles et femelles lors de la pollinisation des F2 au sein de chaque lignée.

De l'engrais (Nutrex à 3%) a été appliqué aux feuilles chaque semaine pendant trois semaines et au sol (DAP et un mélange de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O-S}$ [16,3-3,6-28,9-3,7]), en quantités variant entre 30 et 180 g par mois. Les mauvaises herbes ont été coupées manuellement toutes les quatre semaines. Les rejets ont été arrachés à la floraison, pour observer le nombre de rejets produits. Aucun fongicide ou nématicide n'a été appliqué.

Avant la plantation, et toutes les six semaines après la plantation, un mélange de racines du pied-mère et des rejets a été prélevé sur trois plantes choisies au hasard dans toutes les lignées afin de déterminer le nombre de nématodes présents. L'échantillonnage par lignée n'a pas été possible à cause du petit nombre de plantes. Au moment de la floraison et de la récolte, des paramètres morphologiques tels

que la hauteur de la plante, la largeur de la troisième feuille, la circonférence à 1 m, le poids du régime et la hauteur du rejet successeur ont été mesurés. Une série de descripteurs du bananier (IPGRI 1996) ont également été notés à la floraison et à la récolte pour les plantes de la lignée F1.

La sévérité de la maladie, soit la proportion de la surface foliaire affectée par la maladie des raies noires, a été évaluée chez toutes les plantes. La sévérité de la maladie a été évaluée à l'aide de la modification de Gauhl de l'échelle de Stover (Gauhl 1989). Les paramètres suivants ont également été calculés : nombre total de feuilles fonctionnelles, plus jeune feuille rayée, plus jeune feuille tachetée et indice d'infection. Cet indice a été obtenu en additionnant les résultats de la multiplication du nombre de feuilles pour chaque degré de l'échelle de Stover modifiée par leur degré de l'échelle, et en divisant cette somme par le nombre total de feuilles évaluées sur la plante en question.

Essai en pots

Au moins 30 plantules de chacune des 10 lignées F1 sélectionnées du croisement mentionné précédemment ont été multipliées *in vitro*. Après acclimatation, les plantules ont été placées dans des pots de 1,8 L contenant du sol de bananeraie locale stérilisé comme substrat. Le sol était une argile sableuse (54% de sable, 39% d'argile et 7% de limon), avec un pH de 6,2, un contenu en matière organique de 5,6% et un contenu en bases de 7,2 cmol/L de Ca, 1,7 cmol/L de Mg, 0,8 cmol/L de K, 4 mg/L de P, 54 mg/L de Fe, 5 mg/L de Cu, 1,4 mg/L de Zn et 30 mg/L de Mn. Les plantules ont reçu une solution nutritive complète (Hoagland et Arnon 1950) tous les 2-3 jours et la même solution a été pulvérisée quotidiennement sur les feuilles. Après 3 semaines d'adaptation en pots, les plantules de chaque lignée ont été divisées en 2 groupes de 12 individus, un groupe qui sera inoculé et un groupe témoin non inoculé.

R. similis a été élevé dans l'obscurité sur des rondelles de carotte stériles dans des boîtes de Petri placées dans une chambre de culture à 28°C (Speijer et De Waele 1997). Lorsque le nombre de nématodes observés sur la surface intérieure des boîtes est devenu important, les nématodes ont été lavés dans un bécher, de

l'eau a été ajoutée jusqu'à un volume de 200 mL et le nombre d'individus présents dans un volume de 2 ml a été compté sous un microscope. En se basant sur le nombre de femelles, le volume nécessaire pour obtenir 500 *R. similis* femelles a été calculé. La suspension a été versée dans 5 trous de 0,5 cm de diamètre et 1,5 cm de profondeur, faits à environ 1 cm de la base du pseudotronc. Une petite quantité d'eau a ensuite été appliquée. Huit semaines plus tard, les plantes ont été sorties des pots, les racines lavées avec précautions et le poids frais des pousses et des racines mesuré. Les racines ont été coupées en fragments de 2 à 3 cm et liquéfiées avec un mixeur pendant 10 s à vitesse faible puis élevée. La suspension de racines a été lavée sur une série de tamis (0,25 ; 0,106 et 0,025 mm), et le matériel récupéré sur le dernier tamis a été placé dans un bécher de 200 ml. La suspension a été homogénéisée avec un injecteur de bulles d'air et le nombre de nématodes comptés a été exprimé par 100 g de racines.

Le dispositif expérimental utilisé à la fois dans l'essai en champ et dans l'essai en pots était un dispositif complètement randomisé. Les variables mesurées dans les différentes lignées F1 ont été comparées en utilisant l'analyse de variance avec PC-SAS (SAS Version 6.12 pour Windows, SAS Institute Inc., Cary, USA). Avant l'analyse statistique, les nombres de nématodes ont été transformés par $\log_{10}(x+1)$ et les moyennes ont été évaluées par le test de Waller-Duncan.

Résultats et discussion

Essai au champ

En ce qui concerne les caractéristiques des plantes, seule la largeur de la troisième feuille ($P < 0,001$), la circonférence à 1 m au moment de la floraison ($P = 0,0001$) et le poids du régime à la première génération ($P = 0,0002$) étaient différents selon les lignées étudiées. Seules de légères variations ont été observées pour les paramètres de la fleur et du régime.

Lors de l'évaluation de la susceptibilité de ces lignées à la maladie des raies noires, des différences dans l'indice d'infection ont été enregistrées entre les lignées testées (tableau 1). Des différences d'indice entre les lignées suggèrent une ségrégation dans la première et seconde génération. Cependant, en l'absence de données sur les parents, la ségrégation quant à la résistance/susceptibilité ne peut être confirmée.

En ce qui concerne la résistance aux nématodes, bien que le nombre de *R. similis* ait été élevé avant le début des essais (7600 pour 100 g de racines), on n'a trouvé aucun nématode dans les racines un an après, ce qui suggère un certain niveau de résistance à *R. similis* chez les lignées F1.

Tableau 1. Indice d'infection pour la maladie des raies noires au cours de deux cycles de production de dix lignées issues d'un croisement entre 'Pisang Berlin' et 'Calcutta 4'.

| Lignées | Indice d'infection* | | | |
|---------|---------------------|---------|--------------|--------|
| | A la floraison | | A la récolte | |
| | F1 | F2 | F1 | F2 |
| A | 1,48bc** | 0,90abc | 2,35cd | 2,04b |
| B | 1,72ab | 1,12a | 3,32bc | 2,29b |
| C | 1,79ab | 0,88abc | 3,82ab | 2,76ab |
| D | 1,08d | 0,58bc | 1,59d | 2,05b |
| E | 1,77ab | 0,66abc | 2,40cd | 2,16b |
| F | 2,16a | 0,98ab | 4,10ab | 2,54ab |
| G | 1,33bc | 0,59bc | 2,15cd | 2,28b |
| H | 1,75ab | 0,73abc | 2,93bc | 1,93b |
| I | 1,34bc | 0,43bc | 1,67d | 1,79b |
| J | 1,84ab | 1,03c | 4,62a | 3,51a |
| P | 0,0004 | 0,0001 | 0,018 | 0,045 |

* Chaque valeur est la moyenne de sept observations.

** Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$) selon le test de Waller-Duncan.

Tableau 2. Comparaison du nombre de *Radopholus similis*/100 g de racines et du poids des racines de plants, inoculés et non inoculés, de dix lignées F1 issues d'un croisement entre 'Pisang Berlin' et 'Calcutta 4'.

| Lignées F1 | <i>Radopholus similis</i> /100 g de racines | Poids des racines (g) | | |
|------------|---|-----------------------|-------------|----------------|
| | | Inoculés | Non inoculé | Différence (P) |
| A | 37 737b* | 18,33ab | 31,92abcd | 0,013** |
| B | 58 219ab | 27,75bcd | 44,50cde | 0,004 |
| C | 163 086a | 26,25abcd | 61,42g | 0,0001 |
| D | 90 724ab | 19,08ab | 30,83abc | 0,0001 |
| E | 77 215ab | 38,83d | 45,75de | NS |
| F | 119 535a | 22,50abc | 42,42cde | 0,0001 |
| G | 59 912ab | 12,50a | 23,50ab | 0,019 |
| H | 70 813a | 38,50d | 47,17ef | NS |
| I | 2 159c | 25,25abcd | 35,83bcde | NS |
| J | 114 385ca | 36,42cd | 60,08fg | 0,007 |
| P | 0,0001 | 0,0002 | 0,0001 | |

* Chaque valeur est la moyenne de 12 observations qui ont été transformées par $\log_{10}(x+1)$ pour l'analyse statistique. Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$) selon le test de Waller-Duncan.

** Probabilité de la différence statistique pour le poids des racines entre des plantes avec et sans inoculation avec *R. similis*.

NS = non significatif

Essai en pots

Dans l'essai en pots, le nombre de *R. similis* par 100 g de racines variait significativement ($P = 0,0001$) parmi certaines des lignées F1 (tableau 2). Le nombre de nématodes dans les plantes de la lignée I était significativement plus bas que celui des lignées C, F, H et particulièrement J, ce qui indique une ségrégation, mais, en l'absence de données sur les parents, la ségrégation quant à la résistance/susceptibilité ne peut pas être confirmée.

Le parent mâle, 'Pisang Berlin', n'est généralement pas connu pour posséder de la résistance à *R. similis*, bien que Fogain *et al.* (1996) aient trouvé cette variété moins susceptible que 'French sombre' (*Musa* AAB). Il existe également des rapports contradictoires concernant le parent femelle, *Musa acuminata* ssp. *burmannicoides* 'Calcutta 4'. Selon Binks et Gowen (1997), Fogain *et al.* (1996) et Viaene *et al.* (sous presse), ce cultivar diploïde montre de la résistance à *R. similis*. De façon similaire, le tétraploïde TMHx 660K-1, qui résulte d'un croisement entre 'Enzirabahima' (*Musa* AAA-EA,

susceptible) et 'Calcutta 4', était moins susceptible à *R. similis* que 'Valery' (*Musa* AAA) (Dochez *et al.* 2000), en utilisant la méthode d'inoculation d'une seule racine. Comme 'Enzirabahima' est susceptible à *R. similis*, la résistance partielle de TMHx 660K-1 provenait très probablement de 'Calcutta 4'. Cependant, lors de l'évaluation des racines de rejets baionnettes de touffes établies de différentes variétés de *Musa* en Ouganda, 'Calcutta 4' et 'Valery' se sont avérés également susceptibles à *R. similis* (Speijer *et al.* 1999). De même, Price et McLaren (1996), en utilisant des racines de plantes matures au cours d'un essai en champ au Cameroun, n'ont observé aucune différence de susceptibilité à *R. similis* entre 'Calcutta 4' et 'Grande naine'.

L'existence de lignées chez lesquelles l'inoculation avec des nématodes a conduit à une diminution du poids des racines et d'autres dont le poids des racines ne différait pas entre des plantes inoculées et non-inoculées, suggère qu'une ségrégation s'est produite. Le nombre élevé de nématodes chez les plantes inoculées

des lignées E et H suggère un certain niveau de tolérance vis à vis de *R. similis*.

Pour confirmer ces données, des plantules F2, obtenues par autofécondation de trois lignées F1, seront comparées pour leur susceptibilité à *R. similis* avec les parents 'Pisang Berlin' et 'Calcutta 4' et les variétés de référence 'Grand naine' et 'Yangambi km 5' dans un prochain essai.

Remerciements

L'INIBAP, la *Corporación Bananera Nacional* (CORBANA) et la *Flemish Association for Development Cooperation* (VVOB) sont remerciés pour avoir financé cette étude. Les auteurs souhaitent remercier le Dr Sebastiao de Oliveira Silva, de l'*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* (EMBRAPA) pour les croisements, Rogelio Gómez pour le sauvetage d'embryons, Antonio Allen pour la mesure des symptômes et Juan-Carlos Marín pour le suivi en champ. Cette recherche a été effectuée dans le cadre du Programme mondial d'amélioration des *Musa*, PROMUSA. ■

Références

Anderson J.P.E., K. Nevermann & H. Haidt. 1998. Accelerated microbial degradation of nematodes in soils: problems and its management. Pp. 568-585 in *Memorias XIII ACORBAT Meeting*, 23-29 November 1998, Guayaquil, Ecuador.

Binks R.H. & S.R. Gowen. 1997. Early screening of banana and plantain varieties for resistance to *Radopholus similis*. *International Journal of Nematology* 7:57-61.

Dochez C., P.R. Speijer, J. Hartman, D. Vuylsteke & D. De Waele. 2000. Criblage d'hybrides de bananiers résistants à *Radopholus similis*. *INFOMUSA* 9(2):3-4.

Fogain R., S. Gowen & F. Mekemda. 1996. Screening for susceptibility to *Radopholus similis*: Evaluation of plantains AAB and diploid AA, AB, and BB. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 73:281-285.

Gauhl F. 1989. Untersuchungen zur Epidemiologie und Ökologie der Schwarzen Sigatoka-krankheit (*Mycophaerella fijiensis* MORELET) an Kochbananen (*Musa* sp.) in Costa Rica. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Heft 42, Verlag Erich Geltze, Göttingen, Germany. 128pp.

Guzmán M., G. Murillo & R. Villalta. 2000. Programa de asistencia técnica en el manejo de la Sigatoka negra. Pp. 45-48 in *CORBANA Informe Anual 1999* (J. Sandoval, ed.).

Hoagland D.R. & D.L. Arnon. 1950. The water culture for growing plants without soil. University of California, Agricultural Experimental Station. Circular No. 357. 32pp.

IPGRI-INIBAP/CIRAD (1996). Descripteurs pour le bananier (*Musa* spp.). 55pp.

Moens T., M. Araya & D. De Waele. 2001. Correlations between nematode numbers and damage to banana (*Musa* AAA) roots under commercial conditions. *Nematropica* 31(1):55-65.

Orjeda G., J.V. Escalant & N. Moore. 1999. Phase II du Programme international d'évaluation des *Musa* (IMTP) : synthèse du rapport final et des résultats. *INFOMUSA* 8(1):3-10.

Pasberg-Gauhl C., F. Gauhl & D.R. Jones. 2000. Distribution and economic importance of Black

Leaf Streak. Pp. 37-44 in *Diseases of banana, abacá and enset* (D. Jones, ed.). CAB International, Wallingford, UK.

Pattison A.B., J.M. Stanton & J.A. Cobon. 2000. Bioassay for enhanced biodegradation of nematocides in soil. *Australasian Plant Pathology* 29:52-58.

Price N.S. & C.G. McLaren. 1996. Techniques for field screening for *Musa* germplasm. Pp. 87-107 in *New frontiers in resistance breeding for nematode, Fusarium and Sigatoka* (Frison E.A., Horry J-P. and De Waele D., eds). Proceedings of the Workshop held in Kuala Lumpur, Malaysia 2-5 October 1995. INIBAP-IPGRI, Montpellier, France.

Speijer P.R., E. Boonen, D. Vuylsteke, R.L. Swennen & D. De Waele. 1999. Nematode reproduction and damage to *Musa* sword suckers and sword sucker derived plants. *Nematropica* 29: 193-203.

Speijer P.R. & D. De Waele. 1997. Evaluation du matériel génétique de *Musa* pour la résistance aux nématodes. Guides techniques INIBAP No.1 INIBAP, Montpellier, France. 42pp.

Viaene N., L.F. Duran, J.M. Rivera, J. Dueñas, P. Rowe & D. De Waele. *In press*. Responses of banana and plantain cultivars, lines and hybrids to the burrowing nematode *Radopholus similis*. *Nematology*.

Thomas Moens travaille à CORBANA, à l'INIBAP et au VVOB ; Jorge Arturo Sandoval à CORBANA ; Jean-Vincent Escalant à l'INIBAP et Dirk De Waele à KULeuven.

Amélioration

Caractéristiques des fruits

Résistance à la chute des doigts chez les génotypes diploïdes

O. Nunes de Jesus, S. de Oliveira e Silva, M. Di Credico et H. Souza Rocha

La chute des doigts est un désordre physiologique dû au ramollissement et à l'affaiblissement du pédicelle qui a pour effet que le doigt se détache et tombe pendant la maturation (Semple et Thompson 1988). On pense que la chute des doigts est associée à une maturation rapide, précipitée par les températures élevées dans la chambre de maturation (New et Marriot 1974). Les hybrides tétraploïdes sont plus sensibles à la chute des doigts que les cultivars triploïdes (New et Marriot 1974, Dadzie et Orchard 1997).

Les méthodes utilisées jusqu'à présent pour évaluer ce phénomène chez le bananier n'étaient pas fiables, la méthode usuelle consistant à secouer la main et à compter le nombre

de fruits tombés. Pour surmonter ce problème, des chercheurs de l'Embrapa Manioc et fruits tropicaux ont développé un instrument pour évaluer la résistance à la chute des doigts chez le bananier.

Comme les programmes d'amélioration utilisent les bananiers diploïdes comme matériel de départ et qu'une grande variabilité existe dans ce groupe en ce qui concerne la résistance à la chute des doigts, nous avons évalué ce caractère chez 21 variétés diploïdes et hybrides synthétiques (AA), en cherchant à identifier les plus résistants pour transférer ensuite ce caractère aux variétés commerciales et aux hybrides en cours de développement.

Matériel et méthodes

Les régimes de 21 génotypes (tableau 1) ont été récoltés quand les fruits du premier régime

montraient des signes de mûrissement. Cinq doigts de chacune des cinq premières mains ont été détachés du pédicelle. Les fruits ont été placés sur une table pour permettre à la sève de s'écouler, puis ils ont été immergés dans une solution d'Etephon (2 mg/l) pendant 5 min pour permettre une maturation uniforme. Ils ont ensuite été acclimatés dans une chambre de réfrigération à 21 °C et 95% d'humidité relative.

En se basant sur la méthodologie proposée par Silva *et al.* (1999), les caractéristiques suivantes ont été analysées : nombre de doigts par main, production de graines et de pollen, longueur et diamètre des doigts et du pédicelle. La résistance à la chute des doigts, exprimée en kgf, a été estimée en utilisant la méthodologie proposée par Cerqueira *et al.* (2000). Le détacheur mécanique développé à l'Embrapa manioc et fruits tropicaux est composé d'un

pénétrömètre monté sur un châssis en bois dans lequel le pédicelle est inséré et maintenu par une attache couplée à un train de traction (figure 1). Lorsque la banane est tirée, l'attache entraîne le train et presse sur un piston. La pression sur le pénétromètre cesse quand le pédicelle se rompt. La force au moment de la rupture est notée en regardant la jauge du pénétromètre.

Le schéma expérimental était randomisé, avec 19 réplifications par traitement pour mesurer la résistance à la chute des doigts, 25 réplifications par traitement pour les caractéristiques des doigts et 5 réplifications par traitement pour évaluer la production de graines et de pollen ainsi que le nombre de doigts. Le test de Scott et Knott a été utilisé pour comparer les moyennes.

Résultats et discussion

En général, les hybrides avaient plus de doigts que les autres génotypes (tableau 1), du fait que le procédé de sélection utilisé pour obtenir de nouveaux hybrides élimine ceux présentant un petit nombre de doigts (Silva *et al.* 1997). Tous les génotypes produisaient du pollen (bien qu'en faible quantité), alors que les hybrides avaient tendance à produire plus de semences que les variétés, rendant ainsi possible l'utilisation de ces génotypes dans les programmes d'amélioration. Seul un hybride et quatre variétés ne produisaient pas de semences.

La résistance à la chute des doigts variait de 0,26 à 4,65 kgf (tableau 2). L'hybride TH03-01 montrait la résistance la plus élevée à la chute des doigts et était en seconde position pour la longueur des doigts (tableau 2). Cependant, le diamètre moyen de ses doigts et la longueur et le diamètre moyens de ses pédicelles étaient en dessous de la moyenne.



Figure 1. Appareillage utilisé pour mesurer la résistance des bananiers à la chute des doigts.

Le deuxième meilleur diploïde en termes de résistance à la chute des doigts était l'accession 'Khai nai on' accession, *ex aequo* avec l'hybride 4223-0. Le diamètre moyen des doigts de 'Khai nai on' et la longueur et le diamètre moyens de ses pédicelles étaient au-dessus de la moyenne mais la longueur moyenne de ses doigts était en dessous de la moyenne, alors que la longueur moyenne des doigts du génotype 4223-06 ainsi que le diamètre moyen de ses doigts et pédicelles étaient au-dessus de la moyenne mais la longueur de ses pédicelles était en dessous de la moyenne.

Les seuls génotypes qui avaient des valeurs supérieures à la moyenne pour toutes les caractéristiques mesurées étaient les hybrides 0337-02 et 1318-01, ainsi que les variétés 'Raja uter' et 'Pipit'. En général, la résistance à la chute des doigts n'était pas corrélée avec les caractéristiques des doigts. ■

téristiques mesurées étaient les hybrides 0337-02 et 1318-01, ainsi que les variétés 'Raja uter' et 'Pipit'. En général, la résistance à la chute des doigts n'était pas corrélée avec les caractéristiques des doigts. ■

Références

- Cerqueira R.C., S. de O. e Silva & V.M. Medina. 2000. Avaliação da resistência ao despencaamento de frutos de bananeira (*Musa spp.*) por diferentes métodos. P. 175 in Simposio Brasileiro De Melhoramento De Fruteiras, Viçosa, Brazil.
- Dadzie B.K. & J.E. Orchard. 1997. Évaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bana-

Tableau 1. Caractéristiques des 21 génotypes diploïdes utilisés pour l'évaluation de la résistance à la chute des doigts.

| Génotype | Parents/pays d'origine/pays donateur | Nombre de doigts | Production de pollen* | Production de semences** |
|-------------|--|------------------|-----------------------|--------------------------|
| TH03-01 | Terrinha x Calcutta (<i>M. acuminata burmannica</i>) | 117 | 3 | 2 |
| 1741-01 | Jary buaya x (Calcutta x Madang) | 166 | 2 | 2 |
| 1318-01 | Malaccensis x Sinwobogi | 132 | 4 | 4 |
| 4154-08 | (Calcutta x Madang) x (Borneo x Madang) | 140 | 2 | 2 |
| 0323-03 | Calcutta x Cultivar <i>sine nome</i> | 112 | 3 | 2 |
| 1304-06 | Malaccensis x Madang (<i>M. acuminata banksii</i>) | 164 | 2 | 4 |
| 4223-06 | M53 x Cultivar <i>sine nome</i> | 108 | 2 | 2 |
| 0116-01 | Borneo (<i>M. acuminata microcarpa</i>) x Guyod | 137 | 2 | 4 |
| 0304-02 | Calcutta x Madang | 103 | 2 | 2 |
| 0337-02 | Calcutta x Galeo | 112 | 3 | 2 |
| NBA-14 | Nouvelle Guinée | 82 | 2 | 1 |
| Tongat | Honduras | 143 | 2 | 1 |
| Khai nai on | Thaïlande | 139 | 2 | 1 |
| Pipit | Indonésie | 144 | 5 | 4 |
| Selangor | France (Guadeloupe) | 112 | 3 | 2 |
| Khi maeo | Thaïlande | 152 | 2 | 2 |
| Tambi | Nouvelle Guinée | 72 | 3 | 2 |
| Sowmuk | Nouvelle Guinée | 86 | 2 | 2 |
| Niyarma yik | Nouvelle Guinée | 102 | 2 | 1 |
| SA | Thaïlande | 126 | 3 | 2 |
| Raja uter | Indonésie | 100 | 2 | 1 |

* 1=aucune, 2=très basse (<10%), 3=basse (15-30%), 4=moyenne (40-60%), 5=haute (>60%).

** 1=aucune, 2=basse (0-10), 3=moyenne (10-50), 4=haute (>50).

Tableau 2. Valeurs moyennes de la résistance à la chute des doigts et quatre caractéristiques des doigts pour les 21 géotypes étudiés.

| Géotype | Résistance à la chute des doigts (kgf) | Longueur des doigts (cm) | Diamètre des doigts (mm) | Longueur du pédicelle (mm) | Diamètre du pédicelle (mm) |
|--------------------|--|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| TH03-01 | 4,65 a | 15,28 b | 23,24 f | 13,48 e | 9,16 f |
| Khai Nai On | 3,07 b | 9,20 g | 28,00 c | 15,48 d | 10,68 d |
| 4223-06 | 3,04 b | 12,00 d | 26,20 d | 14,36 e | 9,68 e |
| 0337-02 | 2,82 c | 12,32 d | 23,80 f | 12,36 f | 10,52 d |
| Raja uter | 2,71 c | 11,90 d | 29,92 b | 18,16 c | 12,18 b |
| 1318-01 | 2,06 d | 12,16 d | 25,04 e | 15,24 d | 9,84 e |
| Pipit | 1,99 d | 11,72 e | 31,04 a | 17,72 c | 13,16 a |
| 1741-01 | 1,78 e | 15,88 a | 23,64 f | 12,28 f | 11,44 c |
| 0323-03 | 1,72 e | 13,40 c | 26,56 d | 10,06 g | 12,22 b |
| 1304-06 | 1,69 e | 12,40 d | 23,08 f | 19,00 b | 8,40 f |
| NBA-14 | 1,65 e | 10,72 f | 31,44 a | 22,68 a | 8,84 f |
| 0304-02 | 1,57 e | 10,32 f | 18,08 g | 9,88 g | 8,84 f |
| 4154-08 | 1,46 e | 12,80 c | 22,24 f | 10,20 g | 9,00 f |
| Tongat | 0,91 f | 11,28 e | 24,72 e | 12,36 f | 10,24 d |
| Khi maeo | 0,88 f | 8,70 g | 23,40 f | 19,79 b | 5,58 i |
| 0116-01 | 0,73 f | 13,04 c | 26,50 d | 16,96 c | 10,58 d |
| Nyarma yik | 0,72 f | 12,06 d | 32,28 a | 17,66 c | 6,36 h |
| Selangor | 0,68 f | 7,94 h | 19,00 g | 15,60 d | 6,98 g |
| SA | 0,67 f | 13,44 c | 31,52 a | 17,54 c | 11,50 c |
| Sowmuk | 0,62 f | 11,36 e | 31,60 a | 15,66 d | 6,24 h |
| Tambi | 0,26 g | 9,32 g | 18,92 g | 13,22 e | 6,80 g |
| Moyenne d'ensemble | 1,73 | 11,77 | 25,73 | 15,22 | 9,44 |

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité $p=0,05$ (Test de Scoot & Knott).

niers plantain: critères et méthodes. Guides techniques INIBAP 2, INIBAP, Montpellier, France. 63pp.
New S. & J. Marriot. 1974. Factors affecting the development of finger drop in bananas after ripening. *Journal Food Technology* 18:241-250.
Semple A.J. & A.K. Thompson. 1988. Influence of the ripening environment on the development of finger drop in bananas. *Journal of Science of Food Agriculture* 46:139-146.

Silva, S. de O. e, P.C.L. de Carvalho, K. Shepherd, E.J. Alves, C.A.P. de Oliveira & J.A.B.S. Carvalho. 1999. *Catálogo de Germoplasma de Bananeira (Musa spp.)*. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Documentos 90. 140pp.
Silva S. de O. e, A.P. de Matos, E.J. Alves & K. Shepherd. 1997. Amélioration des bananiers diploïdes (AA) à l'Embrapa/CNPMP. *INFO-MUSA* 6(2):4-6.

Les auteurs travaillent à l'Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa s/n, Caixa Postal 007, 44380-000 Cruz das Almas, Brésil.

Taxonomie

Diversité des *Musa*

Classification et caractérisation de *Musella splendida* sp. nov.

R.V. Valmayor et Le Dinh Danh

Musella est le plus fascinant et unique membre de la famille des *Musaceae*. L'espèce type est *Musa lasiocarpa*, telle que publiée par A.R. Franchet dans Morot, *Jour. de Bot* 3:329 1889 (Li Hsi-wen 1978). Plus tard, Cheesman (1947), dans sa série monumentale *Classification of the Bananas*, l'a reclassifiée comme *Ensete lasiocarpum*, peut-être à cause de la base légèrement renflée de son pseudotrunc et de ses bractées florales persistantes. Mais Simmonds l'a replacée parmi les *Musa*, en utilisant l'argument qu'étant

rhizomateuse et polycarpique, *Musella* ne pouvait appartenir au genre *Ensete*. Finalement, Wu (1976), travaillant sur un spécimen indigène dans son environnement naturel en Chine, a réalisé que la plante ne pouvait en fait être classifiée ni chez les *Musa*, ni chez les *Ensete* et a adapté le nom *Musella lasiocarpa*, un nouveau genre dans la famille des *Musaceae* (Li Hsi-wen 1978).

Distribution géographique

Musella lasiocarpa a été décrite par Franchet (Li Hsiwen 1978) dès 1889. Les pépinières ornementales en Europe occidentale et aux USA ont exacerbé sa beauté, sa rusticité et sa résistance aux basses tem-

pératures ainsi que son adaptabilité aux jardins, du fait de sa petite taille. Cependant, jusqu'à aujourd'hui, on trouve principalement les *Musella* dans les arboretums et les jardins botaniques. Jusqu'à présent, une seule espèce a été nommée dans le genre. Elle peut donc être considérée comme l'espèce de bananier la plus rare du monde.

Musella lasiocarpa est indigène de la province du Yunnan dans la Chine du Sud, principalement à des altitudes comprises entre 1500 et 2500 m. Les botanistes du Yunnan craignent qu'elle n'ait déjà disparu à l'état sauvage. En effet, on ne la trouve actuellement que comme plante ornementale dans les jardins ou bien comme plante cultivée au

Yunnan et dans les provinces chinoises limitrophes du Guizhou et du Sichuan. Le pseudotrunc est donné comme fourrage aux animaux et les fleurs ont des vertus médicinales. On a récemment découvert des *Musella* poussant dans les forêts de la province limitrophe de Ha Giang, dans le nord du Vietnam (Danh *et al.* 1998).

Aspect de *Musella lasiocarpa*

«Petite plante, de moins de 60 cm de hauteur. Gaines foliaires persistantes, base du pseudotrunc d'environ seulement 15 cm de diamètre. Limbe foliaire elliptique, pouvant atteindre 50 cm de longueur et 20 cm de largeur, avec une extrémité pointue, cireux. L'inflorescence est érigée, compacte, de 20 à 25 cm de long. Les bractées sont jaunes, chacune soutenant 4 à 5 fleurs. Les fleurs femelles sont situées à la base de l'inflorescence et les fleurs mâles au sommet. Les fruits sont ronds-ovales avec trois crêtes, duveteux, d'une longueur de 3 cm sur 2,5 cm de largeur. Ils contiennent 6 graines, de forme ronde et de couleur brun foncé» (figure 1). Traduction de la description originale en chinois de Wu (1976).

Collecte et conservation du bananier au Vietnam

Le genre *Musa* est indigène de l'Asie du sud-est. Plusieurs missions de prospection et de conservation de bananier ont exploré et collecté du matériel génétique de *Musa* en Indonésie, Malaisie, Thaïlande et aux Philippines. En Papouasie-Nouvelle-Guinée et en Inde, particulièrement dans le Nord-est de la région d'Assam et les états voisins, les explorateurs ont découvert du matériel génétique extrêmement intéressant, qui a conduit à des révisions de la théorie actuelle sur l'origine et l'évolution des bananiers.

Au Vietnam, les ressources génétiques des *Musa* n'ont jamais été explorées ni classifiées en détail à cause de la longue bataille du pays pour la liberté. En 1993, le réseau international pour l'amélioration de la banane et la banane plantain (INIBAP), au travers de son réseau régional Asie et Pacifique, basé à l'époque au *Philippine Council for Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development* (PCARRD), Los Baños, Laguna, Philippines, a approuvé l'octroi d'un financement au *Plant Genetic Resources System* du Vietnam dirigé par le Dr Nguyen Danh Khoi. En 1994, la première d'une série de cinq missions de prospection commença à collecter, évaluer et conserver systématiquement le matériel génétique de *Musa* à travers tout le pays. Le Dr Le Dinh Danh, Directeur du *Phu Ho Fruit Research Center* a été nommé leader de l'équipe de collecte des bananiers. Le projet a récolté 107 accèsions, 88 cultivars et 19 espèces sauvages.



Figure 1. Illustration de *Musella lasiocarpa* montrant une petite plante. Les feuilles sont elliptiques (rapport longueur/largeur < 3), le bourgeon floral deltoïde avec des bractées fortement imbriquées. Fleurs basales femelles, fruits ronds-ovales contenant des graines. (Source : C.Y. Wu, Chine).

Parmi les espèces sauvages non décrites, on trouve la belle et attrayante *Musa exotica* R. Valmayor, sp. nov. qui a été collectée dans la réserve forestière de Cuc Phuong et classifiée récemment par Valmayor (2001). Au Vietnam, les explorateurs ont également collecté des spécimens sauvages d'*Ensete glaucum* (Roxb.) Cheesman. Mais la trouvaille la plus importante du projet de collecte de matériel génétique de bananier au Vietnam est Chuoi Canh, qui n'est ni une *Musa* ni une *Ensete*. Les auteurs ont classifié Chuoi Canh comme une nouvelle espèce de *Musella*.

Description botanique de *Musella splendida* R. Valmayor & L. D. Danh, sp. nov.

Aspect général de la plante. Herbacée et succulente avec un pseudotrunc érigé formé par les bases des gaines foliaires embrassantes et persistantes. La plante atteint une hauteur de 1,0 à 1,2 m à la maturité reproductive. L'inflorescence primaire est terminale et érigée. Des rejets naissent de la base des feuilles au niveau du sol (figure 2). Les plantes âgées produisent des inflorescences latérales qui démarrent depuis l'aisselle des feuilles au-dessus du sol.

Pseudotrunc et rejets. Pseudotrunc de couleur verte, brillant chez les jeunes plantes mais devenant terne à maturité avec l'apparition d'un aspect cireux. La plante produit librement des rejets, de nombreux rejets sont produits depuis la large base du pseudotrunc. Quand le pied-mère devient plus vieux et que l'inflorescence terminale a produit des fruits, 2 à 5 inflorescences latérales émergent depuis la base des feuilles supérieures embrassant le pseudotrunc. (figure 3).

Pétiole, nervure centrale et feuille. Pétiole vert franc, sans taches mais avec quelques points rougeâtres-pourpres près des marges. Marges des pétioles recourbées vers l'intérieur



Figure 2. *Musella splendida* montrant une inflorescence terminale. Bourgeon floral ovoïde, bractées avec une extrémité longue et pointue lâchement attachée au bourgeon (Source : L.D. Danh, Vietnam).



Figure 3. *Musella splendida* mature avec des inflorescences latérales se ramifiant du pseudotrunc et des rejets se développant depuis la base des feuilles au niveau du sol (Source : L.D. Danh, Vietnam).

et bordées d'une bande rouge pourpre (Figure 4). Nervure centrale vert clair. Feuilles larges, elliptiques, dressées chez les plantes immatures mais retombant après floraison. Couleur des feuilles vert plus sombre que la nervure centrale, légèrement terne avec des veines latérales marquées. Base du limbe foliaire symétrique et pointue, apex effilé. Rapport longueur/largeur de la feuille > 3.

Inflorescence et régime. Inflorescence terminale d'une longueur inférieure à 30 cm, pédoncule court et massif, rachis obscur, complètement couvert par des bractées séchées

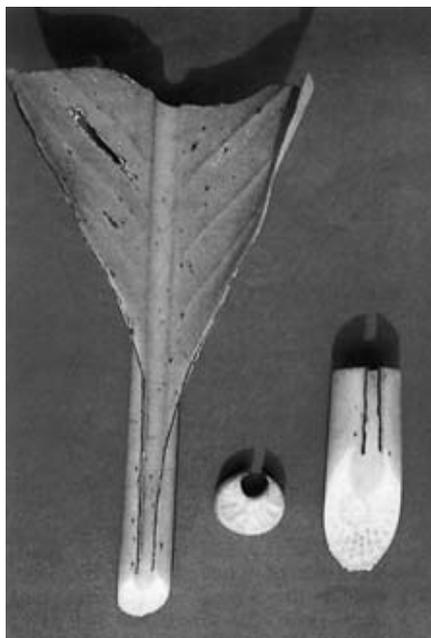


Figure 4. Base du limbe foliaire de *Musella splendida* avec des marges pétolaires symétriques recourbées vers l'intérieur avec une bande rouge sur les côtés (Source : L.D. Danh, Vietnam).



Figure 5. Inflorescence de *Musella splendida* montrant des bractées persistantes jaune vif qui s'ouvrent simultanément, formant une magnifique couronne (Source : L.D. Danh, Vietnam).



Figure 6. Amas de fruits de *Musella splendida* groupés sous le bourgeon mâle (Source : L.D. Danh, Vietnam).

persistantes. Chaque bractée soutend 2 à 6 fleurs, les fleurs hermaphrodites se trouvent à la base de l'inflorescence et les fleurs mâles au sommet. La disposition des fleurs et des fruits est unisériée. Bourgeon mâle ovoïde, bractées blanchâtres, extrémités allongées lâchement attachées au bourgeon. Plusieurs bractées s'ouvrent en même temps, formant une magnifique couronne sur la plante mature (figure 5). Régime très compact, bractées jaune vif mais à marges supérieures avec une bande rouge (figure 6).

Fleurs et fruits. Tépale composé et lobes des fleurs mâles jaunes. Tépale libre blanc opaque, ovale avec extrémité recouvrante. Anthères de couleur beige avec filet rosâtre, filaments crème. Les anthères sont exsertes, au même niveau que le tépale composé. Stigmate de la même couleur que les anthères (figure 7). Ovaire opaque avec 3 locules, chacun contenant 2 rangées d'ovules. Fruits ovoïdes, densément serrés en rangées simples comptant 2 à 4 fruits par groupe. Vert foncé et pubescents au stade immature, tournant au jaune lors du mûrissement. Les fruits sont reliés perpendiculairement au rachis par un pédicelle très court. Peau épaisse, adhérent à la pulpe blanche non comestible. Fruit sans graines et parthénocarpique (figure 8).

Accession originale collectée dans une forêt du nord de la province de Ha Giang, Vietnam, le 5 mai 1994 par le Dr Le Dinh Danh. Accession No. VN1-038 ; matériel de plantation : rejets ; données physiographiques importantes : latitude 22,49° Nord ; longitude 104,59° Est ; altitude 118 m ; pluviométrie moyenne 24,30 mm ; température moyenne 22,7°C (max. 40°C/juillet, min. 1,5°C/janvier) ; sol, sol de forêt fertile avec humidité abondante ; texture du sol : limon. De vastes forêts couvrent les chaînes de montagnes du nord du Vietnam qui bordent le sud de la Chine.

Les spécimens de *Musella* qui apparaissent distincts de l'espèce type, *M. lasiocarpa*, et de l'espèce nouvellement décrite, *M. splendida*, montrent de la variabilité chez *Musella* (Figure 9). Il est possible qu'avec une accessibilité et des communications améliorées avec la Chine et le Myanmar, des espèces supplémentaires soient découvertes.

Holotype : spécimen d'herbarium spécimen conservé au *Phu Ho Fruit Research Center*, Phu Ninh, Phu Tho, Vietnam. Les accessions vivantes sont maintenant cultivées dans la collection nationale de matériel génétique de bananier du *Phu Ho Fruit Research Center*.

Caractères de diagnostic de *Musella splendida* en latin et en français

(Latin). *Musella splendida* R. Valmayor & L.D. Danh sp. nov. differt magnopere a *Musella lasiocarpa* (A.R. Franchet) C.Y. Wu ex Li Hsi-wen statura plantae structura inflorescentiae et characteribus floresque fructuum. Plantae *Musella splendidae*

ampliores, 1.0- 1.2 m altae variantes, praequam *Musella lasiocarpae* usque ad tantum 0.6 m. Folia uterque specierum ellipticae, in *Musella splendida* plures triplo longiora quam latiora, in *Musella lasiocarpae* minores triplo. Alabastrum inflorescentiarum *Musella splendidae* ovatum sed apertius ad apicem, quandoquidem apicibus acuminatis bractearum praecocibus discedentibus, ante complicantes deorsum basibus, quamquam alabastrum *Musella lasiocarpae* deltoideum bracteis valde imbricatis. Flores basales speciei novae hermaphroditae, sed *Musella lasiocarpae* femineae. Postremo, fructus *Musella splendidae* parthenocarpius et exseminalis, sed *Musella lasiocarpae* semina viabilia ferentes. Epitheton splendida elegantique magnificenti speciei novae selecta.

(Français). *Musella splendida* R. Valmayor & L.D. Danh sp. nov. se différencie de *Musella lasiocarpa* (A.R. Franchet) C.Y. Wu ex Li Hsi-wen par des différences majeures dans la stature de la plante, la structure de l'inflorescence et les caractéristiques des fleurs et des fruits. Les plantes de *Musella splendida* sont plus grandes, d'une hauteur comprise entre 1,0 et 1,2 m par comparaison avec *Musella lasiocarpa* qui est plus petite, d'une hauteur inférieure à 0,6 m. Bien que les feuilles des deux espèces soient elliptiques, le rapport longueur/largeur du spécimen vietnamien est >3 alors que celui du spécimen chinois est <3. Le bourgeon inflorescenciel de *Musella splendida* est ovoïde mais l'apex est ouvert lorsque les extrémités longues et pointues des bractées individuelles se séparent précocement, avant de se replier à la base. *Musella lasiocarpa* produit un bourgeon inflorescenciel deltoïde avec des bractées serrées et très imbriquées. Les fleurs de la base de la nouvelle espèce sont hermaphrodites alors que celles de l'espèce type sont femelles. Enfin, les fruits de *Musella splendida* sont aspermes et parthénocarpiques mais ceux de *Musella lasiocarpa* contiennent des graines viables. Le terme *splendida* a été choisi pour décrire l'élégance et la magnificence de la nouvelle espèce.

Remerciements

Les auteurs expriment leur reconnaissance à Mme Claudine Picq, INIBAP France, pour son examen approfondi de la littérature sur les *Musaceae*, au Prof. Markku Häkkinen de Kotka, Finlande, pour avoir fourni des informations d'importance vitale sur les *Musaceae* sauvages, au Dr Chen Houbin de la *South China Agricultural University* pour les traductions de la littérature chinoise, à M. Mike Price du Michigan, USA,



Figure 7. Parties de fleurs mâles de *Musella splendida* montrant l'extrémité côtelée du tépale libre et les anthères avec de nombreux grains de pollen (Source : L.D. Danh, Vietnam).



Figure 8. Section transversale montrant des fruits aspermes, parthénocarpiques de *Musella splendida* (Source : L.D. Danh, Vietnam).



Figure 9. Spécimens intéressants de *Musella* qui ont un aspect différent de l'espèce type, *Musella lasiocarpa*, et de la nouvelle espèce, *Musella splendida* (Photographies avec la permission de M. Häkkinen).

pour sa traduction du latin des caractères de diagnostic, ainsi qu'à Mme Versalynn N. Roa de INIBAP/ASPNET, Philippines, pour avoir recherché des informations indispensables. ■

Références

Cheesman EE. 1947. Classification of the bananas. Kew Bull No. 2:97-106.
 Danh L.D., Nhi H.H. & Valmayor R.V. 1998. Collecte, caractérisation et conservation du matériel génétique au Vietnam. *INFOMUSA* 7(1):10-13.

Li Hsi-Wen. 1978. The *Musaceae* of Yunnan. Acta Phytotax Sin 16:54-64 (in Chinese).
 Simmonds N.W. 1962. The evolution of the bananas. Longmans, Green and Co., Ltd. London. 170pp.
 Valmayor R.V. 2001. Classification and characterization of *Musa exotica*, *M. alinsanaya* and *M. acuminata* ssp. *errans*. Philipp Agric Scientist 84(3):325-331.
 Wu Cy. 1976. *Musella lasiocarpa*. Iconographia Cormophytorum Sinicorum. Tomus V: 580-582 (en chinois). Egalement dans Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 16:2 Pékin.

Ramon V. Valmayor est Président du *Philippine Agriculture and Resources Research Foundation, Incorporated* (PARRFI), c/o the *Philippine Council for Agriculture, Forestry, and Natural Resources Research and Development* (PCARRD), Paseo de Valmayor, 4030 Los Baños, Laguna, Philippines (e-mail : parrfi@ultra.pcarrd.dost.gov.ph) ; également ancien Professeur, Département d'horticulture, Collège d'agriculture, Université des Philippines de Los Baños (UPLB), et

Directeur général du PCARRD et Coordinateur régional du Réseau régional Asie et Pacifique (BAPNET) du Réseau international pour l'amélioration de la banane et la banane plantain (INIBAP).

Le Dinh Danh est Directeur du *Phu Ho Fruit Research Center*, Phu Ninh, Phu Tho, Vietnam ; Curateur de la Collection nationale de matériel génétique de bananier et leader du projet collecte, caractérisation et conservation du bananier au Vietnam.

Cet article a été publié en anglais dans le THE PHILIPPINE AGRICULTURAL SCIENTIST Vol. 85 No.2, 204 – 209, Juin 2002 - ISSN 0031-7454 sous le titre : Classification and characterization of *Musella splendida* sp. nov. Ramon V. Valmayor and Le Dinh Danh.

THE PHILIPPINE AGRICULTURAL SCIENTIST a gracieusement autorisé l'INIBAP à publier le texte *in extenso* dans ce numéro d'INFOMUSA.

Etude de la diversité des bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est avec la technique AFLP

A.K. Tugume, G.W. Lubega
et P.R. Rubaihayo*

Originaires d'Asie du sud-est (Simmonds 1966, Valmayor *et al.* 1981), les bananiers auraient pénétré les hautes terres d'Afrique de l'Est à la suite d'introductions multiples entre le premier et le sixième siècle de notre ère (Price 1995). Une large gamme de variétés uniques appartenant aux bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est (AAA-EA), qui ont évolué localement, existe maintenant dans la région. La région des hautes terres d'Afrique de l'Est est reconnue comme étant un centre secondaire de diversité génétique des *Musa* (Stover et Simmonds 1987, Swennen et Vuylsteke 1988), le niveau le plus élevé de diversité des génotypes AAA-EA étant observé en Ouganda (Kyobe 1981, Rubaihayo et Mukasa 1993).

La connaissance du degré d'apparement génétique entre les clones et de l'étendue de la diversité chez *Musa* est importante pour la conservation et la sélection de parents dans les programmes d'amélioration (Garwel et Jarret 1992, Ortiz *et al.* 1995, Lagoda *et al.* 1999). Les caractères morphologiques ont été largement utilisés pour l'identification de clones et les études taxonomiques (Brewbaker et Umali 1956, Allen 1965, Stover et Simmonds 1987, Sebasigari 1990).

Karamura (1998) a utilisé 73 caractères morphologiques pour classer les bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est en Ouganda en cinq groupes de clones : *Mbidde* (bananes à bière), *Musakala*, *Nakabululu*, *Nfuuka* et *Nakitembe*. Cependant, la complexité des interactions entre les gènes et l'environnement (Shanmugavelu *et al.* 1992) crée des problèmes car des tests en champ élaborés sont nécessaires pour qu'une classification soit effective (De Langhe 1990, Bhat *et al.* 1997, Oliviera *et al.* 2000, Valmayor *et al.* 2000). Lorsque la base génétique est étroite, le pouvoir discriminant de la morphotaxonomie est faible (Jarret et Garwel 1995).

Les techniques moléculaires ont le potentiel de révéler des informations génétiques stables sur lesquelles baser la classification. Le polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP) s'est avéré un outil moléculaire performant (Donini *et al.* 1997) capable de détecter des différences géné-

tiques entre des accessions de *Musa* reliées entre elles (Engelborghs *et al.* 1998) et des individus étroitement liés (Jones *et al.* 1998). Cet article rapporte les résultats d'études entreprises pour évaluer les relations génétiques entre bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est en utilisant la technique des AFLP.

Matériel et méthodes

Des tissus de jeunes feuilles en cigare de 115 bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est ont été collectés du centre ougandais de ressources génétiques du bananier de l'Institut de recherches agricoles de Kawanda (KARI) et à l'Institut de recherches agricoles de Kabanyolo de l'Université Makerere. Les accessions dont le niveau de polyphénols était présumé faible ont été choisies (Maliyakale 1992, Pich et Schubert 1993).

L'ADN a été isolé à partir de matériel foliaire frais (0,7 g) en suivant le protocole décrit par Vroh *et al.* (1996) avec certaines modifications. Après la première extraction au chloroforme, une seconde extraction avec du N-Cétyl-N, N, N-triméthyl-bromure d'ammonium (CTAB) à 10%, suivie par des extractions répétées au chloroforme a été ajoutée pour assurer la précipitation et l'élimination efficace des protéines et des hydrates de carbone (Rowland et Nguyen 1993). La composition du tampon CTAB a été modifiée en augmentant la concentration de polyvinylpyrrolidone (PVP-40) de 2% à 4%, et celle du b-mercaptoéthanol de 5% à 8%. Le problème des polyphénols (Maliyakale 1992, Pich et Schubert 1993) a été résolu en augmentant les concentrations de PVP-40 (polyvinylpyrrolidone) et de β-mercaptoéthanol dans le tampon CTAB d'origine. La quantité d'ADN récolté a été estimée par spectrophotométrie avec un *SmartSpect™ 3000 Version 1.00.39* (BIORAD), comme décrit par Linacero *et al.* (1998). La spectrophotométrie et l'électrophorèse (Linacero *et al.* 1998) ont été utilisées pour évaluer la qualité d'ADN.

Les réactifs de qualité pour biologie moléculaire utilisés pour l'analyse AFLP étaient les kits système I pour l'analyse AFLP (kit de réactifs AFLP Core et kit d'amorces AFLP Starter) de *Life Technologies* (GIBCO BRL). Ce système, qui a été conçu pour être employé avec des plantes ayant des génomes de tailles comprises entre $0,5 \times 10^9$ - 6×10^9 pb, a été utilisé sous licence par Keygene

N.V. La digestion de restriction a été effectuée en utilisant 2,5 U des enzymes de restriction *EcoR* I et *Mse* I pour 500 ng d'ADN, comme décrit dans le manuel d'instruction d'analyse AFLP système I. L'évaluation de l'efficacité de la digestion a été réalisée comme recommandé par Scott *et al.* (1998). La ligation des adaptateurs d'oligonucléotides (adaptateurs d'*EcoR* I et *Mse* I) a été réalisée en suivant le manuel d'analyse AFLP système I, et les adaptateurs utilisés (tableau 1) étaient ceux décrits par Vos *et al.* (1995) pour les enzymes de restriction *EcoR* I et *Mse* I et ils n'étaient pas phosphorylés.

L'amplification par PCR (réaction en chaîne par polymérase) présélective des séquences cibles de l'ADN a été réalisée comme décrit par Vos *et al.* (1995) dans un thermocycleur *PerKin Elmer® Model 2400* en utilisant deux amorces de pré-amplification sans nucléotides sélectifs :

1. *EcoR* I+0: 5'-GACTGCGTACCAATTC-3'

et

2. *Mse* I+0: 5'-GATGAGTCCTGAGTAA-3'

L'amplification sélective par PCR a été réalisée en utilisant des amorces à deux oligonucléotides, l'une correspondant à des terminaisons d'*EcoR* I et l'autre à des terminaisons de *Mse* I, chacune avec trois nucléotides sélectifs (*EcoR* I+3 et *Mse* I+3).

Quatre paires d'amorces sélectives ont été utilisées :

*EcoR*I+3

E1 5'-GACTGCGTACCAATTCaac-3'

E2 5'-GACTGCGTACCAATTCacc-3'

E3 5'-GACTGCGTACCAATTCact-3'

E4 5'-GACTGCGTACCAATTCagc-3'

Mse I+3

M1 5'-ATGAGTCCTGAGTAAactt-3'

M2 5'-GATGAGTCCTGAGTAAcaa-3'

M3 5'-GATGAGTCCTGAGTAAactg-3'

M4 5'-GATGAGTCCTGAGTAAacag-3'

L'une des amorces de chaque paire (*EcoR* I+3 amorce) était marquée radioactivement avec 2000 Ci/mmol de [32 P]ATP (*Amersham Pharmacia Biotech*) en utilisant une T4 Polynucléotide Kinase pour phosphoryler à l'extrémité 5' en utilisant le protocole du manuel d'instructions pour l'analyse AFLP système I. Les produits d'amplification présélective par PCR ont été dilués 100 fois avec du tampon 1XTE (10 mM Tris-HCl pH 8,0; 0,1 mM EDTA [acide éthylènediaminetétrachloroacétique]) pour être utilisés pour l'amplification sélective par PCR, et la réaction com-

prenait 36 cycles dans un iCycler (BIORAD), selon Vos et al. (1995).

Après la PCR sélective, les produits de la réaction ont été mélangés avec des volumes égaux (20 ml) de colorant de liaison au formamide (98% de formamide, 10 mM d'EDTA pH 8,0; 0,1% de bromophénol et 0,1% de cyanol FF de xylène comme colorants traceurs). Les mélanges résultants ont été chauffés pendant 4 minutes à 95°C, puis rapidement refroidis sur de la glace. Quatre microlitres de chaque échantillon ont été chargés sur des gels de polyacrylamide à 6% dénaturants (séquençants) de 0,4 mm. La matrice du gel était préparée en utilisant de l'acrylamide à 6%, 0,3% de N, N'-méthylène bisacrylamide, 7,5 M d'urée dans un tampon 1XTBE à pH 8,0 (100 mM de Tris, 90 mM d'acide borique, 1 mM d'EDTA). A 75 ml de solution de gel on a ajouté 250 µl d'APS (persulfate d'ammonium) à 10% fraîchement préparé et 50 µl de TEMED (N,N,N'-diamine de tétraméthylène) et la solution a été agitée doucement mais rapidement avec une seringue. L'électrophorèse a été réalisée à 1800 V (constants), 37 mA, 65 W pendant 1 heure et 10 min, en utilisant un tampon 1XTBE à pH 8,0. Les gels ont ensuite été fixés pendant 30 min dans une solution de fixation (5% d'acide acétique glacial, 4,8% d'éthanol) pour éliminer l'urée et les colorants bleus, puis ont été séchés et exposés sur un film rayons X de 35 X 43 cm (Biomax MR Kodak) pendant 48 heures à température ambiante.

Les produits d'amplification sélective par PCR (fragments amplifiés) ont été notés sur le film rayons X : '1' pour la présence et '0' pour l'absence d'un fragment homologue (bande). Les matrices de données de distance génétique ont été construites en utilisant la méthode de Nei et Li (1979) et les regroupements par moyenne de groupe ont été réalisés par la méthode UPGMA (unweighted pair-group method using arithmetic averages) (Sneath et Sokal 1973). L'analyse complète et le dessin du phénogramme ont été réalisés en utilisant la version 1.3b du programme phylogénétique TREECON pour environnement Window (Van de Peer et De Wachter 1994).

Résultats et discussion

La technique AFLP a produit des fragments amplifiés de 20 à 350 pb. La variation notée dans la taille des fragments a été attribuée à la variation dans la séquence sélective des amorces *EcoRI* et *MseI* (van Treuren 2001). Les résultats du regroupement par UPGMA des 115 génotypes AAA-EA étudiés sont présentés à la figure 1. Les faibles valeurs de bootstrap (0 – 85%) suggèrent une absence de groupes et des relations génétiques étroites entre les cultivars. La majorité des accessions avaient entre elles une distance génétique de Nei comprise entre 0,1 et 0,4,

ce qui montre également un apparentement génétique.

La majorité des accessions AAA-EA étudiées se sont retrouvées dans le même groupe de clones identifié par Karamura (1998) (*Musakala*, *Nfuuka*, *Nakitembe* et *Nakabululu*) mais certaines accessions AAA-EA se trouvaient dans un groupe différent (tableau 1). A l'exception du groupe de clones des bananiers à bière, qui n'apparaissait pas comme un groupe distinct dans notre analyse, les groupes de clones proposés par Karamura (1998) étaient des sous-groupes selon la méthode AFLP. L'analyse non enracinée (figure 2) a montré en outre que chaque sous-groupe était divisé en sous-sous-groupes.

Musakala, que l'analyse non enracinée des données classifiait comme le groupe le plus distinct, comprenait quatre sous-sous-groupes et était séparé des autres sous-groupes par une distance génétique de Nei de 0,72 (figure 2). Karamura (1998) a également rapporté que *Musakala* était le groupe le plus distinct et a indiqué que ses accessions présentaient des caractéristiques uniques, avec des régimes et des doigts géants, souples et longs.

Les résultats ont également montré que *Nfuuka* était relié de manière très étroite à *Nakitembe* et *Nakabululu*, comme cela a déjà été rapporté par Karamura (1998). Bien que Karamura (1998) ait rapporté que *Nfuuka* était le groupe le plus hétérogène et le plus grand, c'était le sous-groupe le plus petit dans notre analyse. La caractéristique la plus marquée du sous-groupe *Nfuuka* est la propriété de ses accessions de modifier leur phénotype au fil du temps (Karamura 1998), d'où son nom qui signifie littéralement 'je change', 'je vais changer', ou 'je n'arrête pas de changer'. Les réarrangements structuraux naturels qui se produisent fréquemment entre les chromosomes du bananier et au sein de ces derniers pourraient rendre difficile toute tentative d'établir une classification réaliste (Faure *et al.* 1993). Les accessions du sous-groupe *Nfuuka* pourraient être en train de subir un tel processus, qui rend possible l'altération des phénotypes au cours du temps. La position topologique centrale du sous-groupe *Nfuuka* sur le phénogramme non enraciné (figure 2) et la nature changeante de *Nfuuka* rapportée par Karamura (1998), duquel les sous-groupes *Musakala*, *Nakitembe* and *Nakabululu* divergent (figure 1), suggèrent qu'il pourrait être responsable de la génération d'accessions d'autres sous-groupes.

Nakabululu et *Nakitembe* sont très liés selon notre analyse. Karamura (1998) a également rapporté que *Nakabululu* et *Nakitembe* étaient proches, une proximité reflétée par la maturation précoce de leurs

accessions. Les résultats ont montré que *Nakabululu* et *Nakitembe* étaient séparés par une valeur de bootstrap négligeable à l'embranchement et que la majorité des accessions étaient séparées les unes des autres par une distance génétique de Nei inférieure à 0,5 (figure 1), ce qui indique des relations génétiques étroites. Bien que Karamura (1998) ait rapporté que *Musakala* et les bananes à bière étaient les groupes les plus distincts, notre analyse place *Nakabululu* et *Musakala* comme les sous-groupes les plus distincts, en les groupant aux extrémités opposées du phénogramme (figure 1). Ceci est également reflété par l'extrême compacité des régimes et les doigts courts des accessions *Nakabululu*, par opposition aux régimes larges et luxuriants avec de longs doigts des accessions *Musakala* (Karamura 1998).

Notre analyse n'a pas placé les bananes à bière dans un groupe distinct, mais les a mélangés avec les types à cuire. Elle a mis les bananes à bière comme des versions des bananes à cuire différant à un ou plusieurs locus(i) responsables de la production d'une sève astringente (synthèse de tannins et d'anthocyanes).

La reproduction végétative obligatoire des bananiers les a conduits à garder les caractéristiques de leurs ancêtres quand ceux-ci ont été introduits dans la région (Simmonds 1966). Des mutations somatiques, couplées à la sélection faite par l'homme, ont conduit aux niveaux de diversité génétique très bas observés. Selon Karamura (1998), l'importante diversité des caractéristiques physiques, des climats et des environnements sociaux de l'Afrique de l'Est ont joué un rôle significatif dans la diversification des différents clones. Il est possible que la fréquence élevée de translocations et de (rétro)transposons ainsi que des irrégularités dans la méiose et la méthylation (Lagoda *et al.* 1999) soient responsables de la base génétique étroite observée chez les bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est en Ouganda.

Les faibles niveaux de diversité de l'ADN observés dans cette étude contrastent avec le niveau élevé de diversité morphologique présent chez les génotypes rapporté par Karamura (1998), probablement à cause de l'influence de l'interaction génotype x environnement sur les techniques morpho-taxonomiques (Shanmugavelu *et al.* 1992). La discordance entre la classification AFLP et la classification morphologique pourrait aussi être expliquée par les amorces utilisées dans notre analyse.

La séquence sélective d'une amorce est l'un des facteurs déterminants du rapport multiplex (le nombre de loci différents qui peuvent être analysés simultanément dans un essai) (Bryene *et al.* 1997). Nos résultats (données non présentées) indiquent que les

Tableau 1. Classification des 115 accessions de bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est basée sur des analyses enracinées et non enracinées des données AFLP, et comparée avec une classification basée sur des caractères morphologiques (Karamura et Pickersgill, 1999).

| Classification AFLP | | Classification | Classification AFLP | | Classification |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|
| Code* | Nom | morphologique | Code | Nom | morphologique |
| Sous-groupe Musakala | | | | | |
| Sous sous-groupe 1 (MS1) | | | | | |
| F6 | Mutiliti | Musakala | K7 | Katalimbwambuzi | Bière |
| F5 | Oruhuna | Bière | L2 | Nante | Nfuuka |
| G3 | Kifuba | Nfuuka | L1 | Siira white | Nakitembe |
| F9 | Kisaabo | Nfuuka | M6 | Siira red | Nfuuka |
| F8 | Lwandungu | Nfuuka | H2 | Nassaba | Nfuuka |
| F7 | Shombobureku | Bière | E7 | Kulwoni | Nfuuka |
| F4 | Entazidukwa | Nfuuka | Sous-groupe Nakitembe | | |
| G4 | Bareka | Ne s'applique pas | Sous sous-groupe 1 (NT1) | | |
| G2 | Mwanga | Bière | H7 | Nakitembe | Nakitembe |
| I7 | Mugjisu-agenda | Musakala | G9 | Entaragaza | Nakitembe |
| I6 | Kisansa | Musakala | I2 | Enkonera | Nfuuka |
| I5 | Rwabakongo | Musakala | H9 | Mbwazirume | Nakitembe |
| D6 | Enjogabakazi | Musakala | H1 | Salalugazi | Nakitembe |
| D8 | Mukazi-alanda | Musakala | G8 | Entundu | Bière |
| D7 | Nalweunzika | Musakala | I1 | Imbululu | Bière |
| F3 | Enyabakazi | Musakala | H4 | Enkara | Bière |
| I8 | Mpologoma | Musakala | G7 | Luvuta | Nakitembe |
| J6 | Bitambi | Nfuuka | H3 | Kibidebide | Ne s'applique pas |
| Sous sous-groupe 2 (MS2) | | | | | |
| J8 | Enzirabushera | Nfuuka | H8 | Kibagampera | Bière |
| J7 | Ndibwabalangira | Nfuuka | G6 | Nakaangu | Nakitembe |
| J9 | Luwata | Musakala | Sous sous-groupe 2 (NT2) | | |
| K1 | Mayovu | Nfuuka | I4 | Ekirama | Ne s'applique pas |
| J5 | Enjagata | Musakala | I3 | Nakawere | Nfuuka |
| I9 | Nandigobe | Nakitembe | M3 | Nalwera | Nakitembe |
| J4 | Bikowekowe | Nakitembe | L7 | Kafunze | Nakabululu |
| J3 | Enyarutere | Nakitembe | L8 | Nakakongo | Ne s'applique pas |
| J2 | Nakibinyi | Nfuuka | H6 | Mende | Bière |
| J1 | Kigerekyanjovu | Ne s'applique pas | M2 | Entanga | Bière |
| Sous sous-groupe 3 (MS3) | | | | | |
| G5 | Muvubo | Musakala | K6 | Nakyetengu | Nakitembe |
| G1 | Nalugolima | Musakala | K5 | Lwefusa | Nfuuka |
| L3 | Tulatwogere | Nfuuka | K4 | Namaliga | Nakitembe |
| B3 | Lwezinga | Nfuuka | M1 | Bagandeseza | Bière |
| A9 | Keitaluganda | Bière | L9 | Bifusi | Nakabululu |
| E5 | Enzirabahima | Nfuuka | L5 | Engumba | Bière |
| E1 | Kifuba | Nfuuka | Sous-groupe Nakabululu | | |
| D9 | Enyeru | Nfuuka | Sous sous-groupe 1 (NB1) | | |
| E2 | Namafura | Nfuuka | E9 | Bwara | Bière |
| E8 | Kasitaza | Nfuuka | E6 | Tereza | Nfuuka |
| A8 | Likhako | Nfuuka | D4 | Namulondo | Nakitembe |
| Sous sous-groupe 4 (MS4) | | | | | |
| B4 | Enyoya | Musakala | F1 | Nakinyika | Nfuuka |
| B1 | Mudwale | Bière | Sous sous-groupe 2 (NB2) | | |
| K2 | Lumenyamagali | Musakala | B9 | Endembezi | Bière |
| B2 | Namunwe | Musakala | B8 | Enyambo | Nfuuka |
| D2 | Kabusi | Ne s'applique pas | B7 | Namesti | Bière |
| M5 | Musakala | Musakala | C4 | Kazirakwe | Nakabululu |
| M7 | Bandagyeya | Musakala | B6 | Wekanga | Nakabululu |
| M4 | Nalukira | Bière | F2 | Kibuzi | Nakabululu |
| Sous-groupe Nfuuka | | | | | |
| Sous sous-groupe 1 (NF1) | | | | | |
| C1 | Namadhi | Bière | E4 | Nakhaki | Nfuuka |
| B5 | Nasala | Nakitembe | C3 | Nambogo | Nfuuka |
| A7 | Lisandalo | Nakitembe | A2 | Nakasabira | Nfuuka |
| A6 | Nambi | Nfuuka | Sous sous-groupe 3 (NB3) | | |
| A1 | Nyamashari | Nfuuka | D5 | Namamuka | Nfuuka |
| E3 | Njeriadet | Nfuuka | C6 | Nkobe | Nfuuka |
| C2 | Nabusa | Nfuuka | L6 | Ensasa | Bière |
| L4 | Nfuuka | Nfuuka | C5 | Namunyere | Nakabululu |
| K3 | Namwezi | Nfuuka | A3 | Keitabunyonyi | Nakabululu |
| H5 | Atwalira-Nyina | Nfuuka | A5 | Nalusi | Bière |
| Sous sous-groupe 2 (NF2) | | | | | |
| K9 | Entukura | Bière | A4 | Ensika | Ne s'applique pas |
| K8 | Nakayonga | Nakabululu | C7 | Engambani | Bière |
| | | | C9 | Kabucuragye | Nakabululu |
| | | | C8 | Enshenyuka | Bière |
| | | | D1 | Butobe | Nakabululu |
| | | | D3 | Nakibuule | Ne s'applique pas |

* Les codes ne sont donnés qu'à des fins d'identification.

combinaisons d'amorces individuelles ne pouvaient pas révéler suffisamment de polymorphisme sur lequel tirer des conclusions, parce que certaines parties du génome n'ont pas été étudiées pour le polymorphisme (van Treuren 2001).

Remerciements

Les auteurs remercient l'*USAID* et la Fondation Rockefeller pour leur soutien financier. ■

Références

Allen P.H. 1965. Annotated list of Philippine Musaceae. *Philippine Agriculture* 49: 320-411.

Bhat K.V., S. Lakhanpaul, K.P.S. Chandel & R.L. Jarret. 1997. Molecular markers for the characterization and identification of genetic resources of perennial crops. Pp. 107-117 *in* Molecular genetic techniques for plant genetic resources, Report on IPGRI Workshop 9-11 October, 1995 (W.G. Ayad, T. Hodgkin, A. Jaradat & V.R. Rao, eds). IPGRI, Rome, Italy.

Brewbaker J.L. & D.L. Umali. 1956. Classification of Philippine Musae I. The genera *Musa* L. and *Ensete* Horan. *Philippine Agriculture*. 40: 231-241.

De Langhe E.A.L. 1990. Identification of genetic diversity in the genus *Musa*: a general introduction. Pp. 8-16 *in* Identification of genetic diversity in the genus *Musa* (R.L. Jarret, ed.). INIBAP, Montpellier, France.

Donini P., M.L. Elias, S.M. Bougourd & R.M.D. Koebner. 1997. AFLP fingerprinting reveals differences between template DNA extracted from different plant organs. *Genome* 40:521-526.

Engelborghs I., R. Swennen, & S. Van Campenhout. 1998. Potentiel de l'AFLP pour détecter les différences génétiques et les variabts somaclonaux chez *Musa* spp. *INFOMUSA* 7(2):3-6.

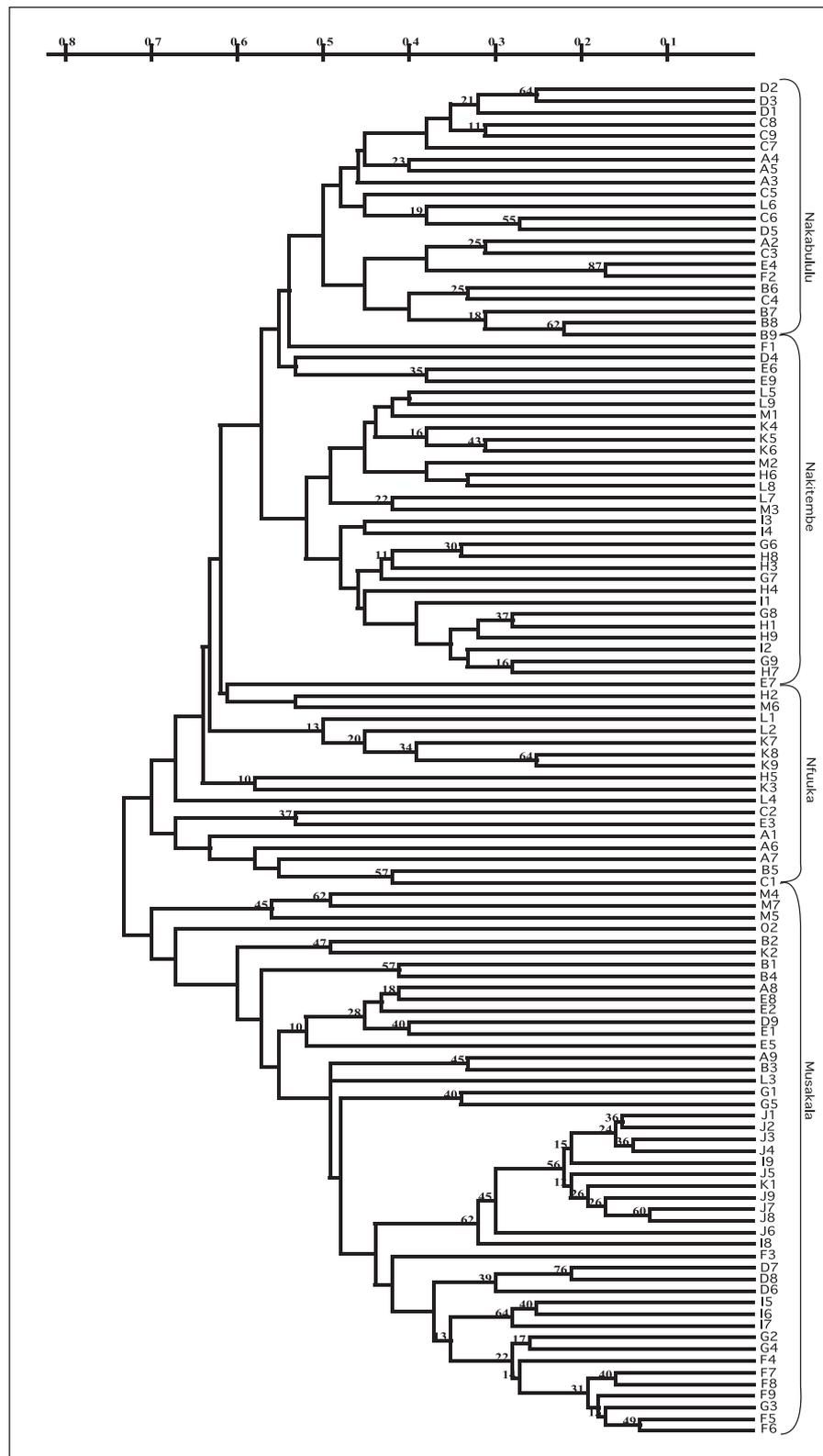
Faure S.F., F. Bakry & D. Gonzalez De Leffn. 1993. Cytogenetic studies on diploid bananas. Pp. 77-92 *in* Breeding banana and plantain for resistance to diseases and pests (J. Ganry, ed.). Proceedings of an International Symposium held in Montpellier France, 7-9 September 1992. CIRAD in collaboration with INIBAP, Montpellier, France.

Gawel N.J. & R.L. Jarret. 1992. Assessing relationships between *Musa* species using chloroplast DNA RFLPs. Pp. 231-235 *in* Biotechnology: Enhancing research on tropical crops in Africa (G. Thottappilly, L.M. Monti, D.R.Mohan Raj & A.W. Moore, eds). CTA, Wageningen, The Netherlands.

Jarret R.L. & N. Gawel. 1995. Molecular markers, genetic diversity and systematics in *Musa*. Pp. 66-83 *in* Bananas and Plantains (S. Gowen, ed.). Chapman & Hall, London.

Jones C.J., K.J. Edwards, S. Castaglione, M.O. Winfield, F. Sala, C. Van de Wiel, B. Voseman, M. Matthes, A. Daly, R. Brettschneider, E. Maestri, R. Marmioli, R. Aert, G. Volckaert & A. Karp. 1998. Reproducibility testing of AFLPs by a network of European laboratories. Pp. 191-193 *in* Molecular tools for screening Biodiversity (K. Angela, P.G. Isaac & D.S. Ingram, eds). Chapman & Hall, London.

Figure 1. Phénogramme de 115 accessions de bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est originaires d'Ouganda produit en utilisant la distance génétique de Nei sur des données AFLP. L'échelle au-dessus du phénogramme se réfère à la distance génétique de Nei et les nombres dans le phénogramme sont les valeurs de bootstrap. Les codes à la base du phénogramme se réfèrent aux accessions étudiées qui sont présentées au tableau 1.



Karamura D.A. 1998. Numerical taxonomic studies of the East African Highland bananas (*Musa* AAA-East Africa) in Uganda. PhD Thesis, University of Reading, UK.

Kyobe D.A. 1981. Survey of banana varieties in Uganda with regard to distribution and taxonomy. Pp. 332 *in* Proceedings of the 13th International Botanical Congress, Sydney, Australia.

Lagoda P., F.C. Baurens, L.M. Raboin, & J.L. Noyer. 1999. The study of Musaceae: Mapping and genomics. *PROMUSA*, a Global programme for *Musa* Improvement. International Symposium on Molecular and Cellular Biology of Banana. Ithaca, NY USA 22-25 March 1999.

Linacero R., J. Rueda & M.A. Vasquez. 1998. Quantitation of DNA. Pp. 18-21 *in* Molecular tools

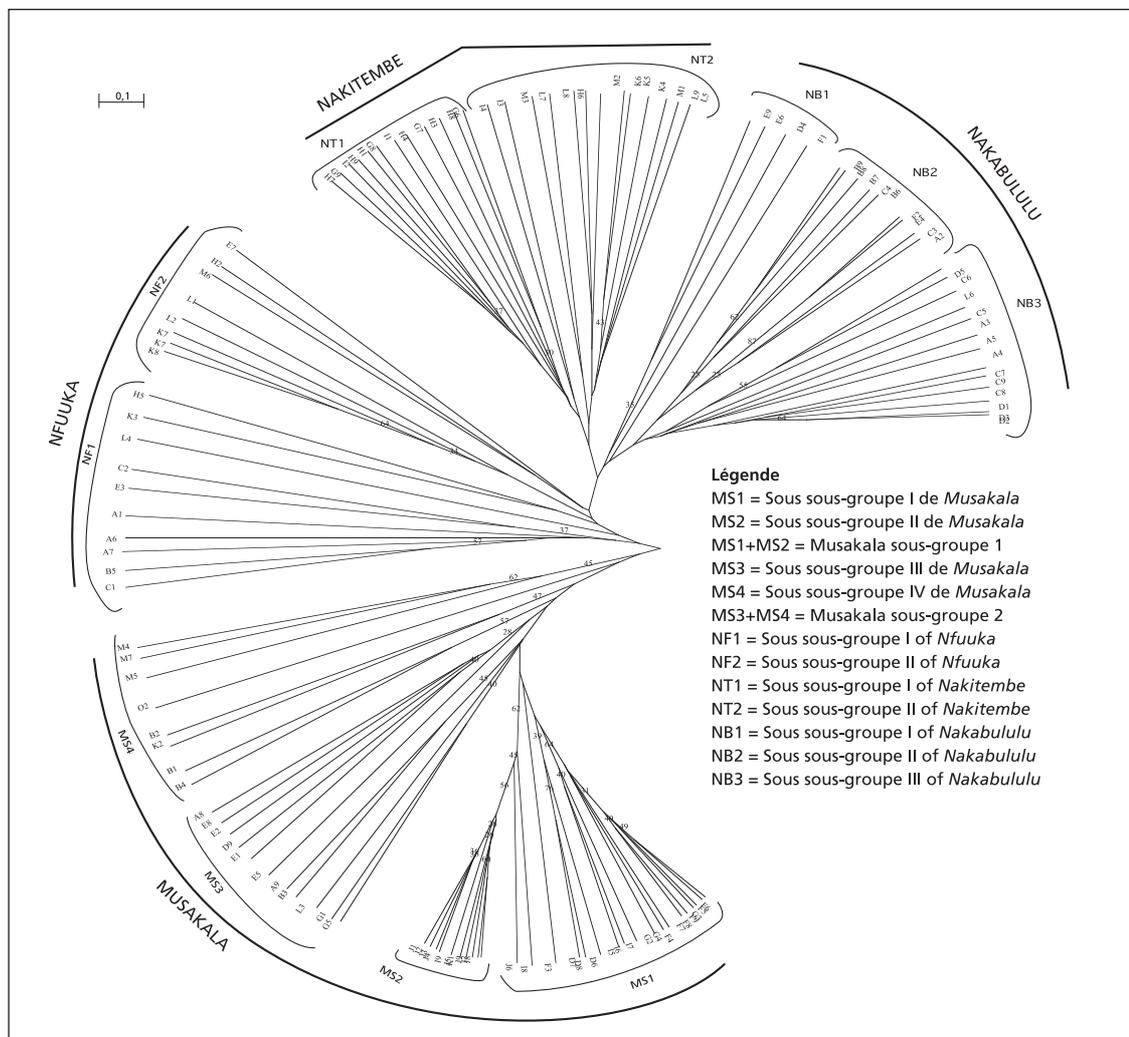


Figure 2. Phénogramme non enraciné de 115 accessions de bananiers des hautes terres d'Afrique de l'Est originaires d'Ouganda produit en utilisant des données AFLP regroupées. Les nombres aux embranchements sont des valeurs de bootstrap, et la barre dans le coin supérieur gauche du phénogramme est l'échelle de distance génétique de Nei. Les codes se réfèrent aux accessions étudiées qui sont présentées au tableau 1.

for screening biodiversity (K. Angela, P.G. Isaac & D.S. Ingram, eds). Chapman & Hall, London.

Maliyakale E.A. 1992. An efficient method for the isolation of RNA and DNA from plants containing polyphenolics. *Nucleic Acids Research* 20(9):2381.

Nei M. & W.H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 79:5269-5273.

Ortiz R., R.S.B. Ferris & D.R. Vuylsteke. 1995. Banana and plantain breeding. Pp. 110-146 *in* Bananas and Plantains (S. Gowen, ed.). Chapman & Hall, London.

Pich U. & I. Schubert. 1993. Midiprep method for the isolation of DNA from plants with a high content of polyphenolics. *Nucleic Acids Research* 21(14):3328.

Price N.S. 1995. The origin and development of banana and plantain cultivation. Pp. 1-13 *in* Bananas and Plantains (S. Gowen, ed.). Chapman & Hall, London.

Rowland L.J. & B. Nguyen. 1993. Use of polyethylene glycol for purification of DNA from leaf tissue of woody plants. *Biotechniques* 14(5):735-736.

Rubaihayo P.R. & S.B. Mukasa. 1993. Banana based cropping systems in Uganda. *Research Bulletin* 4:42-50.

Scott D.K., M.D. Walker, C.W. Clark, C.S. Parakash & K. Deahl. 1998. Rapid assessment of primer com-

binations and recovery of AFLP™ products using ethidium bromide staining. *Plant Molecular Biology Reporter* 16:41-47.

Sebasigari K. 1990. Principaux caractères de détermination dans la caractérisation morphologique des bananiers triploides *acuminata* d'Afrique de l'Est. Pp. 124-139 *in* Identification of genetic diversity in the genus *Musa*: (R.L. Jarret, ed.). INIBAP, Montpellier, France.

Shanmugavelu K.V., K. Aravindakshan, & S. Sathiamoorthy. 1992. Banana taxonomy, breeding and production technology. Metropolitan book Co. Ltd, London.

Simmonds N.W. 1966. Bananas (2nd edition). Longman, London, UK.

Sneath P.H.A. & R.R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. W.H. Freeman, San Francisco.

Stover R.H. & N.W. Simmonds. 1987. Bananas (3rd edition). Longman, London, UK.

Swennen R. & D.R. Vuylsteke. 1988. Bananas in Africa: Uses and prospects for improvement. *Crop Genetic resources for Africa Vol. II. Proceedings of an International Conference 17-20 October 1988, Ibadan-Nigeria*.

Valmayor R.V., F.N. Rivera & F.M. Lomuljo. 1981. Philippine banana cultivar names and synonyms. IPB. Bulletin No. 3, University of Philippines, Los Baños.

Valmayor R.V., S.H. Jamaluddin, B. Silayoi, S. Kusumo, L.D. Danh, O.C. Pascua & R.R.C. Espino.

2000. Banana cultivar names and synonyms in South East Asia. INIBAP, Asia & the Pacific Office, Los Baños, Laguna, Philippines.

Van de Peer Y. & R. De Wachter. 1994. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary tree for the Microsoft Windows Environment. *Computer Applications for Bioscience* 10:567-570.

Van Treuren R. 2001. Efficiency of reduced primer selectivity and bulked DNA analysis for the rapid detection of AFLP polymorphisms in a range of crop species. *Euphytica* 117:27-37.

Vos P., R. Hogers, M. Bleeker M., Reijans, T. van de Lee, H. Miranda, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper & M. Zabeau. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23(21):4407-4414.

Vroh B.I., L. Harvengt, A. Chandelier, G. Mergeai & P. Du Jardin. 1996. Improved RAPD amplification of recalcitrant plant DNA by use of activated charcoal during DNA extraction. *Plant Breeding* 115:205-206.

Arthur K. Tugume et Patrick R. Rubaihayo* travaillent au *Department of Crop Science, Faculty of Agriculture* et **G.W. Lubega** au *Department of Parasitology and Microbiology, Faculty of Veterinary Medicine, Université Makerere, P.O. Box 7062 Kampala, Ouganda.* e-mail : ruba@agric.mak.ac.ug

Identification des nématodes phytopathogènes chez les bananiers plantain cv. 'Dominico hartón' (*Musa* AAB Simmonds) et 'Africa' et chez les hybrides 'FHIA-20' et 'FHIA-21' en Colombie

O.A. Guzmán-Piedrahita et
J. Castaño-Zapata

En Colombie, les bananiers plantain couvrent environ 400 000 ha et produisent approximativement 2 970 000 tonnes de fruits dont 96% sont consommés localement et le reste est exporté (Merchán 1996, Arcila et Torres 1998). La banane plantain y est un aliment essentiel et sa consommation arrive en troisième position après celle de la pomme de terre et du lait (Grisales-López et Lescot 1999). Ce produit est indispensable à l'alimentation de base vu ses qualités nutritives. De plus sa culture est une source de travail et un important générateur de revenus (Cruz *et al.* 1990).

Les problèmes phytosanitaires les plus aigus de la culture du bananier plantain sont provoqués par les maladies foliaires causées par *Mycosphaerella* spp., le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) qui affecte le corme et les nématodes phytoparasites qui attaquent les racines et le corme. Ces derniers ont rendu obligatoire la mise au point de stratégies de contrôle génétique, chimique, biologique et cultural pour permettre une diminution des dommages qu'ils provoquent (Montiel *et al.* 1997).

Les phytonématodes qui affectent le bananier plantain occasionnent des dommages directs aux racines et au corme, réduisent la croissance, entraînent une diminution de la grosseur et du nombre des feuilles, ainsi que du poids des fruits, et provoquent la chute des plants en raison du pourrissement du système racinaire (Montiel *et al.* 1997). Les pertes de production sont estimées à environ 20 % (Saser et Freckman 1987 cités par Marin 1997). Cependant, des pertes allant jusqu'à 80% ont été observées (Sarah 1989 cité par Marin 1997).

Chez les Musacées, on compte 146 espèces de nématodes parasites ou associés au genre *Musa*, réparties en 43 genres. Les phytonématodes les plus dévastateurs et les plus largement répandus sont les endoparasites migrateurs *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* ainsi que le semi-endoparasite *Helicotylenchus multicinctus* (Araya 1995). A un degré moindre, on rencontre des espèces du nématode endoparasite sédentaire *Meloidogyne* et le

semi-endoparasite sédentaire *Rotylenchus reniformis* (Gowen et Quénéhervé 1990, Araya 1995).

R. similis (nématode foreur) est d'une importance économique de premier plan dans la majorité des régions où sont cultivés les bananes et les bananes plantain. Les symptômes apparaissent au niveau des racines sous forme de lésions de 10 cm de long, rougeâtres au début puis virant au noir. Au fur et à mesure que la taille de la lésion augmente et que des cavités se forment sur l'écorce, le tissu vasculaire est de plus en plus exposé à l'invasion secondaire par des micro-organismes pouvant entraîner la mort de la racine en amont de la lésion. Des infections sévères nécrosent le rhizome, d'où le terme 'tête noire' forgé par Ashby (1915, cité par Roman 1978). Par conséquent, le cycle végétatif s'allonge, la taille de la plante diminue, le nombre de feuilles et le développement des plants aussi, entraînant la réduction du poids du régime et de la vie productive de la plantation, ainsi que l'augmentation du risque de renversement des plants (Gowen et Quénéhervé 1990).

Huit espèces du genre *Pratylenchus* ont été recensées dans le monde comme attaquant les Musacées, bien que deux seulement soient largement répandues et reconnues dangereuses : *Pratylenchus coffeae* et *P. goodeyi* (Thorne 1961, Gowen et Quénéhervé 1990). *P. coffeae* (nématode à lésions) a été décrit sur des racines de bananier plantain à la Grenade et répertorié en tant que *Tylenchus musicola* par Cobb en 1919. A la différence de *P. goodeyi*, ce nématode paraît être largement répandu à travers le monde (Gowen et Quénéhervé 1990). Les symptômes apparaissent sur les racines sous forme d'une nécrose extensive noire ou pourpre des tissus épidermiques et corticaux, fréquemment accompagnée par le pourrissement secondaire et la rupture de la racine (Gowen et Quénéhervé 1990).

H. multicinctus (nématode spiralé) est probablement, après *R. similis*, le nématode le plus abondant et le plus largement répandu dans les plantations de bananes et de bananes plantain à travers le monde. Les symptômes relevés sur les racines consistent en des lésions rouges superficielles de l'épiderme et de l'écorce (Roman 1978, Gowen et Quénéhervé 1990).

On retrouve *Meloidogyne* spp. (nématode à galle) sur les racines de bananiers et de bananiers plantain partout où on les cultive (De Waele et Davide 1998, Figueroa 1990). Les premiers symptômes se manifestent par des gonflements et des galls sur les racines primaires, et à un moindre degré, sur les racines secondaires et tertiaires, provoquant l'apparition de symptômes secondaires comme le jaunissement des parties aériennes de la plante, des feuilles plus étroites, l'arrêt de la croissance et une diminution de la production allant jusqu'à 57%. Ces nématodes infectent un large éventail d'hôtes, particulièrement chez les dicotylédones, plantes que l'on rencontre souvent dans les zones où sont cultivées les Musacées (De Waele et Davide 1998).

Le bananier plantain cv. 'Dominico hartón' appartient au groupe *Musa* (AAB), sous-groupe des bananiers plantain de type 'Horn'. Dans d'autres pays latino-américains, on le connaît sous le nom de 'Macho x Hembra', 'Maricongo' ou 'Bastard'. C'est un matériel assez instable, qui, selon l'altitude de culture, manifeste les effets de l'interaction génotype-milieu sur le plan de la physiologie de la plante et du régime. Il est sensible à *R. similis* et est considéré comme un matériel intermédiaire entre les cv. 'Dominico' et 'Hartón' (Belalcázar 1991).

Le cultivar 'Africa' est une sélection du clone africain 'Mbouroukou' de type 'Hartón', qui s'adapte très bien à l'altitude et se cultive du niveau de la mer jusqu'à 1700 m. Son régime peut atteindre un poids de 26 kg et la qualité de ses fruits est similaire à celle du cv. 'Dominico hartón'. Son cycle dure approximativement 10 mois, selon le type de fertilisation appliquée, ce qui lui permet de maintenir une ou deux feuilles fonctionnelles jusqu'au moment de la récolte (www.corpoica.org.co 2000).

L'hybride 'FHIA-20' (AAAB) est résistant à la fusariose (ou maladie de Panama) ainsi qu'à la maladie des raies noires et la maladie de Sigatoka, mais il est très sensible à *R. similis*. Cet hybride est une alternative au bananier plantain 'Cuerno'. Son rendement élevé (20 à 30 kg sans le rachis) et ses fruits d'excellente qualité, pouvant être consommés frais ou cuits alors qu'ils sont verts ou mûrs, lui confèrent une place privilégiée. Sa production peut être de deux à trois fois plus

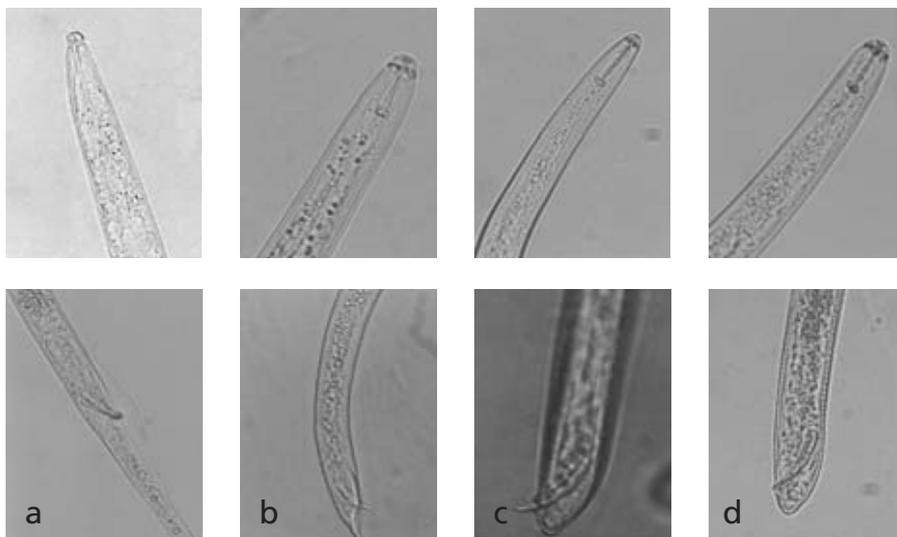


Figure 1. Région de la tête et de la queue d'individus mâles de : a. *Radopholus similis*, b. *Pratylenchus coffeae*, c. *Helicotylenchus multicinctus*, d. Larve au stade J4 de *Meloidogyne* spp.

importante que celle du bananier plantain 'Cuerno' (www.fhia.hn/banano.htm 1998).

L'hybride 'FHIA-21' (AAAB) est résistant à la fusariose, à la maladie des raies noires et la maladie de Sigatoka. Il possède un rendement élevé (22 à 27 kg sans rachis) et l'excellente qualité de ses fruits lui confère également une place privilégiée quant à leur consommation en frais ou cuits (verts ou mûrs). Ce matériel, sensible à *R. similis*, est cultivé avec d'excellents résultats par de petits agriculteurs ou par des coopératives au Honduras, au Nicaragua et en Equateur. Sa production, dans des conditions identiques, peut être de deux à trois fois plus élevée que celle du bananier plantain 'Cuerno' (www.fhia.hn/banano.htm 1998).

En raison des dommages causés par les nématodes sur les racines et le corne et le peu d'informations disponibles sur leur incidence dans la municipalité de Palestina (Caldas, Colombie), nous avons réalisé à la ferme Montelindo l'étude présentée ici afin de déterminer les genres et les populations de phytonématodes qui interfèrent avec le développement et le fonctionnement du système racinaire des bananiers plantains 'Dominico hartón', 'Africa', 'FHIA-20' et 'FHIA-21'.

Matériel et méthodes

La ferme Montelindo de l'Université de Caldas est située dans le secteur Santagueda, municipalité de Palestina, département de Caldas, à une altitude de 1010 m, avec une température annuelle moyenne de 22,8°C et des précipitations annuelles de 2200 mm. Les sols sont formés à partir de cendres volcaniques andésitiques au grain fin, classés dystrandept typique, présentant une bonne fertilité naturelle et une texture franco-sableuse (Salazar et Duque 1994).

Les plants des bananiers plantain 'Africa', 'FHIA-20' et 'FHIA-21' sont issus de la micropropagation menée au laboratoire de culture tissulaire du Département de Phytotechnologie. Le cv. 'Dominico hartón' a été obtenu sous forme de corne d'environ 1 kg, en provenance de la

plantation Chagualito de la municipalité de Chinchiná, Caldas. Au moment de l'échantillonnage, les plants étaient âgés de 12 mois et plantés sur des parcelles de 25 individus (5 x 5), distancés de 3 m par 2 m, avec des bordures de bananiers plantains 'Dominico hartón', répartis selon les mêmes distances. Les parcelles ont été distribuées au hasard. Avant de procéder à la plantation, on a incorporé sur chaque site 1 kg de *cenichaza* (compost à base de cendres de canne à sucre), 13 g de Furadan 3 GR, 10 g de MgO et 15 g de borax. On a réalisé 3 fertilisations tous les 4 mois (200 g par plante): la première avec $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$ (1 pour 1); la deuxième avec du fertilisant 'Cumba' (15-4-23-4) et la troisième avec $\text{NH}_4\text{SO}_4 + \text{KCl}$ (1 pour 1). On n'a appliqué ni fongicides ni pesticides. On a laissé deux rejets par plante, éliminé les feuilles pliées et sèches en les coupant à la base de bas en haut et les mauvaises herbes tous les quatre mois à l'aide d'une faux dans les rangées et à la main au pied des plants.

On a prélevé des échantillons de 200 g de sol et de racines du rejet successeur mesurant moins de 2 m de hauteur, issu d'une plante ayant fleuri récemment (pas plus de huit jours) (Araya *et al.* 1995, Araya et Chaves 1997). Les prélèvements ont été extraits à l'aide d'une pelle rectangulaire (13cm de large x 50 cm de long), à 25 cm de la base de la plante, d'un trou de 13 cm de large sur 13 cm de long et 30 cm de profondeur, orienté face au rejet successeur (Araya *et al.* 1995, Cabrales 1995). Le sol et les racines ont été placés dans des sacs en plastique, étiquetés et transportés pour analyse au laboratoire de phytopathologie de l'Université de Caldas.

Les racines ont été lavées à l'eau potable pendant 3 min, essorées et les racines fonctionnelles (vivantes) séparées des non fonctionnelles (nécrosées et/ou mortes). Après avoir pesé 25 g de racines fonctionnelles sur une balance *Analytical Plus* (Ohaus, modèle AP210S), celles-ci ont été coupées transversalement en morceaux de 1 cm avec une paire de

ciseaux et mélangées (Araya *et al.* 1995). L'extraction des nématodes s'est faite par mixage, centrifugation et flottaison dans une solution sucrée (Castaño-Zapata *et al.* 1997, Araya *et al.* 1995). Les racines ont été placées dans un bécher et recouvertes d'eau potable jusqu'à 1000 ml, puis malaxées pendant environ 30 s sur un mixeur *Osterizer* (modèle 565-15) en augmentant progressivement la vitesse. Le liquide obtenu a été tamisé sur trois tamis superposés n° 35, 100 et 400 (pores de 0,5; 0,150 et 0,038 mm respectivement). Les tamis n° 35 et 100 ont été lavés pendant 2 min et leur contenu versé dans un bécher de 200 ml complété par de l'eau potable jusqu'à 100 ml. Enfin, le mélange eau-racines a été homogénéisé avec une baguette de verre pendant 30 s et transvasé dans des tubes de centrifugeuse à rotation séparée (3 800 t/min durant 5 min). Une fois le surnageant éliminé, les tubes ont été remplis de nouveau avec une solution sucrée (500 g de sucre dissous dans 1 L d'eau) et recentrifugé à 3800 t/min durant 5 min. Le surnageant a été versé sur un tamis n° 400, lavé à l'eau distillée pour éliminer la solution sucrée, et transféré dans un bécher de 100 ml auquel on a ajouté de l'eau potable pour compléter à 20 ml. La suspension a été homogénéisée avec une baguette de verre pendant 10 s puis une aliquote de 5 ml a été déposée dans une cellule de comptage (une boîte de Pétri divisée en 8 quadrants). Une fois le comptage effectué sous stéréoscope (marque Nikon), ces 5 ml ont été remis dans le bécher, homogénéisés à nouveau et comptés à trois reprises. Le nombre moyen de nématodes a été calculé par ml et la population totale de l'échantillon a été extrapolée.

Vingt nématodes ont été prélevés dans la cellule de comptage à l'aide d'une aiguille à dissection, déposés dans une goutte d'eau sur une lame recouverte ensuite d'une lamelle, observés au microscope (marque Nikon) à l'objectif 40 et identifiés à l'aide de tables taxonomiques (Luc *et al.* 1990, Thorne 1961, Taylor 1968, Roman 1978, Castaño-Zapata et Salazar 1998). Une analyse de variance des moyennes des populations obtenues a été réalisée grâce au programme statistique MSTAT - C de l'Université du Michigan (Bricker 1993).

Résultats et discussion

Deux genres et deux espèces de nématodes phytoparasites ont été identifiés : *Pratylenchus* spp. et *Meloidogyne* spp.; *H. multicinctus* et *R. similis* (figures 1 et 2). À l'exception de *R. similis* pour les bananiers plantain 'Africa' et 'FHIA-20', les autres nématodes ont été trouvés sur tous les bananiers plantain étudiés. Les populations suivent l'ordre d'importance suivant : *Meloidogyne* spp., *R. similis*, *H. multicinctus* et *Pratylenchus* spp. (tableau 1), ce qui confirme leur type d'habitat et leur condition de parasites obligés (Thorne 1968, Roman 1978).

Tableau 1. Nombre de nématodes par 100 g identifiés chez les quatre variétés étudiées.

| Variété | <i>R. similis</i> | | <i>Pratylenchus</i> spp. | | <i>H. multicinctus</i> | | <i>Meloidogyne</i> spp. | |
|-----------------|-------------------|---------|--------------------------|---------|------------------------|---------|-------------------------|---------|
| | Sol | Racines | Sol | Racines | Sol | Racines | Sol | Racines |
| Dominico hartón | 412* | 2605 | 412 | 650 | 204 | 1166 | 412 | 710 |
| Africa | 0 | 0 | 285 | 797 | 3136 | 1940 | 3704 | 3220 |
| FHIA-20 | 0 | 0 | 860 | 675 | 312 | 2032 | 2580 | 3819 |
| FHIA-21 | 1168 | 3135 | 1752 | 1486 | 584 | 3096 | 2336 | 4040 |

* Moyenne de trois échantillons.

Les populations les plus élevées de *R. similis* ont été enregistrées sur les racines de 'FHIA-21' et de 'Dominico hartón' (tableau 1), ce qui explique le pourcentage élevé de renversements observés chez ces génotypes sur le site expérimental, diminuant de manière significative leur potentiel de production.

Les faibles populations de *Pratylenchus* spp. à Santágueda confirment les observations d'Araya *et al.* (1993) qui a observé que ce nématode est plus fréquemment rencontré en climat froid.

Alors que *R. similis* n'a pas été trouvé chez 'Africa' et 'FHIA-20', des populations relativement élevées de *Meloidogyne* spp. ont été observées (tableau 1). L'absence, chez ces deux génotypes, de *R. similis*, espèce qui limite le plus la production des bananes et des bananes plantain dans le monde, est un facteur qui a contribué au rendement élevé de ces deux matériels dans les conditions expérimentales de la ferme Montelindo. Il faut souligner que 'FHIA-20' est sensible à ce nématode. Le fait de ne pas l'avoir trouvé dans les échantillons de sol et de racines peut être attribué à l'absence d'inoculum, probablement parce qu'auparavant cette parcelle était couverte de chien-dent amélioré [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], ou être dû à des caractères de résistance aux phytonématodes hérités de 'SH-3437' (Binks et Gowen 1996).

Dans les conditions des zones caféières de la région andine de Colombie, où 231 000 ha de bananiers plantain produisent 1 650 000 tonnes par an, soit l'équivalent de 67% de la production nationale (Rodríguez et Rodríguez 2001), *R. similis* représente une grande menace pour les exploitations d'autant plus qu'il s'agit d'un facteur favorisant l'entrée d'autres agents pathogènes comme les champignons, les bactéries et les virus. C'est pourquoi il est indispensable de recenser ses populations et de commencer à pratiquer la lutte intégrée dans les plantations commerciales. ■

Références

Araya M. 1995. Efecto depresivo de ataques de *Radopholus similis* en banano (*Musa* AAA). CORBANA 20(43):3-5.
 Araya M., M. Centeno & W. Carrillo. 1995. Densidad poblacional y frecuencia de los nematodos parásitos de banano (*Musa* AAA) en nueve cantones de Costa Rica. CORBANA 20(43):6-11.

Araya M. & A. Chaves. 1997. Selección d'un type de plante pour l'échantillonnage des nématodes des bananiers (*Musa* AAA). *INFOMUSA* 7(1):23-26.
 Arcila M. & F. Torres. 1998. Aspectos sobre fisiología y manejo poscosecha del plátano en la región cafetera central. Influencia de las condiciones ambientales sobre las propiedades físicas y químicas del fruto. Pp 247-259 in *Memorias Seminario Internacional sobre Producción de Plátano*. Universidad del Quindío, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, SENA, Inibap, Corpoica.
 Belalcázar C.S. 1991. Aspectos agronómicos. in *El Cultivo del Plátano (Musa AAB Simmonds) en el Trópico*. Manual de asistencia técnica No. 50. Impresora Feriva Ltda. Cali - Colombia. 376pp.
 Binks R. & S. Gowen. 1996. Evaluation au champ de l'infestation de matériel génétique de *Musa* par les nématodes. *INFOMUSA* 5(2):15-16.
 Bricker B. (ed.). 1993. *MSTAT-C*. A microcomputer program for the design, management, and analysis of agronomic research experiments. Chapter 9: Analysis of variance. *Crop and Soil Sciences*. Agricultural Economics. Institute of International Agriculture. Michigan State University.
 Cabrales L. 1995. Determinación del sitio de muestreo de raíces en estudios nematológicos del banano. *ASCOLFI* 19(1):129-135.
 Castaño-Zapata J. & H. Salazar. 1998. Illustrated guide for identification of plant pathogens. University of Caldas. Manizales, Colombia. Pp 74-98.
 Castaño-Zapata J., L. del Río-Mendoza & A. Acosta. 1997. V Nematodos fitoparásitos. Pp. 113-210 in *Manual para el diagnóstico de hongos, bacterias,*

virus y nematodos fitopatógenos. (Castaño-Zapata J. and L. del Río-Mendoza, eds). Centro Editorial Universidad de Caldas-Zamorano. 210pp.
 Cruz C.G., C.A. Rebécherledo, D. Betancourt, S.A. Morales & J.R. Duque. 1990. Evaluación técnico económica de los sistemas de producción de plátano en el gran Caldas. Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía. 186pp.
 De Guiran G. & A. Vilardebo. 1962. El banano en las islas Canarias. IV Los nematodos parásitos del banano. *Fruits* 17(6):263-277.
 De Waele D. & R. Davide. 1998. Nematodos noduladores de las raíces del banano, *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White, 1919) Chitwood, 1949 y *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949. *Plagas de Musa*. Hoja divulgativa No 3. 4pp.
 Figueroa M. 1990. Dinámicas poblacionales de cuatro géneros de nematodos parásitos en plátano (*Musa* AAB, subgrupo plátano cv Currare). *ASBANA* 14(33):5-7.
 Gowen S. & P. Quénéhervé. 1990. Nematodes of bananas, plantains and abaca. Pp. 431-460 in *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture* (M. Luc, R. Sikora and J. Bridge, eds). CAB International, London.
 Grisales-Lopez F. & T. Lescot. 1999. Encuesta diagnóstica multifactorial sobre plátano en la zona cafetera central de Colombia: una visión analítica de la realidad agronómica del cultivo del plátano en la zona central. *Bécheretín Técnico FNCC* No. 18. 66pp.
 Luc M., D. Hunt & J. Machon. 1990. Morphology, anatomy and biology of plant parasitic nematodes - a

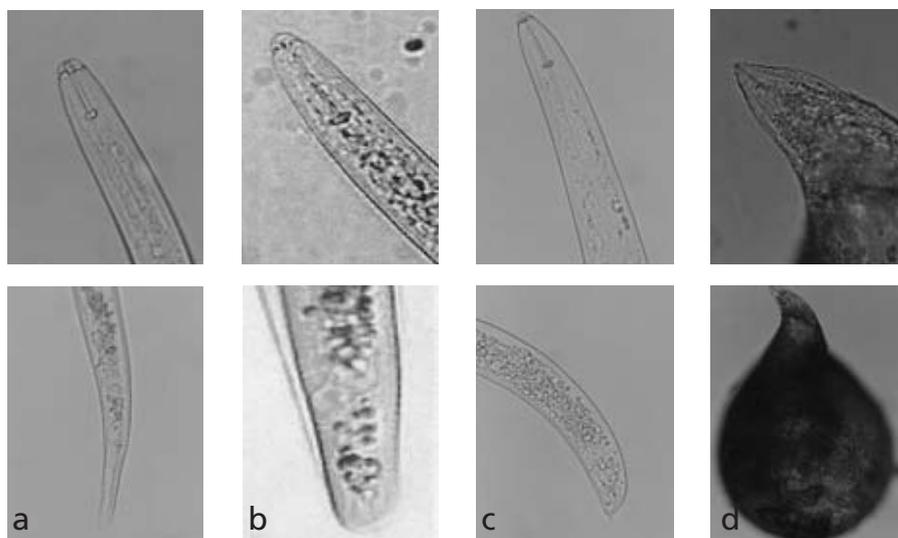


Figure 2. Région de la tête et de la queue d'individus femelles des espèces et genres identifiés : a. *Radopholus similis*, b. *Pratylenchus coffeae*, c. *Helicotylenchus multicinctus*, d. tête et femelle entière de *Meloidogyne* spp.

- Synopsis. Pp. 1-44 *in* Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture (M. Luc, R. Sikora and J. Bridge, eds). CAB International, London.
- Marín D. 1997. Rotación de cultivos: Una opción para el manejo de nematodos fitoparásitos en la renovación de plantaciones bananeras. *CORBANA* 22(48):107-111.
- Merchán V.V.M. 1996. Prevención y manejo de la Sigatoka negra. Bécheret Informativo. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Manizales. 30pp.
- Montiel C., L. Sosa, C. Medrano & D. Romero. 1997. Nematodos fitoparásitos en plantaciones de plátano (*Musa* AAB) de la margen izquierda del río Chana, Estado Zulia, Venezuela. Pp. 245-251 *in* Rev. Fac. Agron. (LUZ) 14:245-251. Departamento Fitosanitario. Facultad de Agronomía. Universidad de Zulia, Venezuela.
- Rodríguez J.L. & A. Rodríguez. 2001. Aspects socio-économiques de la culture du bananier plantain en Colombie. *INFOMUSA* 10(1):4-9.
- Román J. 1978. Fitonematología tropical. Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico. 256pp.
- Salazar H. & S. Duque. 1994. Manejo cultural y químico de la pudrición acuosa del pseudotallo (*Erwinia chrysantemi* pv *paradisiaca*) en *Musa* sp. *Fitopatología Colombiana*. 18 (1):20-35.
- Taylor A. 1968. Introducción a la nematología vegetal aplicada. Guía de la FAO para el estudio y combate de los nematodos parásitos de las plantas. 131pp.
- Thorne G. 1961. Principles of nematology. McGraw-Hill- Book Company. USA. 547pp.
- <www.corpoica.org.co> 2000
<www.fhia.hn/banano.htm> 1998
- Oscar Adrián Guzmán-Piedrahita travaille en tant qu'ingénieur agronome pour le 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, A.A. 275, Manizales Caldas. Colombie. E-mail : fitotec@cumanday.ucaldas.edu.co

Culture de tissu

Systèmes d'immersion

Comparaison des systèmes d'immersion temporaire et permanente pour la culture *in vitro* du bananier

K. Matsumoto et A. Kaizer C. Brandão

Les plantules issues de micropropagation sont de plus en plus utilisées pour la culture commerciale des bananiers parce que le matériel de plantation est sain, facile à manipuler et qu'il rend possible la synchronisation de la récolte. Cependant, les techniques de micropropagation existantes, qui utilisent les méristèmes et bourgeons de bananier (Cronauer et Krikorian 1984, Gupta 1986, Wong 1986, Vuylsteke 1989), sont exigeantes en main d'œuvre et nécessitent des surfaces de laboratoire importantes. En conséquence, le coût de production des plantules micropropagées est très élevé, ce qui rend les petits planteurs réticents à utiliser ces plantes supérieures.

Le coût de production peut être réduit en ayant recours à la culture *in vitro* à grande échelle en utilisant des bioréacteurs. Divers types de bioréacteurs ont été adaptés pour la micropropagation des plantes (Levin *et al.* 1988, Akita *et al.* 1994, Lim *et al.* 1998, Lorenzo *et al.* 1998). Des systèmes d'immersion temporaire ont été utilisés avec succès pour la micropropagation de bananiers des groupes AAA (Alvard *et al.* 1993, Lemos *et al.* 2000) et AAAB (Daquinta *et al.* 2000). L'objectif de cette étude était de comparer un système d'immersion temporaire avec un système d'immersion permanente et un système de culture conventionnel, en utilisant un cultivar brésilien du groupe AAB.

Matériel et méthodes

Des plantules *in vitro* du cultivar 'Maçã' (AAB) induites à partir de bourgeons ont été

maintenues sur un milieu de Murashige et Skoog (MS) contenant 2 µM d'acide indole-3-acétique (AIA), 2 µM de 6-benzylaminopurine (BAP) et 2 g/l de Phytigel (Sigma Co.) dans des récipients de 300 ml. Les cultures étaient maintenues dans une chambre à environnement contrôlé à 27 ± 2°C sous une photopériode de 16 h de lumière/8 h d'obscurité avec une intensité lumineuse de 33 µmol m⁻² s⁻¹, en utilisant des tubes fluorescents produisant de la lumière blanche froide. Chaque explant *in vitro*, d'une longueur de 10 mm, contenant le méristème, a été coupé en deux longitudinalement et transféré dans les bioréacteurs.

Le système d'immersion temporaire a été mis en place comme décrit par Escalona *et al.* (1999). Des récipients de 10 litres ont été utilisés pour contenir les explants et des récipients de 5 litres pour le milieu de culture (figure 1). Cent trente explants (65 méristèmes) ont été transférés dans chaque bioréacteur avec 2000 ml de milieu (un méristème pour 30 ml de milieu). Les explants étaient immergés dans le milieu pendant quatre minutes toutes les quatre heures. Le milieu de culture était un milieu MS contenant 22 µM de BAP et 100 mg/l de Claforam pour le contrôle microbien.

Dans le système d'immersion permanente, le même volume de milieu et la même taille de récipients que dans le système d'immersion temporaire ont été employés. De l'air stérilisé et filtré était injecté au moyen d'une pompe à air (600 ml/s) toutes les heures pendant cinq secondes. Trente méristèmes ont été placés dans le bioréacteur (un méristème pour 66 ml de milieu).

Dans le système de culture conventionnel, les explants étaient cultivés sur milieu MS

solidifié avec 0,2 g/l de Phytigel (Sigma Co.). Dans chaque récipient de 300 ml (Magenta Box®, Sigma Co.), quatre explants ont été inoculés avec 50 ml de milieu (un méristème pour 25 ml de milieu). Dix récipients ont été utilisés, pour un total de 40 explants.

Les cultures ont été maintenues dans une chambre à environnement contrôlé (27 ± 2°C, lumière blanche froide fluorescente d'une intensité de 33 µmol m⁻² s⁻¹, photopériode de 16 h de lumière/8 h d'obscurité). Au bout de quatre semaines, le nombre de pousses, leur taille ainsi que le poids frais des pousses et des bourgeons ont été notés. Les résultats ont été analysés par analyse de variance à une voie (ANOVA) suivie d'un test de Duncan de comparaison des moyennes multiples à la probabilité de p = 0,05.

Résultats et discussion

L'emploi de récipients de 10 litres augmente le risque de contamination microbienne mais permet de maintenir les explants dans le même récipient jusqu'à ce que les plantules aient des racines suffisamment développées pour leur acclimatation (figure 2). Nous ne sommes toujours pas sûrs de l'efficacité de l'antibiotique (Claforam) utilisé dans notre étude pour réduire le risque de contamination, mais nous recommandons un tel traitement par précaution.

Les systèmes d'immersion temporaire et d'immersion permanente ont produit respectivement 3,7 et 12 fois plus de matériel végétal que le système de culture conventionnel (tableau 1). Les pousses produites dans le système conventionnel étaient également significativement plus petites que celles pro-



Figure 1. Dans le système d'immersion temporaire, le bioréacteur était un récipient de 10 litres et un récipient de 5 litres était utilisé comme réservoir pour le milieu.



Figure 2. Plantules *in vitro* de deux mois produites avec le système d'immersion temporaire, prêtes à l'acclimatation.

duites dans les deux autres systèmes. Cependant, le nombre de pousses produites avec le système de culture conventionnel n'était pas significativement différent de celui obtenu avec le système d'immersion temporaire. Ceci est dû au fait que nous n'avons compté que les pousses d'une longueur d'au moins 5 mm. Si le seuil avait été de 10 mm, le nombre de pousses dans le système de culture conventionnel aurait été plus bas.

Le système d'immersion permanente a produit de plus grandes pousses, mais en nombre inférieur. Le système d'immersion permanente est aussi plus simple et facile à installer que le système d'immersion temporaire, mais il induit des niveaux de vitrification élevés et la croissance méristématique du rhizome, qui ne sont pas favorables à la micropropagation (Vuylsteke 1989).

Pour la culture de tissus de bananier, l'objectif est de produire un nombre maximum de pousses d'une taille suffisante pour être enracinées. Pour cet objectif, parmi les systèmes expérimentés, le système d'immersion temporaire a donné les meilleurs résultats globaux, résultat qui est en accord avec des études précédentes (Daquinta *et al.* 2000, Lemos *et al.* 2000).

Remerciements

Nous remercions le Dr Maritza Escalona du *Centro de Bioplasmas*, Ciego de Avila, Cuba, pour ses conseils et son assistance technique lors de l'installation des bioréacteurs. ■

Références

- Akita M., T. Shigeoka, Y. Koizumi & M. Kawamura. 1994. Mass propagation of shoots of *Stevia rebaudiana* using a large-scale bioreactor. *Plant Cell Reports* 13:180-183.
- Alvard D., F. Côte & C. Teisson. 1993. Comparison of methods of liquid medium culture for banana micropropagation: Effects of temporary immersion of explants. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 32:55-60.
- Cronauer S.S. & A.D. Krikorian. 1984. Rapid multiplication of bananas and plantains by *in vitro* shoot tip culture. *HortScience* 19(2):234-235.
- Daquinta M., Y. Lezcano, M. Escalona & R. Santos. 2000. *In vitro* multiplication of the banana FHIA-18 with pactobutrazol and thidiazuron, using different ways of cultivation. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal-SP* 22(1): 86-88.
- Escalona M., J.C. Lorenzo, B. Gonzalez, M. Daquinta, J.L. Gonzalez, Y. Desjardins & Borroto C.G. 1999. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) micropropagation in temporary immersion systems. *Plant Cell Reports* 18(9):743-748.
- Gupta P.P. 1986. Eradication of mosaic disease and clonal multiplication of bananas and plantains

through meristem tip culture. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 6:33-39.

- Lemos E.E.P., M.S. Ferreira, V.S. Magalhães, L.M.C. Alencar & J.G.L. Oliveira. 2000. Uso de bioreatores de imersão temporária para incrementar a micropropagação de banana. *ABCTP Notícias* 36:2-5.
- Levin R., V. Gaba, B. Tal, S. Hirsch, D. Denola & I.K. Vasil. 1988. Automated plant tissue culture for mass propagation. *Bio/Technology* 6:1035-1040.
- Lim S., J.H. Seon, K.Y. Paek, S.H. Son & B.H. Han. 1998. Development of pilot scale process for mass propagation of *Lilium* bulblets *in vitro*. Pp. 237-241 *in* Proceedings of the International Symposium on Biotechnology of Tropical and Subtropical Species, Part 2 (R.A. Drew, ed.) *Acta Hort.* 461.
- Lorenzo J.C., B.L. Gonzalez, M. Escalona, C. Teisson, P. Espinosa & C. Borroto. 1998. Sugarcane shoot formation in an improved temporary immersion system. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 54(3):197-200.
- Vuylsteke D. 1989. Shoot-tip culture for the propagation, conservation and exchange of *Musa* germplasm. *Practical manuals for handling crop germplasm in vitro 2*. IBPGR, Rome.
- Wong W.C. 1986. *In vitro* propagation of banana (*Musa* spp.): initiation, proliferation and development of shoot-tip cultures on defined media. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 6:159-166.

Tableau 1. Poids frais des pousses et des bourgeons, nombre de pousses et taille des pousses après quatre semaines de culture des explants (moyenne ± erreur standard).

| Système de culture | Poids frais des pousses et des bourgeons* (g) | Nombre de pousses par explant** | Taille des pousses (mm) |
|----------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------|
| Système d'immersion temporaire | 5,38 ± 0,34 b (n=37) | 2,83 ± 0,22 b (n=37) | 34,6 ± 0,30 b (n=105) |
| Système d'immersion permanente | 17,94 ± 5,01 c (n=26) | 1,42 ± 0,59 a (n=26) | 50,6 ± 0,80 c (n=36) |
| Système de culture conventionnel | 1,45 ± 0,16 a (n=37) | 2,67 ± 0,14 b (n=37) | 14,4 ± 0,15 a (n=98) |

* Les explants avaient un poids initial individuel d'environ 200 mg.

** Pousses de 5 mm ou plus.

Les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différentes selon le test de comparaison de moyennes multiples de Duncan (p = 0,05).

Kazumitsu Matsumoto travaille à l'Embrapa ressources génétiques et biotechnologie, PO Box 02372, Brasília/DF 70849-970 et **Andrea Kaiser C. Brandão** est étudiant de premier cycle à l'Université catholique de Brasília, Brasília, Brésil.

Adresse pour correspondance : K. Matsumoto, *University of Florida, Tropical Research and Education Center*, 18905 SW 280 St, Homestead FL 33031-3314 USA

Effet de la densité brute du sol sur le développement racinaire et global de plants de six variétés de bananier

G. Blomme, R. Swennen
et A. Tenkouano

Le développement et la distribution des racines ne dépendent pas seulement du génotype (Kasperbauer 1990, McMichael 1990, Klepper 1992, Zobel 1992). Ils sont également affectés par l'environnement (Jung 1978, Kasperbauer 1990). La structure du sol, la disponibilité en nutriments et en eau, la température et le drainage peuvent interagir avec la constitution génétique des plantes (Hamblin 1985, Box 1996, Aguilar *et al.* 2000). Par exemple, il a été montré que l'impédance mécanique réduisait le taux d'élongation racinaire, qui était en relation avec une augmentation de la densité brute du sol ou de la pression du pénétromètre (Voorhees *et al.* 1975, Babalola et Lal 1977, Maurya et Lal 1979, Panayiotopoulos *et al.* 1994).

Le labourage réduit l'impédance mécanique et la densité brute du sol (Russell 1977). Pour les bananiers dessert, Robinson (1996) a trouvé que des sols qui avaient été labourés à plus de 50 cm produisaient plus de racines en meilleur état. L'effet d'une réduction de la densité brute du sol n'a pas été étudié sur une large gamme de génotypes de *Musa* spp. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet du labourage sur les caractéristiques des racines et des rejets de quelques génotypes de *Musa* spp.

Matériel et méthodes

Cette étude a été menée à la station de l'IITA possédant une pluviométrie élevée à Onne (4°42' N, 7°10' E, 5 m d'altitude), dans le sud-est du Nigeria, où le sol est dérivé de sédiments côtiers et est un paléodulte typique/acrisol haplique profond et bien drainé (FAO/ISRIC/ISSS 1998). Il appartient à la famille des sols loameux grossiers, siliceux isohyperthermiques. Les propriétés chimiques et physiques de la couche arable dans les champs expérimentaux ont été évaluées (tableau 1). La pluviométrie annuelle est de 2400 mm, distribuée de manière monomodale de février à novembre (Ortiz *et al.* 1997). Six génotypes appartenant à quatre groupes de *Musa* spp. ont été évalués : le bananier dessert 'Valery' (AAA), les bananiers plantain 'Agbagba' et 'Obino l'ewai' (AAB), le bananier à cuire 'Fougamou' (ABB) et les plantains hybrides tétraploïdes TMP x 548-9 et TMP x 1658-4. Ces hybrides ont été obtenus en croisant 'Obino l'ewai' avec respectivement 'Calcutta 4' (*M. acuminata* ssp.

burmannicoides) et 'Pisang lilin' (*M. acuminata* ssp. *malaccensis*). Le matériel de plantation était constitué de rejets baïonnette (rejets latéraux avec des feuilles lancéolées) qui ont été parés et plantés selon Swennen (1990).

Deux essais ont été réalisés. Dans le premier essai, la préparation du terrain a été faite manuellement en utilisant des houes, afin de ne pas modifier le sol. Dans le second essai, le sol a été hersé et labouré à une profondeur de 30 cm avec un tracteur, une semaine avant la plantation. Les deux champs expérimentaux avaient été laissés en jachère pendant plus de cinq ans avant la plantation. Le premier essai a été planté en juin 1996 et le second en août 1998. Malgré cet intervalle de deux ans entre les dates de plantation, les caractéristiques physiques et chimiques des sols étaient similaires au moment de la plantation (tableau 1), les deux champs étant distants de seulement trois mètres. De plus, les précipitations ont été abondantes pendant les deux essais : 805 mm de juin à août 1996 et 960 mm d'août à octobre 1998.

Pour chaque essai, on a utilisé un dispositif en blocs de Fisher avec deux réplifications de deux plantes par génotype. L'espacement entre les plants était de 2 m x 2 m. Les plants ont été cultivés selon un système monocultural et aucun paillis n'a été appliqué. La zone d'essais a été traitée avec le nématocide Nemaacur (agent actif : fenamiphos) à raison de 15 g/plant (trois traitements par an) afin de réduire l'infestation par les nématodes. De l'engrais a été appliqué sous la forme de chlorure de potassium (60 % K) à raison de 600 g/plante/an et d'urée à raison de 300 g/plant/an, épandu en six applications égales pendant la saison des pluies. Le fongicide Bayfidan (agent actif : triadimenol) a été appliqué trois fois par an à raison de 3,6 ml/plant afin de contrôler la maladie des raies noires causée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet.

Dans les deux essais, les plants ont été excavés 12 semaines après la plantation et les caractéristiques des racines et des tiges ont été évaluées. Les données de croissance aérienne mesurées sur chaque plant incluaient la hauteur du plant et la surface foliaire. La surface foliaire a été calculée selon Obiefuna et Ndubizu (1979). Le poids frais des cormes a également été mesuré. Les caractéristiques des racines comprenaient le nombre de racines adventives ou racines cordiformes ainsi que le poids sec des racines. La longueur des racines cordiformes a été mesurée en utilisant la méthode de l'intersection en ligne (Newman

1966, Tennant 1975). Cette méthode consiste à étaler les racines cordiformes sur une grille avec des mailles de 3 cm x 3 cm et à compter le nombre de points d'interaction. Le nombre de points d'interaction a été multiplié par un facteur de conversion de 2,3571, approprié à la taille des mailles de la grille utilisée.

Résultats et discussion

Un effet significatif du labourage a été observé sur toutes les caractéristiques des racines et des rejets (tableau 2). Les plants du champ labouré ont mieux poussé que ceux du champ non labouré (figures 1 et 2). Le labourage a réduit la densité brute du sol de 26 % (de $1,64 \pm 0,06$ g/cm³ à $1,21 \pm 0,02$ g/cm³) à une profondeur de 5 cm, et de 27 % (de $1,62 \pm 0,07$ g/cm³ à $1,18 \pm 0,12$ g/cm³) à une profondeur de 20 cm.

L'effet positif d'une diminution de la densité brute du sol sur la croissance racinaire avait été démontré en conditions de paillis. Avnimelech (1986) a rapporté qu'il y avait un changement évident dans la structure du sol du fait de l'application de matière organique. Les agrégats du sol changeaient de structure, de compactée dense en friable poreuse, permettant la pénétration des racines, la diffusion de l'eau et des solutés vers et depuis les agrégats, améliorant ainsi les propriétés du sol en tant que milieu de croissance.

Pour *Musa* spp., Swennen (1984) a rapporté une augmentation de la ramification des racines en conditions de paillis. De plus, dans un système de culture itinérante, les plantains sont plantés la première année après le défrichement des terres quand la matière organique du sol est maximale et que la densité brute du sol est basse. De façon similaire, la croissance vigoureuse des plantains et des bananiers dans les systèmes de jardins de case (Nweke *et al.* 1988) pourrait être partiellement attribuée au contenu élevé en matière organique et à la faible densité brute du sol associée.

Pour le cultivar de bananier d'altitude d'Afrique de l'Est 'Mbwazirume' (AAA), McIntyre *et al.* (2000) ont rapporté que les traitements avec paillis étaient plus productifs en terme de biomasse en surface et dans le sol que des traitements en sol nu. La densité brute moins élevée et l'absorption d'eau plus rapide en profondeur dans les traitements de paillis indiquaient que le paillis augmente la porosité du sol et améliore l'infiltration.

Salau *et al.* (1992) ont attribué l'amélioration de la croissance végétative et de la production de régimes chez des plantains paillés entre

autres à l'augmentation de la porosité du sol et de la capacité d'infiltration du sol. L'effet positif d'une augmentation de la porosité du sol sur la croissance et le développement des racines a également été démontré chez les bananiers dessert (Champion et Sioussaram 1970, Sioussaram 1968, Delvaux et Guyot 1989, Robinson 1996) et pour le cultivar de bananier d'altitude Mbwarzirume (McIntyre *et al.* 2000).

Notre étude a montré qu'une réduction de la densité brute du sol par un labourage augmentait la croissance des rejets, ce qui était associé à un développement racinaire accru. Cela souligne l'importance, chez le bananier, de l'adoption de pratiques culturales qui réduisent la densité brute du sol.

Remerciements

Le Vlaamse Vereniging voor Ontwikkelingssamenwerking en Technische Bijstand (Bureau flamand pour la coopération internationale et l'assistance technique) et la Direction générale belge pour la coopération internationale sont remerciés pour leur soutien financier. Les auteurs remercient M. Emeka Onwuvuariri de son aide pour la collecte des données. Cet article est le manuscrit N° IITA/02/JA/09 de l'IITA. ■

Références

Aguilar E. A., D. W. Turner & K. Sivasithamparam. 2000. Proposition d'explication des mécanismes prédisposant les bananiers Cavendish à la fusariose durant l'hypoxie. *INFOMUSA* 9(2):9-13.

Avnimelech Y. 1986. Organic residues in modern agriculture. Pp.1-10 *in* The role of organic matter in modern agriculture. Developments in plant and soil sciences. (Y. Chen and Y. Avnimelech, eds.). Martinus Nijhoff Publishers. The Netherlands.

Babalola O. & R. Lal. 1977. Subsoil gravel horizon and maize root growth: 1. Gravel concentrations and bulk density effects. *Plant and Soil* 46:337-346.

Box, J.E. Jr. 1996. Modern methods of root investigation. Pp. 193-237 *in* Plant roots: The hidden half. 2nd ed. (Y. Waisel, A. Eshel and V. Kafafi, eds.). Marcel Dekker, New York.

Champion J. & D. Sioussaram. 1970. L'enracinement du bananier dans les conditions de la station de Neufchâteau (Guadeloupe). *Fruits* 25:847-859.

Delvaux B. & Ph. Guyot. 1989. Caractérisation de l'enracinement du bananier au champ. Incidences sur les relations sol-plante dans les bananeraies

Tableau 1. Propriétés chimiques et physiques de la couche arable du sol dans les deux champs expérimentaux au moment de la plantation.

| Profondeur (cm) | Labouré | | Non labouré | |
|---------------------------|---------|-------|-------------|-------|
| | 0-15 | 15-30 | 0-15 | 15-30 |
| Sable % | 80 | 76 | 79 | 73 |
| Limon % | 6 | 4 | 7 | 5 |
| Argile % | 14 | 20 | 14 | 22 |
| PH H ₂ O (1:1) | 4,20 | 4,20 | 4,00 | 4,30 |
| C org % | 1,38 | 0,87 | 1,09 | 0,80 |
| N Kjehl % | 0,116 | 0,079 | 0,105 | 0,065 |
| Rapport C/N | 12 | 11 | 10 | 12 |
| Bray-I P (ppm) | 60,40 | 47,70 | 60,10 | 62 |
| Ech Ca (cmol/kg) | 0,90 | 0,40 | 0,20 | 0,20 |
| Ech Mg (cmol/kg) | 0,40 | 0,10 | 0,20 | 0,10 |
| Ech K (cmol/kg) | 0,10 | 0,03 | 0,10 | 0,10 |
| Ech Na (cmol/kg) | 0,10 | 0,10 | 0,40 | 0,50 |
| Ech Mn (cmol/kg) | 0,01 | 0 | 0,02 | 0,01 |
| Ech Acide (cmol/kg) | 3,00 | 3,00 | 2,70 | 3,00 |
| Ech Al (cmol/kg) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,70 |
| CEEC (cmol/kg) | 4,50 | 3,60 | 2,50 | 2,80 |

intensives de la Martinique. *Fruits* 44(12):633-647.

FAO/ISRIC/ISSS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports No. 84, FAO, Rome, Italy, 88pp.

Hamblin A. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop growth, and water uptake. *Advances in Agronomy* 38:95-155.

Jung G.A. 1978. Crop tolerance to suboptimal land conditions. ASA. Madison. Wisconsin.

Kasperbauer M.J. 1990. Shoot/root relationships and bioregulation. Pp. 217-231 *in* Rhizospheric dynamics (Box, J.E. Jr and L.H. Hammond, eds.). Westview Press, Boulder. Colorado.

Klepper B. 1992. Development and growth of crop root system. *Advances in Soil Science* 19:1-25.

Maurya P.R. & R. Lal. 1979. Effect of bulk density and soil moisture on radicle elongation of some tropical crops. Pp. 339-397 *in* Soil physical properties and crop production in the tropics. (Lal, R. and D.J. Greenland, eds.). Wiley, New York.

McIntyre B.D., P.R. Speijer, S.J. Riha & F. Kizito. 2000. Effects of mulching on biomass, nutrients and soil water in banana inoculated with nematodes. *Agronomy Journal* 92:1081-1085.

McMichael B.L. 1990. Root shoot relationship in cotton. Pp. 232-251 *in* Rhizospheric dynamics (Box, J.E. Jr and L.H. Hammond, eds.). Westview Press, Boulder. Colorado.

Newman E.I. 1966. A method for estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology* 3: 139-145.

Nweke F., J.E. Njoku & F. Wilson. 1988. Production and limitations of plantain (*Musa* spp. cv. AAB) production in compound gardens in southeastern Nigeria. *Fruits* 43:161-166.

Obiefuna, J.C. & T.O.C. Ndubizu. 1979. Estimating leaf area of plantain. *Scientia Horticulturae* 11:31-36.

Ortiz R., P.D. Austin & D. Vuylsteke. 1997. IITA high rainfall station: Twenty years of research for sustainable agriculture in the West African Humid Forest. *HortScience* 32(6):969-972.

Panayiotopoulos K.P., C.P. Papadopoulou & A. Hatjiioannidou. 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil Tillage Research* 31:323-337.

Robinson J.C. 1996. Bananas and Plantains. CAB International. Wallingford, Oxon, UK. 238pp.

Russell R.S. 1977. Plant root systems: Their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited. 298pp.

Salau O.A., O.A. Opara-Nadi & R. Swennen. 1992. Effects of mulching on soil properties, growth and yield of plantain on a tropical ultisol in southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 23:73-93.

Sioussaram D. 1968. Observations préliminaires sur l'enracinement des bananiers dans les sols de la station de Neufchâteau, Guadeloupe. *Fruits* 23(9):473-479.

Tableau 2. Carrés moyens et différences significatives pour différentes caractéristiques.

| Source de variation | dl | Caractéristiques des rejets et des racines | | | | | | |
|------------------------|----|--|----------|---------|-------------|----------|----------|-------------|
| | | SF | HP | CP | PF | PS | NR | LR |
| Préparation du terrain | 1 | 2527959649*** | 31682*** | 2067*** | 21817971*** | 14938*** | 26654*** | 11306501*** |
| Génotype | 5 | 24826299 | 384 | 20 | 703096 | 71 | 1235 | 162260 |
| Réplication | 1 | 26267980 | 14 | 0.3 | 88714 | 214 | 348 | 166471 |
| Résiduel | 39 | 56895732 | 362 | 33 | 1142765 | 247 | 576 | 337071 |

SF : surface foliaire, HP : hauteur des plants, CP : circonférence des plants, PF : poids frais des cornes, PS : poids sec des racines, NR : nombre de racines cordiformes, LR : longueur des racines.

*** Significatif à P<0.001.

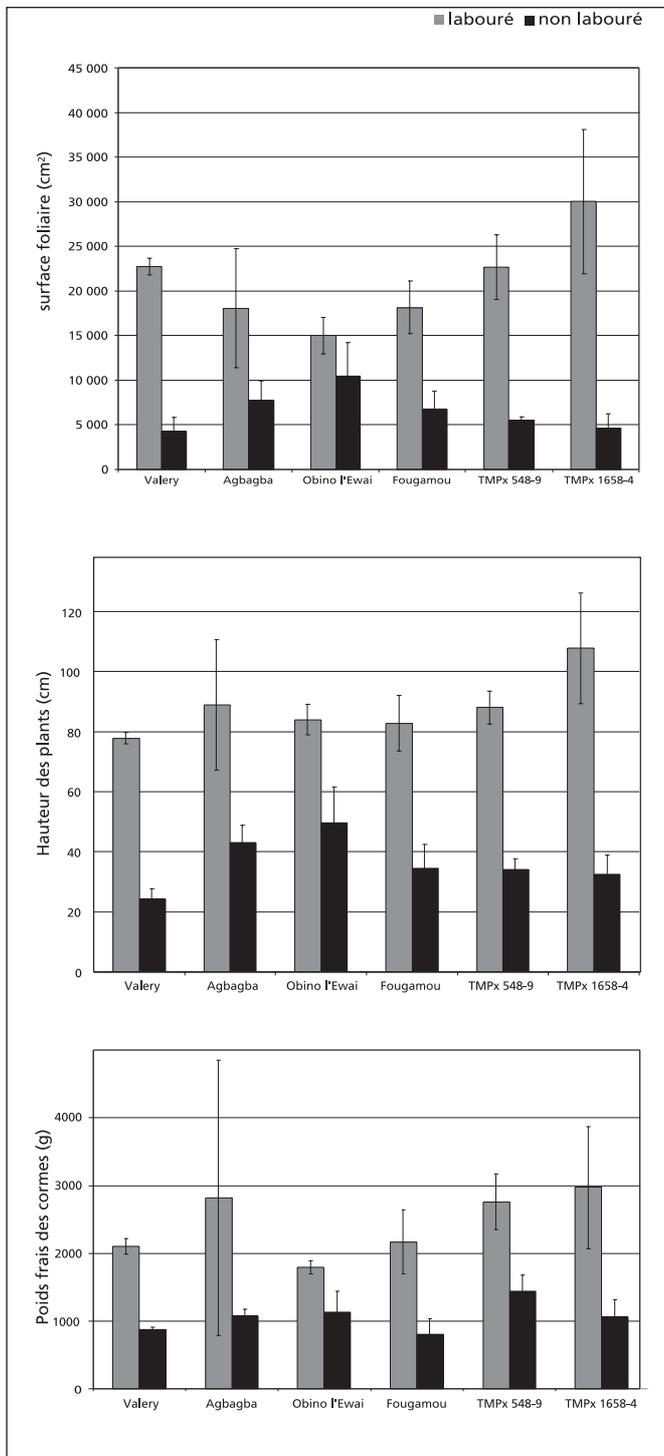


Figure 1. Surface foliaire, hauteur des plants et poids frais des cornes de six variétés de bananiers cultivés sur un sol labouré ou non labouré.

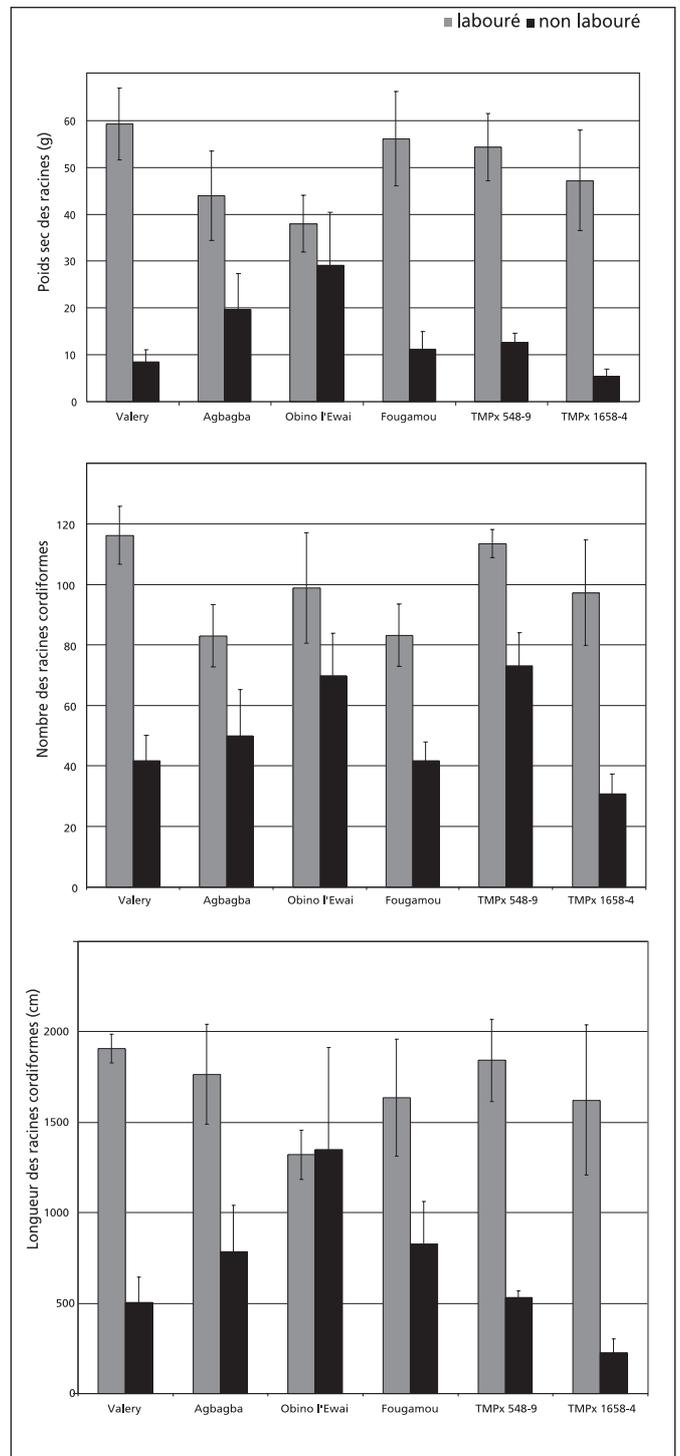


Figure 2. Poids sec des racines, nombre de racines cordiformes et longueur des racines cordiformes de six variétés de bananiers cultivés sur un sol labouré ou non labouré.

Swennen R. 1984. A physiological study of the suckering behavior in plantain (*Musa cv. AAB*). PhD thesis, Dissertations de Agricultura No. 132, Faculty of Agriculture, Katholieke Universiteit Leuven, 180 pp.

Swennen R. 1990. Plantain cultivation under West African conditions. A reference manual. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 24pp.

Tennant D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 63:995-1001.

Voorhees W.B., D.A. Farrell & W.E. Larson. 1975. Soil strength and aeration effects on root elongation. *Soil Science Society of American Journal* 39:948-953.

Zobel R.W. 1992. Soil environment constraints to root growth. Pp. 27-41 in *Limitations to plant root growth*. (Hartfield J.L. and B.A. Stewart, eds.) Springer-Verlag, New York.

Guy Blomme est assistant coordonnateur régional de l'INIBAP pour l'Afrique de l'Est et australe à Kampala, Ouganda ; Abdou Tenkouano travaille à la Division d'amélioration des plantes de l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Onne High Rainfall

Station, L. W. Lambourn & Co. Carolyn House, 26 Dingwall Road, Croydon, CR9 3EE, Angleterre et Rony Swennen au Laboratoire d'amélioration des plantes tropicales, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg 13, 3001 Leuven, Belgique.

Utilisation de différents inocula de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en conditions de serre afin d'évaluer le comportement de deux cultivars de bananier

M. Leiva Mora, M.A. Dita Rodríguez,
Y. Alvarado Capó, M. Acosta Suárez,
L. García et I. Bermúdez

La présence de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet dans les principales zones productrices de Musacées a entraîné une chute des rendements. Le développement de méthodologies de sélection précoce passe par l'expression en conditions contrôlées des symptômes de la maladie ; cela pour garantir de plus importantes éventualités de succès des programmes d'amélioration génétique. L'objectif du travail présenté ici est d'évaluer le comportement de deux cultivars de bananier présentant des niveaux de résistance différents face à *M. fijiensis* et de sélectionner l'inoculum pathogène le plus adapté à la réalisation de sélections en conditions de serre.

Dans cette optique, on a évalué en serre le comportement de vitroplants acclimatés depuis huit semaines, d'une taille moyenne de 20 cm, possédant quatre feuilles actives et provenant de deux cultivars de bananiers: 'Grande naine' et 'FHIA-18', de niveaux différents de résistance à *M. fijiensis*.

On a utilisé l'isolement pathogène CC-ibp-1 de *M. fijiensis* dont la culture a permis de préparer un inoculum de 10^6 ufc/ml, mélangé à de la gélatine à 1%, appliqué au pinceau sur le matériel végétal, sur la face inférieure des trois premières feuilles développées.

On a également utilisé des fragments de feuilles présentant un stade 6 d'infection d'après l'échelle de Fouré (1982), récoltés dans des conditions naturelles, coupés en morceaux de 4x4 cm et placés au pied de chaque vitroplant comme point de départ d'infection.

On a respecté les conditions d'incubation en maintenant une humidité relative de 95-100% pendant les 72 premières heures. A partir du quatrième jour, l'humidité relative diurne est

| Sévérité des symptômes | Symptômes | Niveau de résistance |
|------------------------|--|-------------------------|
| 0 | Prédominance de feuilles saines | Hautement résistant |
| 1 | Prédominance de feuilles présentant de petites lésions punctiformes de couleur rougeâtre | |
| 2 | Prédominance de feuilles présentant des taches aux contours irréguliers ou réguliers de coloration rougeâtre sur la face inférieure des feuilles | Partiellement résistant |
| 3 | Prédominance de feuilles présentant des taches aux contours irréguliers ou réguliers de couleur brun rougeâtre sur la face supérieure des feuilles | |
| 4 | Prédominance de feuilles présentant des taches noires elliptiques ou arrondies, des bordures chlorotiques, un halo aqueux et des secteurs verts | Susceptible |
| 5 | Prédominance de feuilles présentant des taches noires au centre gris, les feuilles pouvant pendre le long du pseudo-tronc | |

restée au-dessus des 50%; la nocturne étant à saturation (100%).

On a évalué le temps d'incubation nécessaire à l'apparition des premiers symptômes ainsi que la sévérité des symptômes pour chaque cultivar et le niveau de résistance correspondant, selon l'échelle proposée par Alvarado *et al.* (2002).

Les résultats obtenus ont démontré la possibilité d'observer en serre les symptômes de la maladie chez les deux cultivars de bananier grâce à l'utilisation de différents inocula de *M. fijiensis*. Ces symptômes, consistant en l'apparition de taches elliptiques ou arrondies, sont semblables à ceux observés dans les conditions naturelles sur les rejets 'orejones'.

La présence de ces symptômes peut s'expliquer par la différenciation inachevée des tissus foliaires des vitroplants dont le développement a été limité et dont la différenciation des nervures foliaires agit d'habitude comme une barrière à la progression des hyphes de *M. fijiensis* (Mourichon *et al.* 2000).

La période d'incubation a été très comparable chez les deux cultivars étudiés et ce, indépendamment de l'inoculum utilisé (tableau 1).

La suspension mycélienne homogénéisée s'est révélée être l'inoculum le plus approprié : sa préparation est simple, elle permet

l'utilisation d'une concentration ajustée et calculée au préalable et en plus elle évite la présence de micro organismes saprophytes ou d'autres agents pathogènes. Cet inoculum peut être employé sur des souches non productrices de conidies et à n'importe quelle époque de l'année, alors que la récolte de fragments de feuilles infectées ne peut se faire qu'en saison sèche ou peu pluvieuse (Jones 1995, Balint-Kurti *et al.* 2001).

Le degré d'affectation du cultivar 'Grande naine' a été supérieur à celui du 'FHIA-18' à partir de la quatrième semaine d'incubation et quel que soit le type d'inoculum. A partir de la sixième semaine, cette différence s'est accentuée à cause d'un arrêt du développement des symptômes chez le cultivar 'FHIA-18' (tableau 1).

Des résultats semblables ont été obtenus par Romero et Sutton (1997) en étudiant la réponse des cultivars 'FHIA-01' et 'FHIA-02' à une suspension de conidies comme inoculum. Ils ont souligné que, bien que le mécanisme de résistance ne soit pas encore connu pour ces génotypes, la présence d'une faible densité stomatique, l'augmentation des dépôts épicuticulaires de cire sur les feuilles ainsi que la production de phytoalexines, subérines ou lignines sont supposées être les mécanismes associés à la résistance partielle observée chez ces hybrides.

Tableau 1. Période d'incubation et sévérité moyenne des symptômes chez deux cultivars de bananiers infectés avec différents inocula de *M. fijiensis*.

| Type d'inoculum | Période d'incubation (jours) | | Sévérité moyenne des symptômes | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|---------|--------------------------------|----|----|----|---------|----|----|----|
| | Grande naine | FHIA-18 | Grande naine | | | | FHIA-18 | | | |
| | | | S4 | S6 | S7 | S8 | S4 | S6 | S7 | S8 |
| Fragments de feuilles infectées | 14 | 15 | 2 | 3 | 5 | 5 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Suspension mycélienne homogénéisée | 14 | 16 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 3 |

S4... = Semaine 4...

D'après les comportements observés face à *M. fijiensis* dans cette étude menée en serre, on a constaté la sensibilité du cultivar 'Grande naine' par rapport à la résistance partielle manifestée par le cultivar 'FHIA-18', ce qui coïncide avec ce que l'on peut observer dans les conditions naturelles.

Ces résultats confirment donc la possibilité d'évaluer la réponse précoce face à l'agent pathogène de la maladie des raies noires de divers cultivars de *Musa* présentant des stades de développement peu différenciés.

Références

Alvarado C.Y., M.M. Leiva, M.A. Rodríguez, M. Acosta, M.M. Cruz, N. Portal, G.R. Kosky, L. García, I. Bermúdez & J. Padrón. 2002. Early evaluation of black

leaf streak resistance on *Musa* spp. breeding programme by the use of mycelial suspension of *Mycosphaerella fijiensis*. Second International workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas, San José, Costa Rica. 20- 23 May 2002.

Balint-Kurti P.J., G.D. May & A. Churchill. 2001. Development of a transformation system for *Mycosphaerella* pathogens of banana. FEMS Microbiology Letters 195:9-15.

Fouré E. 1982. Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Gabon (maladie des raies noires.). I. Incubation et évolution de la maladie. Fruits 37(12):749-759.

Jones D.R. 1995. Rapid assessment of *Musa* for reaction to Sigatoka disease. Fruits 50(1):11-22.

Mourichon X., P. Lepoivre. & J. Carlier. 2000. Host-pathogens interactions. Pp. 67-72 in Chapter 2. Fungal disease of the foliage. Diseases of banana, Abacá, and Enset. (D.R. Jones, ed.) CAB International.

Romero R.A. & T.B. Sutton. 1997. Reaction of four *Musa* genotypes at three temperatures to isolates of *Mycosphaerella fijiensis* from different geographical regions. Plant Disease 81:1139-1142.

Les auteurs travaillent à l'Instituto de Biotecnología de las Plantas, Universidad Central de las Villas, Carretera a Camajuani km 5 1/2, Santa Clara, Villa Clara, CP 54830, Cuba.

Communication courte

Mesure de la surface foliaire

Un nouveau facteur pour estimer la surface foliaire totale chez le bananier

N. Kumar, V. Krishnamoorthy, L. Nalina et K. Soorianathasundharam

La surface foliaire est l'un des paramètres utilisés pour déterminer le potentiel photosynthétique d'une plante. Watson (1947) a appliqué le concept de surface foliaire

pour mesurer le potentiel de production des plantes cultivées. Il a défini un index de surface foliaire comme étant la surface de feuilles vertes par unité de surface de sol.

La surface foliaire peut être mesurée par des méthodes destructives, mais la méthode non destructive de mesure linéaire s'est avérée simple, peu onéreuse et précise (Yeboach *et al.*

1984). Pour le bananier, Murray (1960) a suggéré un facteur 'K' de 0,80 à multiplier par la longueur et la largeur de la feuille. Cette méthode donne la surface de la feuille considérée mais pas la surface foliaire totale de la plante, qui présente plus d'intérêt pour les chercheurs. Une manière d'obtenir cette dernière est d'estimer la surface de chaque feuille

Tableau 1. Surface foliaire totale.

| Numéro de plant | 1 | 2 | Numéro de colonne | | | | | |
|-----------------|------------------------------|--|---|--|---|--|--|----------------|
| | | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | Nombre de feuilles par plant | Surface estimée de la 3 ^{ème} feuille (m ²) | Surface foliaire totale estimée (1x2) (m ²) | Surface foliaire totale réelle (m ²) | Facteurs K ₂ individuels (4/3) | Surface foliaire totale attendue (2x1xK ₂) (m ²) | Différence entre valeur attendue et réelle (6-4) | Différence (%) |
| 1 | 15 | 1,689 | 25,332 | 16,663 | 0,658 | 16,775 | 0,112 | 0,667 |
| 2 | 15 | 1,715 | 25,718 | 16,155 | 0,628 | 17,030 | 0,875 | 5,139 |
| 3 | 18 | 1,593 | 28,674 | 18,581 | 0,648 | 18,988 | 0,407 | 2,144 |
| 4 | 16 | 1,741 | 27,854 | 18,469 | 0,663 | 18,445 | -0,024 | -0,128 |
| 5 | 15 | 1,766 | 26,496 | 16,824 | 0,635 | 17,546 | 0,722 | 4,115 |
| 6 | 16 | 1,705 | 27,286 | 17,031 | 0,624 | 18,069 | 1,039 | 5,747 |
| 7 | 14 | 1,389 | 19,449 | 13,41 | 0,690 | 12,880 | -0,538 | -4,176 |
| 8 | 14 | 1,777 | 24,878 | 16,699 | 0,671 | 16,474 | -0,225 | -1,365 |
| 9 | 15 | 1,669 | 25,041 | 15,897 | 0,635 | 16,582 | 0,685 | 4,131 |
| 10 | 14 | 0,990 | 13,866 | 9,152 | 0,660 | 9,182 | 0,030 | 0,321 |
| 11 | 13 | 0,966 | 12,563 | 8,156 | 0,649 | 8,319 | 0,163 | 1,960 |
| 12 | 12 | 0,841 | 10,090 | 6,584 | 0,653 | 6,681 | 0,097 | 1,455 |
| 13 | 12 | 0,875 | 10,502 | 6,845 | 0,652 | 6,955 | 0,110 | 1,574 |
| 14 | 12 | 1,131 | 13,574 | 8,951 | 0,659 | 8,989 | 0,038 | 0,420 |
| 15 | 14 | 0,287 | 4,017 | 2,825 | 0,703 | 2,660 | -0,166 | -6,226 |
| 16 | 13 | 0,446 | 5,795 | 4,003 | 0,691 | 3,838 | -0,165 | -4,294 |
| 17 | 13 | 0,469 | 6,101 | 4,124 | 0,676 | 4,040 | -0,084 | -2,067 |
| 18 | 13 | 0,579 | 7,532 | 5,213 | 0,692 | 4,988 | -0,225 | -4,515 |
| 19 | 14 | 0,348 | 4,869 | 3,254 | 0,668 | 3,224 | -0,030 | -0,922 |
| 20 | 14 | 0,584 | 8,172 | 5,269 | 0,645 | 5,411 | 0,143 | 2,633 |
| 21 | 15 | 0,422 | 6,330 | 4,256 | 0,672 | 4,192 | -0,065 | -1,541 |
| 22 | 13 | 0,509 | 6,620 | 4,622 | 0,698 | 4,384 | -0,238 | -5,430 |
| 23 | 14 | 0,389 | 5,445 | 3,626 | 0,666 | 3,605 | -0,020 | -0,565 |
| 24 | 13 | 0,421 | 5,476 | 3,626 | 0,662 | 3,626 | 0,000 | 0,004 |
| 25 | 14 | 0,401 | 5,615 | 3,689 | 0,657 | 3,718 | 0,029 | 0,791 |
| Moy. | 14,04 | 0,99 | 14,29 | 9,357 | 0,662 | 9,378 | 0,107 | -0,005 |
| Test t | | | | | | 0,950 | | |
| r | | 0,986* | 0,999** | 0,999 | -0,536 | 0,999** | 0,533 | 0,536 |

* Statistiquement significatif au seuil de 0,05

** Statistiquement significatif au seuil de 0,01.

en utilisant la méthode de Murray et d'additionner toutes les valeurs, mais cette opération est laborieuse et prend du temps. A la place, de nombreux chercheurs mesurent seulement la surface de la troisième feuille en utilisant la méthode de Murray et multiplient le résultat par le nombre total de feuilles, mais ce n'est pas satisfaisant puisque la taille des feuilles varie au cours du développement. L'objectif de cette étude était d'estimer une seconde constante 'K₂' pour obtenir une meilleure estimation de la surface foliaire totale d'une plante.

Matériel et méthodes

Vingt-cinq plants de bananier, comprenant 15 'Robusta' (AAA), 5 'Rasthali' (AAB) et 5 'Karpooravalli' (ABB) ont été prélevés à différents stades de développement : trois mois après la plantation, cinq mois après la plantation et à la production des rejets. Le nombre de feuilles a été compté et la surface foliaire estimée en utilisant la formule $S = L \times La \times K$, où S = surface foliaire estimée, L = longueur de la feuille, La = largeur de la feuille et $K = 0,8$. La surface estimée de la troisième feuille a été multipliée par le nombre de feuilles pour obtenir la surface foliaire totale estimée. La surface

foliaire exacte de chaque plant a été mesurée au moyen d'un appareil de mesure de la surface foliaire LICOR modèle 3001 avec tapis roulant. Une valeur individuelle K₂ pour chaque plant a été obtenue en divisant la surface totale réelle par la surface totale estimée. La moyenne de toutes les valeurs individuelles de K₂ a été calculée pour obtenir la valeur de 0,662 pour la constante K₂. Cette valeur a été utilisée pour calculer la surface foliaire totale attendue, qui a ensuite été comparée à la surface foliaire totale réelle. Un test t a été réalisé et la différence entre la surface foliaire totale réelle et la surface attendue a été observée.

Résultats et discussion

La différence entre la surface totale estimée en utilisant la méthode de la troisième feuille et la surface totale attendue et réelle était importante pour tous les 25 plants (tableau 1). Un test t réalisé sur la surface totale estimée et attendue a montré qu'elles étaient significativement différentes.

Une corrélation positive significative a été obtenue entre la surface foliaire attendue et réelle ($r=0,999$), ce qui suggère qu'une valeur de K₂ de 0,662 soit une bonne façon d'estimer

in situ la surface foliaire totale d'un plant de bananier.

En se basant sur ce résultat, nous proposons de mesurer la surface foliaire totale d'un plant de bananier en comptant le nombre total de feuilles (N), en mesurant la longueur (L) et la largeur (La) de la troisième feuille à partir du sommet et en calculant la surface foliaire totale (SFT) comme suit :

$$SFT=L \times La \times 0,80 \times N \times 0,662. \blacksquare$$

Références

- Murray, D.B. 1960. The effect of deficiencies of the major nutrients on growth and leaf analysis of the banana. *Trop. Agric. (Trinidad)* 37:97-106.
- Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in NAR and LAI between species and varieties. *Ann. Bot.* 11:41-76.
- Yeboach, S.O., J.I. Lindsay & F.A. Gumbs. 1984. Estimating leaf area of cowpea from linear measurements. *Trop. Agric. (Trinidad)* 60:149-150.

Les auteurs travaillent au *Department of Fruit Crops, Horticultural College and Research Institute, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore-641003, Tamil Nadu, Inde*

Caractéristiques après récolte de bananes 'Rasthali' cultivées sous différents films de polyéthylène

K.A. Shanmugasundaram
et R.S. Azhakiya Manavalan

Dans les zones tropicales et subtropicales, on utilise couramment des films sur les régimes pour les protéger des thrips de la rouille (Smith 1947, Simmonds 1969, Sivakumar et Mohanasundaram 1971, Wardlaw 1972). Nous avons testé des films de polyéthylène transparents et non transparents pour comparer leur efficacité pour l'élimination des taches et pour examiner leur effet sur les caractéristiques après récolte de bananes 'Rasthali'.

Matériel et méthodes

Cinq films de polyéthylène de 100 cm x 60 cm ont été testés :

- Polyéthylène haute densité blanc transparent de jauge 50 (HDT blanc)
- Polyéthylène basse densité blanc transparent de jauge 150 (BDT blanc)
- Polyéthylène bleu transparent reconditionné de jauge 150 (RT bleu)
- Polyéthylène bleu non transparent reconditionné de jauge 200 (RNT bleu)
- Polyéthylène noir non transparent reconditionné de jauge 200 (RNT noir)

Les régimes de bananes 'Rasthali' ont été recouverts quand la première main s'ouvrait et une ventilation de 0,4 % a été donnée (Stover et Simmonds 1987). Les régimes témoins n'ont pas été recouverts. Trois des cinq plantes par traitement ont été maintenues séparément pour enregistrer le nombre de jours jusqu'à la maturité. Les régimes recouverts ont été récoltés quand l'angularité des fruits était prête à disparaître. Les mains des régimes ont été séparées afin d'éviter les dégâts pendant le transport. Les mains ont été amenées au laboratoire et gardées à température ambiante pour observation. La deuxième main a été utilisée pour l'analyse de la qualité (Dadzie et Orchard 1997). Les caractéristiques des fruits, la qualité, les dégâts mécaniques et les dégâts dus aux thrips ont été analysés statistiquement en utilisant un plan en blocs randomisés.

Résultats et discussion

Les résultats montrent que les films ont réduit les dégâts dus aux thrips (taches de rouille) en empêchant les thrips d'atteindre les fleurs (tableau 1). Ces résultats sont en accord avec ceux de Bhaktavatsalam *et al.* (1968), Hinz *et al.* (1999) et Jager et Daneel (1997). La formation de grumeaux durs était pratique-

ment absente sur les fruits cultivés sous un film transparent (tableau 1). Ceci est attribué à l'augmentation de la température causée par l'emballage en polyéthylène puisque les températures plus élevées augmentent la conversion d'amidon en sucres (Ganry 1975, Reddy 1989). De façon intéressante, la formation de grumeaux durs était plus élevée chez les régimes cultivés sous films non transparents que chez les témoins parce que la lumière est nécessaire au développement normal des fruits et à leur mûrissement. Stover et Simmonds (1987) ont également rapporté que l'utilisation de sacs pigmentés n'améliore pas la qualité.

A la récolte, la couleur de la peau des fruits emballés était exceptionnellement uniforme : attractive et claire, sans mouchetures ni taches (figure 1). Les fruits cultivés sous des films transparents étaient plus attrayants, d'un vert foncé uniforme, que les fruits couverts avec du polyéthylène non transparent. Ceci est dû à ce que la lumière solaire filtrée permettait à la peau de synthétiser de la chlorophylle (Choudhury *et al.* 1996, Heenan 1973, Stover et Simmonds 1987).

Les fruits couverts avec du polyéthylène noir non transparent reconditionné étaient

d'un blanc brillant quand ils n'étaient pas mûrs, à cause de la filtration presque totale (98,3 %) de la lumière solaire. Dépourvus de chlorophylle, les fruits sont restés blancs brillants. Les fruits mûrs étaient blancs mats et leur peau était plus vulnérable à la manipulation, contrairement aux résultats de Pandey (1994) et Nayak (1999). Bien que les films opaques aient réduit les taches, ils ne peuvent être recommandés parce qu'ils aggravent la formation de grumeaux durs, alors que les films transparents réduisent les deux.

Bien que l'emballage des régimes ait tendu à réduire les dommages mécaniques (Parmar et Chundawat 1984), dans nos tests, les fruits cultivés sous des films reconditionnés noirs opaques ont enregistré les dégâts les plus importants (tableau 1). Cela est probablement dû à la fragilité de la peau blanche résultante.

La vie verte des régimes recouverts a été plus longue d'un ou deux jours que celle des fruits témoins. Ceci est probablement dû au fait que la décision de récolter était basée sur la disparition des angles. Puisque les fruits recouverts n'étaient pas exposés à l'environnement, ils perdaient moins d'eau (Johns et Scott 1989), et comme ils étaient pleins d'eau, ils donnaient l'impression d'être complètement matures. En effet, les fruits recouverts avaient une teneur en eau plus élevée que les fruits non recouverts qui s'endurcissaient bien, mais qui se remplissaient plus tardivement et mûrissaient plus tôt que les fruits couverts. D'autres auteurs ont également rapporté que les fruits recouverts avaient une vie verte plus longue (Johns et Scott 1989, Choudhury *et al.* 1996, Nayak 1999), alors que Parmar et Chundawat (1984) ont rapporté une diminution de la vie verte en utilisant un film en polyéthylène bleu recouvrant des bananes 'Basarai'.

Les fruits recouverts ont perdu plus de poids après la récolte que les témoins (tableau 2), ce qui est probablement une conséquence du passage d'un environnement avec une humidité plus élevée à un



Figure 1. Fruits cultivés sous un film de polyéthylène transparent à haute densité.

environnement à humidité moins élevée. Parmar et Chundawat (1984), au contraire, ont enregistré une perte de poids plus faible chez les fruits recouverts.

En ce qui concerne la qualité, les fruits recouverts, sauf pour ceux sous des films non transparents, avaient plus de solides solubles totaux que les témoins, probablement parce que la température plus élevée sous le film favorisait la conversion d'amidon en sucres. Parmar et Chundawat (1984) ont également rapporté des résultats similaires. La réduction du contenu en solides solubles totaux dans les fruits cultivés sous des films non transparents pourrait être due à la teneur en eau plus élevée de ces fruits et à la présence de bosses dures (absence de conversion de l'amidon en sucres). Le rapport sucre/acide des fruits recouverts était également plus élevé que celui des fruits témoins.

Bien que les films soient efficaces pour prévenir les dégâts causés par les thrips, leur utilisation augmente les coûts de production. Parmi les films en polyéthylène utilisés, le polyéthylène blanc transparent à haute densité était le moins onéreux, suivi par le polyéthylène bleu transparent reconditionné et le polyéthylène transparent blanc à faible densité. Cependant, les régimes recouverts avec du polyéthylène blanc transparent à haute densité étaient sensibles aux dégâts causés par le vent à cause de la faible épaisseur de ce matériau, qui le rend non adapté aux régions ventées.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le CSIR pour l'octroi d'une bourse de recherche utilisée pour financer ce projet de recherche. ■

Références

- Bhaktavathsalam E.M., P. Manickavasakam, S. Sathiamoorthy & T.T. Kaliaperumal. 1968. Studies on the control of fruit blemishes in hill banana Virupakshi. South Indian Hort. 16:7-13.
- Choudhury H., K. Chandra & K. Baruah. 1996. Variation in total chlorophyll content and its partitioning in Dwarf Cavendish bananas as influenced by bunch cover treatments. Crop Res. 11(2):232-238.
- Dadzie B.K. & J.E. Orchard. 1997. Evaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bananiers plantain : critères et méthodes. Guides techniques INIBAP 2. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italie; International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France; ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Wageningen, Pays-Bas.
- Ganry J. 1975. Effect of covering banana bunches with polyethylene sleeve on the fruit temperature in the conditions of Guadeloupe. Fruits 30:735-738.
- Heenan D.P. 1973. Bunch covers for bananas in the Northern District. Papua New Guinea Agric. J. 24 (4):156-161.
- Hinz R.H., L.A. Lichtemberg, A.T. Schmitt & J.L. Malburg. 1999. Effect of bunch covers and chemical sprays on pest damage caused by mites and thrips in 'Nanicao' bananas. Revista Brasileira de Fruticultura 21(3):346-349.
- Jager K. & M.S. Daneel. 1999. Protect banana bunches against pests with bags. Neltropika Bull. 305:32-33.
- Johns G.G. & K.J. Scott. 1989. Delayed harvesting of bananas with sealed covers on bunches. 1. Modified atmosphere and microclimate inside sealed covers. Australian J. Expt. Agric. 29:719-726.
- Nayak M.G. 1999. Development of pre and post harvest handling package for residue free export bananas cv. Robusta. PhD (Hort.) Thesis, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore.
- Pandey R.M. 1994. Fruits emerging major export product. Survey of Indian Agriculture, The Hindu.

Tableau 1. Influence des différents films de polyéthylène sur les caractéristiques après récolte de bananes 'Rasthali'.

| Type de film | Dommages dus aux thrips (%) | Dommages mécaniques (%) | Couleur de la peau à la récolte | Présence de grumeaux durs* | Vie verte (jours) | Solides solubles totaux (° Brix) | Rapport sucre/acide |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|
| HDT blanc | 3,92 ^a | 5,60 ^b | Vert foncé | 1,14 | 5,60 ^b | 26,36 ^e | 56,73 ^a |
| BDT blanc | 4,29 ^a | 6,20 ^b | Vert foncé | 1,46 | 5,80 ^b | 25,04 ^b | 55,58 ^a |
| RT bleu | 5,36 ^a | 2,80 ^a | Vert | 1,68 | 5,60 ^b | 26,24 ^{de} | 58,68 ^{ab} |
| RNT bleu | 4,29 ^a | 1,60 ^a | Vert clair | 3,42 | 5,20 ^b | 25,36 ^c | 66,74 ^{bc} |
| RNT noir | 10,42 ^a | 10,40 ^c | Blanc brillant | 3,66 | 5,40 ^b | 24,36 ^a | 70,08 ^c |
| Témoin | 21,5 ^b | 7,40 ^b | Vert foncé | 3,10 | 4,40 ^a | 26,04 ^d | 54,52 ^a |

Les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

* Index pour la présence de grumeaux durs (absence : 1, faible : 2, moyenne : 3, élevée : 4, très élevée : 5).

Tableau 2. Perte de poids physiologique (%) chez des fruits de bananiers 'Rasthali' cultivés sous différents films de polyéthylène.

| Type de film | Jours après la récolte | | | | | | |
|--------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1 ^{er} | 2 ^{ème} | 3 ^{ème} | 4 ^{ème} | 5 ^{ème} | 6 ^{ème} | 7 ^{ème} |
| HDT blanc | 1,51 ^a | 3,18 ^d | 4,38 ^b | 5,56 ^{bc} | 7,03 ^b | 8,57 ^b | 11,33 ^b |
| BDT blanc | 1,74 ^b | 3,70 ^e | 5,27 ^d | 6,80 ^d | 8,33 ^{de} | 9,88 ^c | 12,26 ^c |
| RT bleu | 1,47 ^a | 2,76 ^b | 3,72 ^a | 4,81 ^a | 6,34 ^a | 7,87 ^a | 10,51 ^a |
| RNT bleu | 1,50 ^a | 3,17 ^d | 4,84 ^c | 6,95 ^d | 8,53 ^e | 10,35 ^d | 12,5 ^b |
| RNT noir | 1,44 ^a | 2,94 ^c | 4,24 ^b | 5,83 ^c | 8,11 ^{cd} | 10,47 ^d | 12,76 ^c |
| Témoin | 1,42 ^a | 2,53 ^a | 3,66 ^a | 5,06 ^{ab} | 7,80 ^c | 9,77 ^c | 12,39 ^c |
| Moyenne | 1,52 | 3,05 | 4,35 | 5,84 | 7,69 | 9,48 | 11,96 |

Les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Parmar B.R. & B.S. Chundawat. 1984. Effect of growth regulators and sleeving on maturity and quality of banana cv. Basrai. South Indian Hort. 32: 201-204.

Reddy S.A. 1989. Effect of bunch covers on bunch maturity and fruit size in high density Robusta orchards. J. Res. (APAU) 17 (1):81-82.

Shanmugavelu K.V., K. Aravindakshan & S. Sathiamoorthy. 1992. Banana taxonomy, breeding

and production technology. Metropolitan book Co. Ltd, London.

Simmonds N.W. 1966. Bananas. Longman, Green and Co., London, United Kingdom. 512pp.

Sivakumar C.V. & M. Mohanasundaram. 1971. The banana rust thrips in Tamil Nadu, India. Madras Agric. J. 58:363-66

Smith W.A. 1947. Banana rust thrips control. Queensland Agric. J. 65:315-318.

Stover R.H. & N.W. Simmonds. 1987. Bananas. Longman, Tropical Agriculture Series, London. 468pp.

Wardlaw C.W. 1972. Banana diseases. Longman, London. 878pp.

Les auteurs travaillent au Horticultural College and Research Institute, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore-641 003, Tamil Nadu, Inde.

Thèses

Analyse de la diversité des champignons du genre *Cylindrocladium* Morgan: application à la caractérisation phénotypique, moléculaire et du pouvoir pathogène d'isolats de la rhizosphère du bananier

Thèse de doctorat présentée en septembre 2002 à l'Ecole nationale supérieure d'agronomie de Montpellier, France

Jean-Michel Risede

Des champignons filamenteux du genre *Cylindrocladium* sont impliqués en bananeraies dans le déterminisme de lésions racinaires qui altèrent l'ancrage des plants et provoquent leur chute. Ils n'ont pourtant jamais fait l'objet d'un diagnostic précis, probablement du fait de la difficulté à discriminer les espèces chez ce genre. Une étude multicritère de diversité a donc été réalisée afin de caractériser les espèces impliquées chez le bananier et de développer une méthode de diagnostic moléculaire qui soit rapide et fiable.

L'analyse phénotypique et biologique a dégagé une structuration des isolats présents en bananeraies en cinq morphotypes. Leur distribution géographique est variable. Les isolats des morphotypes MT1, MT3 à M5 ont des caractéristiques les rapprochant de différents complexes

d'espèces similaires sur le plan morphologique, mais ne permettant pas de les identifier clairement. Ceux du morphotype MT2 paraissent appartenir à l'espèce *C. spathiphylli*.

L'analyse du polymorphisme de l'ADNr espaceur après amplification PCR révèle que la région ITS est très fortement conservée chez le genre *Cylindrocladium* et que la région IGS contient un polymorphisme compatible avec la discrimination des espèces. La caractérisation de l'IGS par CAPS constitue un solide outil de diagnostic moléculaire des espèces de *Cylindrocladium*, rapide et simple à mettre en œuvre, facilement transférable en zones de production. Elle indique que les isolats MT2 et MT5 sont respectivement conspécifiques aux espèces *C. spathiphylli* et *C. gracile*, alors que les isolats MT3 et MT4 s'apparentent respectivement aux espèces *C. scoparium* et *C. floridanum sensu lato*. Les

isolats MT1 apparaissent proches de l'espèce *C. gracile* malgré un phénotype atypique. Les marqueurs RAPD révèlent qu'ils n'ont que 60% de similarité génétique avec *C. gracile*, ce qui, compte-tenu de l'ensemble de leurs caractéristiques, a amené à les ériger en une espèce proche mais différente, dénommée *C. macrogracile*.

L'évaluation du pouvoir pathogène sur bananier de ces cinq taxa fait apparaître que les espèces *C. spathiphylli* et *C. macrogracile* sont respectivement fortement et moyennement agressives sur la variété 'Grande naine' (AAA). Les trois autres espèces sont peu ou pas pathogènes. L'inoculation de six génotypes différents de bananiers révèle des différences marquées de sensibilité, mais pas de vraies interactions différentielles entre isolats et génotypes.

Les marqueurs RAPD indiquent de plus une faible variabilité génétique au sein des espèces *C. spathiphylli* et *C. macro-*

gracile collectées en bananeraies, ce qui suggère une propagation clonale. Chez *C. spathiphylli*, une partition selon l'hôte d'origine sépare les isolats provenant de bananiers d'autres collectés sur héliconias. Elle s'illustre à des degrés divers par

le polymorphisme de l'ADNr espaceur, les marqueurs RAPD et son pouvoir pathogène sur le bananier.

Ces travaux déterminent plusieurs perspectives de recherches en particulier celle d'une définition rapide, à partir de

l'IGS, d'amorces oligonucléotidiques spécifiques à l'espèce qui faciliteraient l'identification de ces champignons et permettraient le développement de tests de détection à partir d'échantillons végétaux ou de sol. ■

Etude des mécanismes génétiques impliqués dans l'expression des séquences EPRVs pathogènes des bananiers au cours de croisements génétiques interspécifiques

Thèse de doctorat présentée en juillet 2002 à l'Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier, France

Fabrice Lheureux

Ces dernières années des hybrides interspécifiques ont développé les symptômes de la maladie de la mosaïque en tirets (*banana streak disease*, BSD) sans possibilité de contamination externe par le virus de la mosaïque e, tirets (*banana streak virus*, BSV). Il a été proposé comme hypothèse expliquant l'apparition de la maladie, que l'activation de séquences virales endogènes - EPRVs BSV, présentes dans le génome bananier soit à l'origine des virions observés. L'objectif de notre étude a été de rechercher un déterminant génétique de l'expression de la maladie au cours de l'hybridation génétique conventionnelle pour deux croisements interspécifiques - PKW (BB) x IDN 110x (AAAA) et P. batu (BB) x P. pipit 4x (AAAA) - sur lesquels la maladie apparaissait régulièrement.

L'étude des deux descendances F1 a montré une ségrégation à caractère mendélien de la

maladie puisque la présence du virus a été notée pour 50% des plants. L'observation de la ségrégation de l'EPRV BSV souche Ol a montré que cette dernière serait présente à l'état homozygote uniquement dans le génome *Musa balbisiana*.

Dix marqueurs AFLP ont été sélectionnés comme marqueurs moléculaires de l'expression de la maladie. Ils sont localisés uniquement chez les parents femelles *M. balbisiana*. L'analyse de leur ségrégation a permis de proposer une carte génétique du locus responsable de l'expression de la maladie : BEL (*banana streak virus expressed locus*). Les résultats de ces analyses génétiques révèlent chez ce parent la présence d'un système allélique monogénique lui conférant le rôle de porteur sain.

L'analyse de la nature des souches virales présentes dans les hybrides malades a montré la présence de la souche BSV-Ol dans 98% des cas et a révélé l'existence de deux nouvelles souches : BSV-Im présent dans 88% des hybrides malades et BSV-GF présent unique-

ment dans la moitié d'entre eux. Les EPRVs correspondantes à ces souches ont été identifiées dans les génomes *M. balbisiana* et population hybrides suggérant le caractère pathogène de ces séquences. L'analyse génétique des marqueurs AFLP a montré que les souches BSV-Ol et BSV-Im sont génétiquement liées et dépendent du facteur génétique BEL. La souche BSV-GF apparaît non lié génétiquement au locus BEL mais reste cependant sous son contrôle. L'existence d'au moins trois EPRVs pathogènes dépendante du locus BEL renfermant le facteur d'activation implique que la nature de ce dernier est différente de séquences virales. Nous avons tenté d'aborder le mécanisme de régulation des EPRVs en explorant le comportement "sain" du parent femelle *M. balbisiana*. Ce dernier présente une résistance tant à l'expression des EPRVs qu'à celle des souches BSV lors d'inoculations extérieures. Des propositions quant à l'origine du mécanisme d'intégration et d'expression du BSV sont discutées. ■

Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de cultures sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun rouille à halloysite)

Thèse de doctorat présentée en juin 2001 à l'Ecole nationale supérieure d'agronomie de Montpellier, France

Bounmanh Khamsouk

Pratiquée en système intensif dans les Antilles françaises, la culture bananière nécessite une abondante utilisation d'engrais et de pesticides.

Localisée près des cours d'eau et près des zones d'habitation, cette monoculture intensive pourrait donc avoir des répercussions sur l'environnement dès l'instant où le milieu insulaire offre des conditions (pluviosité annuelle élevée, reliefs accidentés...) propices à une dégradation des terres culti-

vées (érosion hydrique) et une pollution chimique des eaux à la sortie des plantations bananières (ruissellement et drainage en profondeur). Devant les demandes de mesures en faveur de la conservation des ressources du sol et du respect de l'environnement la mise en place d'une étude sur le

terrain permettrait d'évaluer l'influence de cette monoculture intensive sur le milieu tout en répondant aux objectifs portant sur : 1) la détermination des processus de ruissellement et d'érosion sur un sol volcanique sous climat tropical insulaire et 2) l'estimation des pertes chimiques par érosion et drainage.

Dans ce contexte, nous avons installé d'une part 10 parcelles expérimentales (100 à 200 m²) testant des systèmes de cultures bananières proposés par le CIRAD-FLHOR (rotation avec l'ananas ou la canne à sucre avec techniques culturales plus ou moins intensives) sur des pentes de 10%, 25% et 40% et soumis aux risques de ruissellement et d'érosion, et d'autre part cinq lysimètres que nous avons placés sous des bananiers pour établir le bilan hydrique et évaluer les pertes chimiques par lixiviation. Durant les observations 1999 et 2000, ces 10 parcelles portaient différents traitements : le "sol nu" (Nu1, Nu7, Nu9), la "canne à sucre paillée" (Ca2, Ca8, Ca10), la "bananeraie établie" (Ba3 et Ba4), l'"ananas à plat avec paillis" (An5) et l'"ananas mécanisé et billonné" (An6). Parallèlement, nous avons effectué des tests en laboratoire (stabilité structurale) et sur le terrain (simulations de pluies) pour estimer le comportement du sol et mieux comprendre les processus de ruissellement et d'érosion.

Les résultats observés en 1999 et 2000 sont très voisins, malgré la variation de la pluviosité annuelle et ils ont permis de

distinguer l'effet des traitements. Sur "sol nu", la perte en terre ($E=85$ à 165 t/ha/an) augmente avec la pente ($p=11\%$ à 40%) alors que le ruissellement diminue ($LR=184$ à 87 mm). Ces résultats montrent que le processus d'érosion non sélective change quand la pente croît avec notamment une augmentation de la capacité de transport du ruissellement malgré une forte résistance du sol à l'érosion (indice d'érodibilité $K=0,12$ à $0,02$) et une forte stabilité des agrégats à l'eau ($MWD=1,6$ à $2,7$ mm). Sur les traitements paillés (Ca2, Ca8, Ca10 et An5), le ruissellement et l'érosion sont négligeables, même sur forte pente ($LR<31$ mm et $E<0,2$ t/ha/an). Le taux de couverture (résidus+couvert végétal+cailloux) très élevé sur ces parcelles ($SC=80\%$ à 100% de la surface parcellaire) s'avère très efficace pour l'infiltration et la protection du sol : il n'y a pas eu de ruissellement sous simulations de pluies cycloniques ($I_p=100$ mm/h) durant 180 minutes. En revanche, la parcelle d'ananas (An6) ruisselle fréquemment et perd beaucoup plus de terre en première année qu'en deuxième en raison de la croissance du couvert végétal ($LR=152$ à 361 mm et $E=29$ à 5 t/ha/an). Les simulations de pluies ont montré l'effet du sillon qui concentre les eaux et qui serait à l'origine de la sensibilité de cette parcelle au ruissellement et à l'érosion. Les bananeraies établies (Ba3 et Ba4) ont des résultats

comparables ($K_{ram}=2$ à 4% et $E=0,4$ à $0,6$ t/ha/an). La faible érosion mesurée résulte du paillage régulier des résidus mis en bandes ($SC=40$ à 80% de la surface parcellaire), mode de lutte anti-érosive efficace ayant fait ses preuves dans les bananeraies d'Afrique. Après l'analyse statistique des résultats mensuels issus des 10 parcelles, deux groupes de facteurs explicatifs (indice R, SC, Dapp) et (LR et SC) sont mis en évidence respectivement pour le ruissellement et pour l'érosion. Il s'agit donc d'un écoulement Hortonien entraînant l'érosion des agrégats avec peu de dispersion.

L'estimation des pertes chimiques sur ces parcelles indique que plus les traitements sont sensibles à l'érosion, plus les pertes en nutriments contenus essentiellement dans les sédiments érodés sont importantes. Sous bananeraie, le drainage en profondeur est très actif en saison humide, soit près 32% à 37% de la pluviosité saisonnière. Les drainages calculés et observés par lysimètre semblent comparables : l'évaluation des pertes chimiques par lysimètres coniques semble correcte. D'ailleurs, cette estimation indique que la majorité des éléments nutritifs est perdue par lixiviation en bananeraie établie et les proportions des nutriments perdus sont comparables à celles observées en bananeraie irriguée en Côte d'Ivoire (99% des pertes en Ca ou en N total par drainage). ■

Croissance, développement et qualité des fruits du bananier (*Musa* spp. groupe AAA cv. 'Grande naine'). Modélisation de la répartition des assimilats entre les fruits du régime

Thèse de doctorat présentée en novembre 2000 à l'Institut national agronomique Paris-Grignon, France

Alexandra Jullien

La production de bananes pour l'exportation est soumise à des contraintes de taille et de qualité des fruits. Pour être exportable des Antilles vers la métropole, un fruit doit présenter des caractéristiques minimales en terme de diamètre (30 mm), de longueur (17 cm) et de maturité à la récolte (estimée par la durée de vie verte ou DVV qui doit excéder 20 jours). En conséquence, la forte variabilité de poids et de

qualité des fruits observée au champ entraîne des pertes de rendement importantes pour les planteurs. Cette variabilité pondérale dépend de conditions de croissance mais également de la position des fruits sur le régime: les fruits de la partie distale du régime (mains du bas) sont 30 à 40% plus petits que ceux de la partie basale (mains du haut). L'étude conjointe du déterminisme du poids et de la qualité (maturité) du fruit à la récolte, réalisée dans ce travail, est donc nécessaire pour optimiser le rendement quantitatif et qualitatif des bananiers.

Dans un premier temps, nous avons déterminé les causes de la variabilité pondérale des fruits au sein du régime (inflorescence). Pour cela, une étude histologique du développement a été réalisée afin de déterminer la chronologie des phases de division cellulaire et de remplissage des cellules à l'échelle du fruit et du régime. A l'échelle du fruit, la phase de forte accumulation de matière sèche (remplissage) a lieu après la fin des divisions cellulaires dans le fruit. Au sein du régime, il y a un décalage de développement entre les mains basale (mains du

haut initiées en premier) et les mains distales (mains du bas initiées en dernier). Ce décalage a pour conséquence un nombre de cellules plus important dans les fruits des mains basales. A partir des données histologiques, un schéma conceptuel du développement de l'inflorescence a été proposé.

Dans un deuxième temps, des modifications du rapport source/puits ont été réalisées au moyen d'ombrage des feuilles (diminution des sources) ou par adaptation de techniques culturales couramment utilisées telles que le gainage des régimes (augmentation de l'activité du puits) et l'ablation de mains (diminution de la taille du puits). Il est apparu que le nombre de cellules des

fruits est un facteur déterminant de la variabilité pondérale au sein du régime. En revanche, la vitesse de remplissage des cellules est identique pour tous les fruits du régime et déterminée par le rapport source/puits. Une relation de type Michaelis-Mente permet de relier la vitesse de remplissage moyenne des cellules d'un régime au rapport source/puits moyen pendant la période de remplissage.

Dans un troisième temps, ces connaissances ont été intégrées dans un modèle de répartition des assimilats au sein du régime qui simule le poids des fruits et des régimes à la récolte. Une relation permettant de calculer la DVV des fruits en fonction de leur âge exprimé en

somme de température a été adjointe au modèle, lui conférant ainsi une valeur prédictive de la qualité de la récolte. Le modèle construit présente un double intérêt cognitif et prédictif. Il permet d'abord de comprendre et de simuler le fonctionnement de la plante, selon des connaissances histologiques nouvelles et des règles validées de répartition des assimilats. Il constitue ensuite un outil pertinent de diagnostic du rendement et d'aide à la décision dans le choix de certaines interventions culturales telles que le gainage des régimes et l'ablation des mains ainsi que pour la détermination de dates de récolte optimales. ■

Propriétés physiques des sols volcaniques de Guadeloupe sous culture bananière : effet des pratiques culturales et relations avec l'enracinement

Thèse de doctorat présentée à la Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, *Katholieke Universiteit Leuven*, Leuven, Belgique

Marc Dorel

La majeure partie des bananeraies de Guadeloupe est située sur des sols dérivés de pyroclastes récents s'étagant sur une toposéquence de type Andosol Nitisol. La pratique d'une culture bananière intensive faisant appel à une mécanisation lourde semble à l'origine de dégradations importantes de la structure de ces sols pourtant réputés pour leurs propriétés physiques favorables à la culture. Les conséquences de ces dégradations sur l'enracinement et la croissance du bananier ne sont cependant pas clairement établies. Une évaluation de l'effet des pratiques culturales sur les propriétés physiques des différents sols de la toposéquence est nécessaire pour proposer des systèmes de cultures garantissant le maintien de la fertilité du sol.

Nous avons tout d'abord mis en évidence une relation entre la porosité et la rétention en eau des sols et leur teneur en allophane et en matière organique. L'effet de la mécanisation de la culture sur la morphologie du profil cultural, la porosité et la conductivité hydraulique du sol a ensuite été étudiée sur des parcelles expérimentales. Celle-ci provoque la formation au sein du profil cultural d'états structuraux contrastés: structures compactes à faible macroporosité et à

conductivité hydraulique réduite, structures fragmentaires à forte conductivité.

A partir des résultats d'une enquête entreprise sur un échantillon de parcelles de production, nous avons tenté d'établir une typologie de l'état du profil cultural et de l'enracinement du bananier. La pratique d'une culture pérenne non mécanisée induit la formation de profils culturaux sans discontinuités structurales nettes permettant une extension latérale du système racinaire. La mécanisation des interventions en cours de culture provoque la formation de zones compactes dans les interlignes qui limitent l'extension latérale du système racinaire.

Nous avons également étudié l'effet de la structure du sol sur l'enracinement du bananier en conditions contrôlées. La compacité du sol réduit fortement la biomasse et la densité racinaire ainsi que la longueur des racines primaires. Elle provoque également des modifications de la forme et la taille des cellules du cortex de la racine.

Une expérimentation au champ visant la comparaison de deux profondeurs de travail du sol a permis de montrer l'effet du travail du sol sur la répartition des racines et sur l'exploitation des réserves hydriques du sol. Un modèle de simulation de culture permettant d'évaluer l'effet de l'état physique du sol sur le fonctionnement d'une culture de banane

a été paramétré à partir de l'ensemble des résultats précédents.

Le choix des critères à prendre en compte pour le raisonnement de la préparation de sols a ensuite été discuté. Un schéma de raisonnement de la préparation des sols garantissant un fonctionnement optimal du système racinaire et une conservation à long terme de la fertilité du sol a été proposé en prenant en compte la variabilité des conditions pédoclimatiques dans la bananeraie guadeloupéenne. ■

Virus de la mosaïque en tirets du bananier

Une description du virus de la mosaïque en tirets du bananier (*Banana streak virus*, BSV), préparée par l'Association pour la description en ligne des virus des végétaux par des chercheurs en biologie appliquée est maintenant disponible sur le site web de PROMUSA sous la rubrique du groupe de travail en virologie.

Rédigé par Andrew D.W. Geering et John E. Thomas du *Queensland Department of Primary Industries* (Australie), le texte couvre une gamme très large de sujets tels que la transmission, la sérologie, la purification du virus, les propriétés des particules et du génome, les relations avec les cellules et les tissus, l'écologie et le contrôle. Il offre également une étude approfondie de la littérature sur le BSV jusqu'en 2001 et contient des photographies des symptômes.

D'autres descriptions de virus sont disponibles sur les sites web, *Description of Plant Viruses Online*, <http://www.dpvweb.net/>, et *Plant Viruses Online* <http://image.fs.uidaho.edu/vide/>.

Nouvelle méthode d'élimination du latex au cours du lavage des bananes

Afin d'améliorer le système de lavage des bananes au cours du processus d'emballage, un facteur important à prendre en compte est l'action, sur la qualité du fruit, de la résine contenue dans le fruit vert qui s'écoule au moment de la coupe du régime. Cette résine naturelle, appelée latex, provoque des effets négatifs sur la production et la qualité du fruit pour deux raisons principales:

1. Le latex, non soluble dans l'eau, adhère à la surface des fruits et les tache.
2. C'est un milieu de culture pour les bactéries et les champignons qui provoquent la pourriture de la couronne et d'autres maladies liées à sa mauvaise élimination.

On utilise aujourd'hui une grande quantité d'eau pour éliminer, autant que faire se peut, le latex de la peau et de la couronne du fruit.

Les résultats d'une étude approfondie montrent que l'utilisation, au cours du lavage, d'un dissolvant et d'un coagulant permet d'annuler les effets du latex et le séparer de l'eau. En effet, quand le latex est mélangé à un solvant organique, il se déstabilise et libère les particules de polymère. Un agent coagulant peut alors attirer et neutraliser ces particules en suspension qui se rassemblent alors sous forme de flocons qui tombent au fond de la cuve à flot laminaire. La solution composée de réactifs naturels biodégradables dissout et coagule le latex qui se détache alors de la zone de coupe des mains et se transforme en flocons qui sont éliminés de l'eau. Cette méthode permet d'éliminer le milieu de culture des champignons et des bactéries qui provoquent la pourriture de la cou-

ronne et les taches résultant de l'adhésion du latex sur la peau du fruit.

L'utilisation du coagulant réduit également considérablement le volume d'eau nécessaire au lavage des fruits, rendant possible l'utilisation d'eau potable. L'utilisation d'une eau de meilleure qualité améliore la qualité du fruit, diminue les risques de maladies après-récolte, améliore l'hygiène dans les stations d'emballage et entraîne des économies substantielles au moment du processus d'emballage. Le coagulant peut être appliqué par aspersion ou goutte à goutte à température ambiante directement dans la cuve de dépaquetage. Cinq minutes suffisent pour séparer le latex du fruit. Les mains peuvent alors être placées sur les plateaux de transport où on applique une solution coagulante et cicatrisante sur les surfaces de coupe.

Pour en savoir plus, contacter Ariatne Avila Valdes. Courrier électronique : ariatneavila@hotmail.com

Distribution de la maladie du sang en Indonésie

En Indonésie, la maladie du sang, causée par la bactérie *Pseudomonas celebensis* est la maladie numéro un qui attaque les bananiers. La maladie est apparue d'abord dans les îles Selayar (Sulawesi du Sud) en 1907. Depuis, la bactérie s'est répandue dans presque toutes les régions de production bananière d'Indonésie (figure 1). L'homme semble en grande partie responsable de cette dissémination entre régions. La maladie s'est étendue à Djakarta et la partie occidentale de Java avant d'autres provinces de l'île, probablement à cause du transport des fruits vers la capitale. Des observations similaires ont été faites dans la province de Maluku. Peu de temps après que l'île de Seram (l'île la plus proche de la capitale provinciale) ait été infectée, l'île d'Ambon (où se situe la capitale) a été touchée, mais pas l'île voisine de Buru. A Solok (à l'ouest de Sumatra), la maladie a évité le district d'Alahan Panjang, se répandant du district de Sungai Pagu, une zone infectée d'où les marchands collectent les fruits, jusqu'au district de Gunung Talang (pré-

cédemment exempt de la maladie) où les fruits sont classés et triés avant d'être transportés à Djakarta. Étant donné qu'en Indonésie presque toutes les bananes sont produites dans des jardins familiaux, les règles de quarantaine sont difficiles à faire appliquer. De plus, l'apparence normale des plants et des fruits infectés augmente la probabilité d'introduire la maladie dans les zones non-endémiques.

Pour plus d'information, contacter Catur Hermanto et Tutik au *Research Institute for Fruit*, Jl. Raya Solok - Arian Km 08, Solok 27301, West Sumatera - Indonésie. Courrier électronique : rif@padang.wasantara.net.id

Deux nouvelles espèces de bananier à Bornéo

Deux nouvelles espèces de bananier du Sarawak ont été identifiées par Markku Häkkinen, chercheur de l'Université d'Helsinki, en Finlande, à la suite d'une mission de collecte à Bornéo réalisée il y a quelques mois.

La première espèce a été découverte dans la zone argileuse de Bau, avec l'assistant de terrain Stephen James Jossel du *Sarawak Biodiversity Centre*, alors que la seconde est abondante dans la zone de Lawas. Les deux espèces appartiennent à la section *Callimusa*.

Häkkinen, capitaine de vaisseaux avant de tourner son attention vers les bananiers, a effectué sept expéditions dans la région du sud-est. Il a sillonné Sarawak, Sabah et Kalimantan pour étudier les bananiers sauvages de Bornéo, sur lesquels il a l'intention d'écrire une monographie.

Des études complémentaires sont nécessaires avant de choisir un nom pour les nouvelles espèces et pour découvrir si elles sont résistantes aux maladies qui affectent les bananiers.

Source: *The Borneo Post*, 16 novembre 2002.

Hybrides améliorés homologués pour usage commercial au Sri Lanka et au Bangladesh

Suite à la Phase II du Programme international d'évaluation des *Musa* (IMTP II), le Département d'agriculture du Sri Lanka a identifié deux variétés de bananiers prometteuses

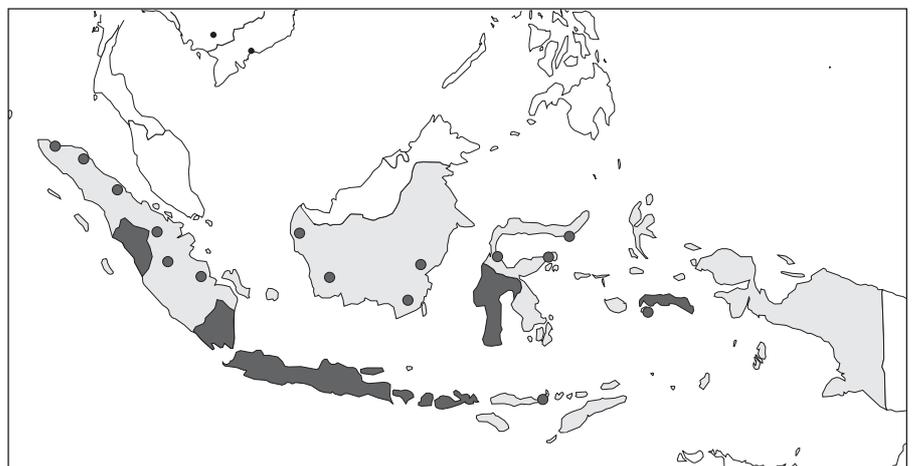


Figure 1. Distribution de la maladie du sang en Indonésie.

dans la collection de matériel génétique qui a été transférée au gouvernement du Sri Lanka en 1999.

Grâce aux efforts du Dr Sujatha Weerasinghe du *Horticultural Research and Development Institute*, les variétés SH-3640 et FHIA-03 ont été recommandées au Comité d'homologation des variétés après une série d'évaluations en champ dans plusieurs sites. Ces accessions ont reçu les noms locaux respectifs de 'Kandula' et 'Pulathesi'.

FHIA-03 a également été homologuée pour la culture au Bangladesh après une série d'évaluations au champ. FHIA-03 s'est avérée tolérante à la fusariose et présente un potentiel de production plus élevé que les cultivars locaux de bananiers plantain.

Micropropagation des variétés 'Nendran' et 'Poovan' par culture d'apex de la hampe florale

'Nendran' et 'Poovan' sont des cultivars AAB qui produisent un faible nombre de rejets, ce qui limite la disponibilité en rejets provenant de clones élite et rend nécessaire le recours aux techniques de micropropagation *in vitro*. La culture d'apex donnant de mauvais résultats, les chercheurs du *St. Thomas College* de Pala, en Inde, ont mis au point un milieu MS modifié pour la culture d'apex de la hampe florale de ces variétés. Dans les deux cas, l'élongation des pousses a été effectuée avec un milieu contenant 3 mg/l d'AIB et 1,5 mg/l de BAP et leur enracinement avec un milieu contenant 3 mg/l d'AIB et 0,5 mg/l de BAP. Les pousses produites étaient morphologiquement identiques à celles provenant d'apex végétatifs.

Des informations complémentaires sont disponibles auprès de L. Sebastian et M.M. Mathew du Département de Botanique, St. Thomas College, Pala, Arunapuram P.O. – 686574, Kerala, Inde.

Diversité des bananiers au Moyen-Orient

La région du Moyen-Orient est à la marge de la zone de culture du bananier dans l'Ancien Monde. Cependant, quelques cultivars de bananiers ont apparemment été cultivés pendant de nombreux siècles dans cette région, ce qui soulève des questions sur l'étendue de la diversité génétique présente dans la région et sur la façon dont les bananiers sont cultivés dans un tel environnement. Afin de répondre à ces questions, l'INIBAP, avec le soutien financier de la FAO, a organisé un relevé des bananiers en Egypte, à Oman et en Jordanie, qui s'est déroulée en 2002.

L'étude a confirmé l'existence de deux types de producteurs de bananiers dans la région : ceux qui peuvent réaliser les investissements nécessaires pour assurer une productivité élevée et les petits paysans qui n'ont pas les mêmes moyens et ne peuvent pas compter sur les bananiers pour un revenu régulier. Les contraintes majeures de la production de bananes varient

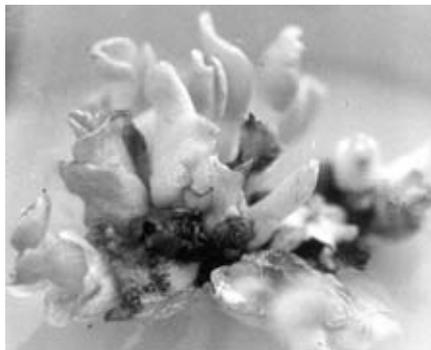


Figure 2. Pousses cultivées dans un milieu MS contenant 3 mg/l d'AIB et 0,5 mg/l de BAP après 45 jours de culture.

selon les pays : le manque d'eau en Jordanie, la salinité élevée de l'eau à Oman et les coûts en main-d'œuvre élevés en Egypte où la maladie du bunchy top du bananier nécessite plus de gestion des cultures.

Ce rapport offre une vue d'ensemble de la production bananière dans chaque pays visité et porte une attention particulière à la diversité génétique trouvée dans chacun d'entre eux. Un nombre de recommandations sont faites pour chaque pays concernant la conservation de la diversité locale. Il a été noté que la collection de matériel génétique de la Station de recherche agricole de Salalah, à Oman, contient des accessions de bananiers qui sont représentatives des variétés de bananiers cultivées dans la région de l'Océan Indien. Il s'agit de la seule collection de ce type et, afin d'assurer la conservation à long terme de ce matériel, il est recommandé que des efforts soient faits pour que l'INIBAP en possède des duplicata.

Le rapport fournit également des informations sur l'histoire des bananiers au Moyen-Orient et inclut une clé d'identification très utile pour les cultivars ABB.

Ce rapport (en anglais uniquement) est disponible sur demande au siège de l'INIBAP. Vous pouvez également le télécharger à partir de : <http://linibap.org/publications/Middle-east.pdf>

Collecte de *Musa* en Tanzanie

En juillet 2001, une expédition a été organisée pour explorer la diversité des *Musa* dans les hauts plateaux de Tanzanie. L'équipe était constituée de E. De Langhe, D. Karamura et A. Mbwana. L'équipe a limité sa prospection aux flancs du Kilimandjaro, et aux collines d'Usambara et de South Pare. Cette zone occupe une position centrale pour la production de bananes en Afrique de l'Est, les autres zones d'altitude où les bananiers sont cultivés, par exemple les collines de Taita et la région de Gikuyu au Kenya, la région des Grands Lacs, ainsi que Mbeya et Morogoro en Tanzanie, étant localisés en périphérie de cette zone. La probabilité de trouver du matériel génétique nouveau était jugée plus élevée dans cette zone.

Deux facteurs motivaient cette mission :

- l'absence de connaissances sur les cultivars de bananes des hautes terres d'Afrique de

l'Est autres que ceux de la région des Grands Lacs ;

- le risque grandissant que du matériel non connu, mais potentiellement important pour l'amélioration génétique soit perdu du fait des changements dans les pratiques culturales.

L'expédition s'est avérée extrêmement productive, avec la collecte de 21 cultivars intéressants. Il est probable que deux d'entre eux existent déjà dans des collections de matériel génétique. Parmi ces 21 accessions, 10 sont très probablement des diploïdes nouvellement acquis qui pourraient potentiellement avoir un grand intérêt pour l'amélioration génétique des bananiers d'altitude d'Afrique de l'Est. De plus, un nouveau groupe de bananiers triploïdes AAA a été identifié et nommé Ilalyi par l'équipe de collecte. Aucun diploïde sauvage produisant des semences n'a été trouvé et les chances que de tels diploïdes existent sont aujourd'hui considérées comme faibles. Toutes les accessions collectées ont été plantées dans une collection en champ sur la station de recherche horticole de Tengeru, à Arusha en Tanzanie, où elles seront caractérisées.

Ce rapport fournit les détails concernant toutes les accessions collectées au cours de la mission. Il fournit en plus des clarifications sur la nomenclature/synonymie des cultivars dans cette zone et une image d'ensemble est proposée sur la façon dont les bananiers des hautes terres ont pu être générés.

Ce rapport (en anglais uniquement) est disponible sur demande au siège de l'INIBAP. Vous pouvez également le télécharger à partir de : <http://linibap.org/publications/Tanzania.pdf>

Nouvelles de l'INIBAP

Troisième Symposium international sur la biologie moléculaire et cellulaire du bananier

Le troisième symposium international sur la biologie moléculaire et cellulaire du bananier s'est tenu du 9 au 11 septembre à l'Université catholique de Leuven (KULeuven), en Belgique. Cent vingt sept délégués de 33 pays ont participé à ce symposium. Un total de 76 présentations ont été faites pendant la conférence, 43 sous forme de présentations orales et 33 sous forme de posters. Les thèmes couverts incluaient la génomique, l'expression des gènes et la transformation génétique, la pathologie moléculaire et la résistance aux ravageurs et maladies, la caractérisation et la conservation de la biodiversité, ainsi que la biochimie et la physiologie.

Le conférencier invité, le Dr Takuji Sasaki du *National Institute of Agrobiological Sciences*, et leader du programme de recherche sur le génome du riz, a fait une présentation sur le séquençage du génome du riz, et un atelier sur la propriété intellectuelle et les organismes génétiquement modifiés a été animé par

Victoria Henson-Apollonio, responsable du Service central de conseil (CAS) du GCRAI sur la propriété intellectuelle.

Les résumés de la quasi-totalité des présentations faites durant le symposium sont disponibles sur le site web de PROMUSA. Un nombre limité de copies est disponible auprès de l'INIBAP pour les personnes qui ont des difficultés à accéder à la toile. Les compte-rendus des réunions de PROMUSA qui se sont tenues pendant le symposium sont publiées dans PROMUSA.

Réunion générale annuelle du GCRAI aux Philippines

Cette année, le GCRAI a tenu son assemblée générale annuelle aux Philippines au lieu du siège de la Banque mondiale à Washington DC. Des représentants des centres du GCRAI et des membres donateurs ont participé à la réunion, qui a commencé le 28 octobre et s'est terminée le 1^{er} novembre. Diverses réunions d'affaires et entre partenaires, une remise de prix scientifiques et la conférence Crawford sur un sujet agricole de portée globale ont également eu lieu.

Le bureau régional Asie-Pacifique de l'INIBAP et l'IPGRI-APO présentaient un stand au Jardin botanique de Makiling à Los Baños. Environ 350 personnes ont visité le stand qui présentait l'IPGRI, COGENT, l'INIBAP et leurs collaborateurs aux Philippines.

Pendant la conférence de presse conjointe du Secrétaire du Département d'agriculture des Philippines, l'Hon. Sec. Leonardo Montemayor, et du Président du GCRAI, le Dr Ian Johnson, le Dr Geoffrey Hawtin, Directeur général de l'IPGRI, a remis officiellement des échantillons de variétés améliorées du programme IMTP au Sec. Montemayor. La cérémonie a été suivie par la signature d'un accord de transfert de matériel.

Les variétés de bananiers fournies au gouvernement philippin représentent un pas important dans le combat incessant contre les maladies et ravageurs qui ravagent l'industrie bananière de ce pays. Elles font partie du Programme national de conservation, multiplication et dissémination de BAPNET visant à promouvoir et rendre accessible les variétés améliorées.

Formation à la culture de tissus et à l'indexation pour les virus à Taiwan

Le *Food and Fertilizer Technology Center*, le *Taiwan Banana Research Institute* et l'Université nationale de Taiwan, en collaboration avec le bureau régional Asie-Pacifique de l'INIBAP, ont financé un programme de formation à la culture de tissus, la maintenance du matériel génétique de départ et l'indexation pour les virus, qui s'est déroulé à Taipei du 9 au 20 décembre.

Cette formation représentait une opportunité d'améliorer la capacité à multiplier et produire des plants exempts de virus pour le personnel

impliqué dans la maintenance, la multiplication et la distribution de variétés améliorées de *Musa* dans les pays membres de BAPNET qui participent au programme national de conservation et de distribution.

INIBAP et Lapanday : une collaboration pour améliorer l'industrie bananière aux Philippines

Le bureau régional Asie-Pacifique de l'INIBAP a trouvé un partenaire en la *Lapanday Agricultural and Development Corporation* (LADECO ou simplement Lapanday), une compagnie privée spécialisée dans l'exportation de nourriture basée à Davao, aux Philippines.

Le partenariat a commencé quand le coordinateur régional de l'INIBAP pour l'Asie et le Pacifique, Agustin Molina, cherchait des partenaires du secteur privé pour faire de la recherche sur le bananier pour la Phase III du Programme international d'évaluation des *Musa* (IMTP III). Lapanday possède un laboratoire de culture de tissus performant et réalise la culture de tissus de variétés améliorées pour le programme national. De plus, Lapanday a offert une formation aux nouveaux partenaires dans le domaine de la culture de tissus, la maintenance et le fonctionnement des pépinières et des plantations. Lapanday a également participé à des études sur les maladies foliaires réalisées par le centre NARS philippin.

Conférence globale sur le bananier et le bananier plantain en Inde

L'Association pour l'amélioration de la production et de l'utilisation du bananier (AIPUB) a organisé, en collaboration avec l'INIBAP et la FAO, une conférence globale sur les bananes et bananes plantain qui s'est tenue à Bangalore du 28 au 31 octobre.

Environ 500 délégués, incluant des experts en recherche et développement, des agriculteurs et des représentants de l'industrie de 17 pays, ont participé à la conférence. Le thème de la conférence était la production de bananes pour la nutrition et la sécurité du revenu. Les discussions ont porté sur la gestion des ressources génétiques et l'amélioration des cultures, les avancées biotechnologiques, les stratégies dans le domaine des technologies de production, la production organique de bana-

niers, la gestion intégrée des maladies et ravageurs, la gestion après-récolte, la diversification et la valeur ajoutée des produits, les aspects liés aux politiques de soutien et aux programmes, le commerce national et international et la coopération internationale. Deux coordinateurs régionaux de l'INIBAP ont présenté des exposés : Agustin B. Molina a parlé des besoins en recherche-développement dans la région Asie-Pacifique et de l'importance en Asie du Programme international d'évaluation des *Musa* (IMTP), alors que Franklin Rosales a fait une présentation sur les bananiers et les les bananiers plantain dans les pays d'Amérique latine et des Caraïbes. Dirk De Waele, de KULeuven, a présenté un exposé sur les problèmes causés par les nématodes chez les bananiers et les approches pour améliorer la résistance des plantes.

Des ateliers sur l'application des biotechnologies chez le bananier, la production de bananes organiques et les produits à valeur ajoutée se sont tenus parallèlement aux conférences. Un kiosque présentait les avancées technologiques réalisées par la dynamique industrie bananière en Inde et dans le monde.

Les prix Kadali

Au cours de la conférence, le prix *Kadali* a été attribué à Emile Frison, Directeur de l'INIBAP à Montpellier, France, et à Subbaraya Uma, chercheur principal au *National Research Centre for Banana* de Tiruchirapalli, Inde. Ce prix est attribué tous les deux ans par l'AIPUB en reconnaissance d'une contribution exceptionnelle dans le domaine de la promotion de la recherche, de la mise en valeur et de l'utilisation du bananier.

Emile Frison a démontré ses qualités de leader et a su insuffler un dynamisme à la recherche sur le bananier, améliorant ainsi les conditions de vie de millions de personnes dans la région Asie-Pacifique. Il a joué un rôle clé dans l'établissement de réseaux de recherche et dans le lancement du programme global d'amélioration des *Musa* (PROMUSA) et du Consortium international sur la génomique du bananier.



Stand de l'IPGRI à Los Baños, Philippines, le 28 octobre 2002. De gauche à droite : C. Hoogendoorn (IPGRI), A. Maghuyop (INIBAP Asie-Pacifique), E. Frison (INIBAP), G. Hawtin (IPGRI) et P. Sajise (IPGRI-APO).



Le Dr Chadha, Président de l'AIPUB, en compagnie de V. Roa (INIBAP Asie-Pacifique) et de producteurs de bananes au stand de l'INIBAP lors de la Conférence globale sur les bananes et bananes plantain qui s'est tenue à Bangalore.

Subbaraya Uma a participé à l'établissement de la plus grande collection de variétés sauvages, exotiques et cultivées en Asie. Elle a identifié quatre nouvelles espèces, incluant le premier bananier tétraploïde d'origine indienne (Bhat Manohar) et une gamme de génomes sauvages de *balbisiana* (BB) qu'on ne trouve que dans le sous-continent indien. Elle a également contribué de manière significative à la taxonomie des bananiers indiens.

H.P. Singh, premier directeur du *National Research Centre for Banana* (NRCB) et aujourd'hui Commissaire pour l'agriculture dans le gouvernement indien, et S. Sathiamoorthy, Directeur du NRCB, ont été nommés associés honoraires de l'AIPUB en reconnaissance de leur contribution au cours de leur carrière à la recherche et au développement du bananier.

Première réunion du comité de pilotage du réseau bananier pour l'Asie et le Pacifique (BAPNET)

La première réunion du Comité de pilotage du réseau bananier pour l'Asie et le Pacifique (BAPNET), auparavant connu sous le nom d'ASPNET, s'est tenue du 7 au 10 octobre à Los Baños, aux Philippines. Les hôtes de la conférence étaient Patricio S. Faylon, Directeur exécutif du *Philippine Council for Agriculture, Forestry and*

Natural Resources Research and Development (PCARRD), et Eliseo Ponce, Directeur du *Bureau of Agricultural Research/Department of Agriculture* (DA-BAR). Quinze représentants des pays et institutions membres ainsi que deux nouveaux membres, le Cambodge et la Papouasie-Nouvelle-Guinée, ont participé à la réunion. Parmi les personnes ressources, se trouvaient Suzanne Sharrock, scientifique responsable de la conservation du matériel génétique à l'INIBAP et Luigi Guarino, un expert du logiciel DIVA. Jaine Reyes a joué le rôle d'animateur pendant les sessions en atelier.

Les représentants des pays ont présenté un état des lieux de l'industrie bananière et des activités de recherche et développement. Un exposé sur l'utilisation du système d'information géographique DIVA a également été présenté. Ces présentations ont été suivies d'un atelier, dont les objectifs étaient d'identifier des thèmes de collaborations en fonction des forces, contraintes et opportunités offertes par les systèmes de recherche agricole nationaux, et d'établir les priorités de la région Asie-Pacifique pour les 3 à 5 prochaines années. Les priorités identifiées ont été : 1) la gestion durable des cultures, 2) la gestion et l'échange d'informations, 3) la gestion, le développement et l'utilisation de la diversité génétique, 4) le

développement des ressources humaines, 5) le système de gestion des filières et 6) la vulgarisation.

Les membres ont de nouveau fait part de leur intérêt à participer aux différents programmes/activités de l'INIBAP tels que l'IMTP, le MGIS, ainsi que le développement et l'échange d'informations. Les participants ont souligné l'importance des programmes de l'INIBAP qui soutiennent les priorités de BAPNET. Par exemple, le programme national de conservation, multiplication et dissémination, dans lequel des variétés améliorées sont transférées aux Systèmes nationaux de recherche agricole (SNRA) pour faciliter l'accès des chercheurs et des paysans à ces variétés, correspond au désir des pays membres de BAPNET d'utiliser les nouvelles variétés qui sont productives et résistantes aux principales maladies présentes dans la région.

Avec le bureau régional Asie-Pacifique de l'INIBAP, qui est le secrétariat du réseau, BAPNET va mettre en place des activités pour concrétiser les priorités identifiées pendant la réunion. En tant que réseau regroupant les SNRA, BAPNET travaillera de manière plus efficace à répondre aux besoins régionaux, à stimuler les collaborations régionales et mettra à profit ses liens avec les programmes de l'INIBAP.

Les prix 2002

Au cours de la réunion, des prix ont été remis à des individus et des institutions qui ont apporté une contribution significative à la technologie de production de la banane et à la promotion des programmes en recherche et développement sur le bananier.

Le prix *Pisang Raja* a été remis à Suzanne Sharrock, scientifique responsable de la conservation du matériel génétique à l'INIBAP. Sa contribution remonte à 1988, quand elle a dirigé quatre missions de collecte en Papouasie-Nouvelle-Guinée, au cours desquelles plus de 200 accessions ont été collectées. Sa générosité à partager son expertise en matière de conservation et de taxonomie des *Musa* a été soulignée, ainsi que ses efforts pour sensibiliser les gens à l'importance de conserver la diversité génétique de *Musa*.

Le prix institutionnel a été offert à la *Lapanday Agricultural and Development Corporation* (LADECO), au *Department of Agriculture-Bureau of Agricultural Research* (DA-BAR), Philippines, et au *Philippine Council of Agriculture, Forestry and Natural Resources Research and Development* (PCARRD), en reconnaissance de leur soutien aux activités régionales en recherche et développement sur le bananier.

Enfin, une plaque a été présentée à Ramon V. Valmayor pour sa contribution exceptionnelle à la recherche sur le bananier et son dévouement pour la région Asie-Pacifique. En 1991, il est devenu le premier coordinateur régional de l'INIBAP pour la région Asie-Pacifique, poste



S. Uma (NRCB) a reçu le prix Kadali.



Participants à la réunion du Comité de pilotage de BAPNET.



Suzanne Sharrock recevant son prix Pisang Raja.

qu'il a occupé pendant sept ans. Ses recherches sur la taxonomie et la classification des *Musa* ont conduit à la publication d'un livret sur les noms et synonymes des cultivars de l'Asie du Sud-est et d'un livre "The wild and cultivated bananas of the Philippines". Ses missions de collecte au Vietnam, en Chine du sud et dans le Nord-Est de l'Inde ont mené à la découverte de nombreux cultivars et espèces de bananiers qui n'avaient pas été décrits auparavant.

Troisième réunion de MUSALAC

La 3^{ème} réunion du Réseau de recherche et de développement sur les bananiers et les bananiers plantain pour l'Amérique latine et les Caraïbes (MUSALAC) s'est tenue à Santo Domingo en République Dominicaine du 7 au 10 août. Le CEDAF (*Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc.*) et IDIAF (*Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales*) ont participé à l'organisation de la réunion.

Trente chercheurs de 13 pays (Bolivie, Brésil, Colombie, Costa Rica, Cuba, République Dominicaine, Equateur, Honduras, Mexique, Panama, Pérou, Porto Rico et Venezuela) ont participé à cette réunion. Jusqu'à maintenant, le Nicaragua avait assisté aux réunions de MUSALAC en tant qu'invité spécial mais cette année, la représentante du Nicaragua, Maritza Vargas, a déposé une demande officielle au conseil d'administration de MUSALAC, à la suite de quoi le Nicaragua est devenu le plus récent membre de MUSALAC, la requête ayant été acceptée à l'unanimité.

Altagracia Rivera de Castillo, la présidente de MUSALAC, Rafael Ortiz, le vice-ministre de l'agriculture dans le gouvernement dominicain, et Franklin Rosales, le coordinateur régional de l'INIBAP pour l'Amérique latine et les Caraïbes ont ouvert la réunion. Le thème de la réunion de cette année portait sur l'importance socio-économique du plantain en Amérique latine et les Caraïbes. Chaque représentant national a fait le bilan de la situation pour son pays. Fernando Sáenz du CIMPE, au Costa Rica, a donné une conférence sur "l'importance socio-économique du plantain en Amérique latine et les Caraïbes : les besoins régionaux en information", suivie d'une présentation par Lucía Durán, de l'université de Tolima en Colombie, et d'une autre par Luis Pocasangre du bureau régional de l'INIBAP pour l'Amérique latine et les Caraïbes.

Le dernier jour, les représentants des pays membres de MUSALAC se sont réunis pour élire un nouveau président et deux vice-présidents. Le président élu est Jorge Sandoval de CORBANA au Costa Rica, et les deux vice-présidents sont Tito Díaz de CORPOICA en Colombie et David Berroa de l'IDIAP au Panama. Pendant la réunion, Guillermo Ortega Rosini, sous-secrétaire dans le gouvernement équatorien et membre fondateur de MUSALAC, a été nommé 'Associé honoraire à vie'. Il quittera bientôt son poste au gouvernement et sa position en tant que représentant de l'Equateur. Le conseil d'administration de MUSALAC a décidé que dorénavant les cours de formation sur la banane et la banane plantain auront lieu immédiatement après l'assemblée annuelle afin de profi-

ter de la présence des membres de MUSALAC qui sont également instructeurs.

L'année prochaine, la réunion aura lieu en août en Equateur. FUNDAGRO et le ministère de l'agriculture en seront les hôtes.

Cours de formation sur les technologies propres

Un cours portant sur la production de plantain au moyen de technologies propres a eu lieu à Santo Domingo en République Dominicaine du 11 au 14 août, sous les auspices de MUSALAC et INIBAP. Le but de ce cours était de faire la démonstration de technologies propres pour la culture du bananier plantain qui accroissent la rentabilité et sont durables tant sur le plan économique que sur celui de l'environnement. Plus de 80 personnes en provenance de 12 pays d'Amérique latine et des Caraïbes ont participé à cet événement.

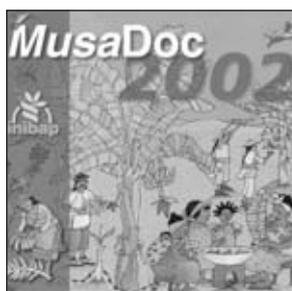
L'INIBAP, en collaboration avec le CATIE, a financé un atelier de travail portant sur l'induction de résistance et l'utilisation de technologies propres dans la lutte contre les phytoparasites. L'atelier s'est tenu dans les bureaux du CATIE à Turrialba au Costa Rica, du 27 au 30 août. Les principaux sujets abordés ont été : les molécules d'induction de résistance aux ravageurs et les types et méthodes d'induction, les types de résistance, les mécanismes biochimiques et moléculaires impliqués dans la résistance, et les stratégies de rechange pour lutter contre les ravageurs d'intérêt en agroforesterie. Parmi les conférenciers invités ayant participé à l'atelier on note, Joseph Kuc de l'université du Kentucky aux Etats-Unis et Richard Sikora de l'université de Bonn en Allemagne.

En marque de reconnaissance

Le 15 novembre, le CATIE a rendu hommage aux employés ayant cumulé de nombreuses années de service. Franklin E. Rosales, le coordinateur de MUSALAC et Lissette Vega, son assistante administrative, ont reçu des certificats en reconnaissance de leur 5 et 20 années de travail respectivement. Le bureau régional de l'INIBAP pour l'Amérique latine et les Caraïbes tient à remercier le CATIE d'héberger le bureau régional depuis sa création en 1987.



Certificats donnés par le CATIE à F.E. Rosales, Coordonnateur de MUSALAC et Lissette Vega, son assistante administrative.



MusaDoc CD-Rom

La quatrième édition de *MusaDoc* CD-Rom, *MusaDoc 2002* est maintenant disponible. Les versions actualisées des bases de données de l'INIBAP, *MUSALIT*, qui contient plus de 6700 références sur les *Musa* accompagnées de résumés et BRIS, la base de données sur les chercheurs travaillant sur le bananier (près de 900 noms) sont interrogeables à partir du CD-Rom. Sont également disponibles dans *MusaDoc 2002* toutes les publications récentes, telles que les nouvelles fiches techniques sur la diversité et la taxonomie des bananes, entre autres, le compte-rendu d'une réunion sur le Consortium sur la recherche en génomique intitulé : "Strategy for the Global *Musa* Genomics Consortium" et le rapport annuel 2001. Le CD-Rom présente également un résumé actualisé des activités de l'INIBAP. Pour obtenir un exemplaire de ce CD-ROM maintenant inséré dans un nouvel étui haut en couleur, adressez-vous au siège de l'INIBAP.

Evaluation globale de la résistance des bananiers à la fusariose, aux maladies foliaires causées par les *Mycosphaerella* spp. et aux nématodes : évaluation approfondie. Guides techniques INIBAP N° 6

Jean Carlier, Dirk De Waele et Jean-Vincent Escalant en collaboration avec les groupes de travail de *PROMUSA* sur la fusariose, les cercosporioses et les nématodes

Edité par Anne Vézina et Claudine Picq
ISBN: 2-910810-53-4



Ce guide technique remplace les guides techniques 1 et 3 (*Evaluation du matériel génétique*

de Musa pour la résistance aux nématodes et *Evaluation de la résistance des bananiers aux cercosporioses et à la fusariose*) en ce qui concerne les évaluations approfondies. Le guide technique pour l'évaluation des performances, qui faisait également partie du guide technique 3 sera publié prochainement.

Ces changements ont été effectués pour prendre en compte l'apparition d'une troisième maladie causée par un champignon de type *Mycosphaerella* (*eumusae leaf spot disease*), pour simplifier les guides techniques et pour regrouper dans un même ouvrage les protocoles d'évaluation pour les principaux ravageurs et maladies qui affectent les bananiers.

Ce guide technique a été rédigé avec la collaboration des groupes de travail de *PROMUSA* sur la fusariose, les cercosporioses et les nématodes, ainsi que du personnel de l'INIBAP, avec l'objectif d'aider les chercheurs à concevoir un dispositif expérimental, choisir un site expérimental approprié et évaluer la résistance et la tolérance aux maladies des géotypes sélectionnés. Des modèles de fiches d'observation sont fournis afin d'aider les chercheurs dans la collecte de données.

L'INIBAP souhaite remercier tous les chercheurs qui ont apporté leur contribution à ce guide technique.

Ce guide technique est également disponible en anglais et en espagnol.

Notes de lecture

The wild and cultivated bananas of the Philippines

Ramon V. Valmayor, René Rafael C.

Espino et Orlando C. Pascua. 2002
Philippine Agriculture and Resources
Research Foundation, Inc. (PARRFI).

ISBN 971-92540-1-7

Par Michael G. Price

Plus des deux tiers de cet ouvrage à couverture rigide sont consacrés à 87 cultivars des Philippines. Chaque entrée comprend une liste des caractéristiques morphologiques et horticoles, ainsi qu'un dessin de la plante entière avec le détail de la base des feuilles, le bourgeon floral, les bractées et le régime. Cette vue d'ensemble sur les données et les images est très pratique.

Il y a également des chapitres sur les schémas précédents et actuels de classification des bananiers, la nomenclature et la génétique qui se concentrent sur les Philippines, sans toutefois s'y limiter. L'ouvrage contient des index et des listes utiles, ainsi qu'une annexe incluant des descriptions de deux nouvelles espèces et d'une sous-espèce récemment décrites par Valmayor.

Les bananiers étant originaires de l'Asie du Sud-est, les Philippines, avec plus de 7000 îles, occupent une partie importante de

cette aire distribution. De plus, nombre des variétés supérieures, qui pourraient avoir été découvertes en premier ailleurs par d'anciens horticulteurs, sont maintenant cultivées aux Philippines et sont donc incluses dans ce livre.

Sur les 87 cultivars traités en détails, on est surpris de réaliser que 41 n'avaient pas été caractérisés auparavant. Parmi ces cultivars nouvellement décrits, on en trouve certains qui semblent particulièrement prometteurs, et mon préféré, en me basant sur les descriptions, est le cultivar 'Manang' qui a des fruits petits mais extrêmement sucrés et aromatiques et qui a une maturation précoce. Il pourrait avoir un excellent potentiel commercial ou il pourrait simplement être merveilleux de l'avoir dans son jardin.

En plus de ces 41 cultivars, ce livre est la première publication à mentionner plusieurs découvertes. Un exemple est la reconnaissance du fait que *Musa peekelii* de Papouasie-Nouvelle-Guinée et de l'archipel de Bismarck est identique à la plante connue sous le nom de 'Pakel' à Palawan, aux Philippines, ce qui représente une augmentation de son aire de distribution de plus de 3000 km. Le plus étonnant est que cette espèce sauvage a des noms vernaculaires quasiment identiques aux deux endroits, ce qui indique un lien préhistorique.

Plusieurs cultivars importants, qui ne sont pas inclus parmi les 87 décrits parce qu'ils sont des introductions récentes dans le pays, sont également discutés et illustrés. De Malaisie, vient le fascinant 'Pisang seribu' qui a été un jour proposé comme étant une espèce séparée par le botaniste hollandais Backer.

Ce livre sur les bananiers sera utile à toute personne sérieusement intéressée par le sujet, qu'il s'agisse de botanistes, d'horticulteurs, de producteurs ou même de diététiciens et de médecins. Par exemple, faisant suite à l'assertion selon laquelle les plantains sont très efficaces pour abaisser la pression sanguine, prévenir et traiter les ulcères et pour diminuer le risque d'infarctus, entre autres choses, les auteurs expliquent que le mot plantain est un terme botanique inexact et qu'en fait beaucoup sont différents génétiquement. Certains plantains pourraient avoir de meilleures propriétés thérapeutiques que d'autres. Les informations de base sont présentées et offertes dans cet ouvrage pour qui souhaiterait initier des recherches sur ce sujet.

Adresse pour commander l'ouvrage : PARRFI, c/o PCARRD Headquarters, Paseo de Valmayor, 4030 Los Baños, Laguna, Philippines; fax (049) 536-0016; courrier électronique : parrfioffice@pacific.net.ph
\$50 + port aérien (Asie \$16, Pacifique et Moyen Orient \$20, Europe et Amérique du Nord \$22, Afrique et Amérique latine \$23).
\$50 + airmail postage (Asia \$16, Pacific and Middle East \$20, Europe and North America \$22, Africa and Latin America \$23).

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 IIRRI 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,

UGANDA

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 ne devraient pas excéder 2500 mots. 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.

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 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 edition). 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.

Les publications de l'INIBAP



Disponibles au Siège central à Montpellier :

- INIBAP 2002. *Networking bananas and plantains: Annual Report 2001*.
- INIBAP 2002. The Global *Musa* Genomics Consortium. Strategy for the Global *Musa* Genomics Consortium: Report of a meeting held in Arlington, USA, 17-20 July 2001.
- INIBAP/CTA/CIRAD 2001. J. Daniells, C. Jenny, D. Karamura & K. Tomekpe. *Musalogue: a catalogue of Musa germplasm. Diversity in the genus Musa* (E. Arnaud & S. Sharrock, compil.).
- INIBAP/CTA 2001. B. Panis & N.T. Thinh. *Cryoconservation de matériel génétique de bananier. Guides techniques INIBAP 5* (J.V. Escalant et S. Sharrock, eds).
- INIBAP/IPGRI 2000. *Bananas* (brochure).
- INIBAP 2000. M. Holderness, S. Sharrock, E. Frison & M. Kairo (eds). *Organic banana 2000: Towards an organic banana initiative in the Caribbean. Report of the international workshop on the production and marketing of organic bananas by smallholder farmers held in Santo Domingo, Dominican Republic, 31 October-4 November 1999*.
- INIBAP 2000. G. Orjeda (compil.). *Evaluating bananas: a global partnership. Results of IMTP Phase II*.
- INIBAP/EARTH/IDRC 1999. F.E. Rosales, S.C. Tripon & J. Cerna (eds). *Organic/environmentally friendly banana production. Proceedings of a workshop held at EARTH, Guácimo, Costa Rica, 27-29 July 1998*.
- INIBAP/CRBP/CTA/CF 1999. C. Picq, E. Fouré & E.A. Frison (eds). *Bananas and Food Security/Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire. Proceedings of an International Symposium held in Douala, Cameroon, 10-14 November 1998*.
- INIBAP/FHIA 1999. F.E. Rosales, E. Arnaud & J. Coto (eds). *A tribute to the work of Paul Allen : a catalogue of wild and cultivated bananas*.
- INIBAP/RF/SDC 1999. E.A. Frison, C.S. Gold, E.B. Karamura & R.A. Sikora (eds). *Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa. Proceedings of a workshop on banana IPM held in Nelspruit, South Africa, 23-28 November 1998*.
- INIBAP 1999. E. Akyeampong (ed.). *Musa Network for West and Central Africa. Report of the second Steering Committee meeting held at Douala, Cameroon, 15-16 November 1998*.
- INIBAP 1999. K. Shepherd. *Cytogenetics of the genus Musa*.
- INIBAP 1998. E. Akyeampong (ed.). *Musa Network for West and Central Africa. Report of the first Steering Committee meeting held at Douala, Cameroun, 8-10 Decembre 1998*.
- INIBAP 1998. E.A. Frison & S.L. Sharrock (eds). *Banana streak virus: a unique virus-Musa interaction? Proceedings of a workshop of the PROMUSA virology working group held in Montpellier, France, 19-21 January 1998*.
- INIBAP 1998. C. Picq (ed.). *Segundo seminario/taller de la Red regional de información sobre banano y plátano de America Latina y el Caribe. San José, Costa Rica, 10-11 de Julio 1997*.
- INIBAP/CTA/FHIA/NRI/DFID 1998. B.K. Dadzie. *Post-harvest characteristics of black Sigatoka resistant banana, cooking banana and plants hybrids. INIBAP Technical Guidelines 4*.
- INIBAP 1998. G. Orjeda, en collaboration avec les groupes de travail de PROMUSA sur la fusariose et les cercosporioses. *Évaluation de la résistance des bananiers aux cercosporioses et à la fusariose. Guides techniques INIBAP 3*.
- CIRAD/INIBAP 1998. *Les bananes*.

- INIBAP/ACIAR 1997. E. Arnaud & J.P. Horry (eds). *Musalogue, a catalogue of Musa germplasm: Papua New Guinea collecting missions 1988-1989*.
- INIBAP/CTA/FHIA/NRI/ODA 1997. B.K. Dadzie & J.E. Orchard. *Evaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bananiers plantain : critères et méthodes. Guides techniques INIBAP 2*.
- INIBAP/CTA 1997. P.R. Speijer & D. De Waele. *Evaluation du matériel génétique de Musa pour la résistance aux nématodes. Guides techniques INIBAP 1*.
- INIBAP/The World Bank 1997. E.A. Frison, G. Orjeda & S. Sharrock (eds). *PROMUSA: A Global Programme for Musa Improvement. Proceedings of a meeting held in Gosier, Guadeloupe, March 5 and 9, 1997*.
- INIBAP-IPGRI/CIRAD 1996. *Descripteurs pour le bananier (Musa spp.)*.

Disponibles directement auprès du bureau régional d'Asie/Pacifique

- INIBAP-ASPNET 2001. A.B. Molina, V.N. Roa & M.A.G. Maghuyop (eds). *Advancing banana and plantain R & D in Asia and the Pacific Vol. 10. Proceeding of the 10th INIBAP-ASPNET Regional Advisory Committee (RAC) meeting held at Bangkok, Thailand, 10-11 November 2000*.
- INIBAP-ASPNET/MARDI 2001. A.B. Molina, N.H. Nik Masdek & K.W. Liew (eds). *Banana Fusarium wilt management: towards sustainable cultivation. Proceedings of the international workshop on the management of Fusarium wilt disease held in Genting, Malaysia, 18-20 October 1999*.
- INIBAP-ASPNET 2000. V.N. Roa & A.B. Molina (eds). *Advancing banana and plantain R & D in Asia and the Pacific: Proceedings of the 9th INIBAP-ASPNET Regional Advisory Committee (RAC) meeting held at South China Agricultural University, Guangzhou, China, 2-5 November 1999*.
- INIBAP-ASPNET/FFTC 2000. A.B. Molina, V.N. Roa, J. Bay-Petersen, A.T. Carpio & J.E.A. Joven (eds). *Managing banana and citrus diseases. Proceedings of a regional workshop on disease management of banana and citrus through the use of disease-free planting materials held in Davao City, Philippines, 14-16 October 1998*.
- INIBAP-ASPNET 2000. R.V. Valmayor, S.H. Jamaluddin, B. Silayoi, S. Kusumo, L.D. Danh, O.C. Pascua & R.R.C. Espino. *Banana cultivar names and synonyms in Southeast Asia*.
- INIBAP-ASPNET 1999. V.N. Roa & A.B. Molina (eds). *Minutes: Eighth meeting of INIBAP-ASPNET Regional Advisory Committee (RAC) hosted by the Queensland Horticulture Institute (DPI) in Brisbane, Australia, 21-23 October 1998*.
- INIBAP-ASPNET 1998. *Minutes: Seventh meeting of INIBAP-ASPNET Regional Advisory Committee (RAC) hosted by the Vietnam Agricultural Science Institute (VASI) in Hanoi, Vietnam, 21-23 October 1997*.
- INIBAP-ASPNET 1997. V.N. Roa & R.V. Valmayor (eds). *Minutes: Sixth meeting of INIBAP-ASPNET Regional Advisory Committee (RAC) hosted by National Research Center on Banana (ICAR) in Tiruchirapalli, India, 26-28 September 1996*.
- INIBAP-ASPNET 1996. R.V. Valmayor, V.N. Roa & V.F. Cabangbang (eds). *Regional Information System for Banana and Plantain - Asia and the Pacific (RISBAP): Proceedings of a consultation/workshop held at Los Baños, Philippines, 1-3 April 1996. (ASPNET Book Series No. 6)*.