n°8 • Septembre 2010

Les Cahiers du PRAM

Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique

DES RECHERCHES EN AGROÉCOLOGIE

Pour une agriculture martiniquaise innovante et durable

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 4

SIGLES ET ABRÉVIATIONS 5

A - CONCEVOIR DES PRATIQUES POUR LIMITER LES HERBICIDES ET CONTRÔLER LES RAVAGEURS

1 ÉVALUATION MULTICRITÈRE DE PLANTES DE COUVERTURE POUR UNE UTILISATION DANS LES VERGERS ET BANANERAIES DE MARTINIQUE 7
R. ACHARD, C. LAVIGNE, S. ALVAREZ, A. GAUQUIER, R. DUGUET, M. BLANCHARD

2 LA DISPERSION DES INSECTES, UN PARAMÈTRE IMPORTANT POUR LE CONTRÔLE DES BIOAGRESSEURS 13
B. RHINO, F. VINATIER, C. THIBAUT, C. AMOUR

3 NICHE ÉCOLOGIQUE DES NÉMATODES PHYTOPHAGES DANS LES AGRO-ÉCOSYSTÈMES BANANIERS 21
P-F DUYCK , S. PAVOINE, P. TIXIER, C. CHABRIER, C. HUBERVIC, R. JULES-ROSETTE, J. HUBERVIC, P. TOPART, S. MARIE-LUCE, C. BASTOL, P. QUÉNÉHERVÉ

B - DES OUTILS POUR PRÉVOIR L'EFFET DES PRATIQUES

4 L'ACTIVITÉ ENZYMATIQUE, UN INDICATEUR SIMPLE ET FIABLE POUR PRÉVOIR L'IMPACT DES PRATIQUES CULTURALES SUR LA QUALITÉ DES SOLS 25
R. ASENSIO, S. MINATCHI, R. ACHARD, P. FERNANDES

5 PRÉVOIR LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS DES NÉMATODES PHYTOPARASITES : APPORTS DE LA MODÉLISATION 31
P. TIXIER, F. SALMON, J.-M. RISÈDE, C. CHABRIER, C. BASTOL, S. MARIE-LUCE, J. HUBERVIC, P. QUÉNÉHERVÉ

6 QUELQUES FAITS MARQUANTS (2008-20010) AU PRAM 35

7 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 40

AVANT-PROPOS

L'agronomie et l'écologie sont deux disciplines scientifiques qui se sont longtemps ignorées. Les processus écologiques se déroulant au sein du champ cultivé sont les principaux leviers pour concevoir une agriculture performante et respectueuse de l'environnement. Il est donc nécessaire de mobiliser des concepts, des méthodes et des outils issus de l'écologie pour étudier, comprendre et manipuler ces processus. L'écologie est la science de l'agriculture du 21e siècle. Parmi les processus mobilisés pour concevoir une agriculture durable, les interactions entre communautés permettant de contrôler les bioagresseurs et de renforcer les différentes composantes de la fertilité des sols sont centrales. De manière générale, l'agroécologie est basée sur le paradigme que l'augmentation de la biodiversité dans et autour du champ cultivé apporte une plus grande résilience vis-à-vis des perturbations (Cardinale et al., 2002). Il s'agit, en partie, d'imiter les écosystèmes naturels tout en préservant une productivité, nécessaire à la production de nourriture et au revenu des agriculteurs. L'agroécologie intègre une dimension scientifique qui recouvre les grandes catégories de l'écologie qui étudie les relations entre les êtres vivants et leur environnement. Dans le cadre des recherches menées au PRAM, les études concernent principalement l'écologie des populations et des communautés, c'est en effet à cette échelle que se font la plupart des interactions avec les pratiques culturales.

Le double enjeu de production et de préservation de l'environnement est particulièrement prégnant dans le cas de l'agriculture de la Martinique : les besoins du marché local sont en augmentation, la durabilité économique des agriculteurs doit être préservée, et la demande sociétale pour la protection de l'environnement est croissante. Développer des pratiques culturales et des systèmes de culture qui répondent à ces objectifs est au cœur des activités de recherche du PRAM. Afin de développer ces systèmes de culture, il s'agit de comprendre les mécanismes écologiques à mobiliser, identifier des moyens pour les manipuler et les optimiser, et enfin les assembler dans des systèmes de culture adaptés aux différents types d'agriculture et aux conditions de sol et de climat.

Ce numéro du *Cahier du PRAM* illustre nos recherches dans le domaine de l'agroécologie, avec i) la compréhension des mécanismes écologiques et la mise au point de pratiques culturales afin de limiter les herbicides et de contrôler les bioagresseurs et ii) la mise au point de méthodes et d'outils permettant de prévoir l'effet des pratiques sur le fonctionnement et les performances des systèmes de culture. Les plantes de couverture représentent la voie la plus prometteuse afin de gérer l'enherbement des parcelles. Nous présentons ici une méthode permettant d'évaluer de manière multicritère des plantes de couverture destinées aux vergers et aux bananeraies. Nous illustrons ici le champ de nos recherches concernant la maîtrise des bioagresseurs avec un article présentant l'importance des traits de vie de dispersion des insectes ravageurs. Cela met en évidence l'importance de l'organisation spatiale des systèmes de culture sur l'épidémiologie des ravageurs et montre le potentiel en terme de stratégies pour leur contrôle en limitant leur dispersion ou en favorisant leurs ennemis naturels. La gestion de ressources présentes au sein de l'agroécosystème représente une voie de manipulation des communautés de bioagresseurs, nous illustrons ces processus avec l'exemple de la structuration des communautés de nématodes phytoparasites en relation avec les espèces de plantes-hôtes présentes sur les parcelles de bananiers. Enfin, nous illustrons les outils visant à prévoir l'effet des pratiques avec les mesures de l'activité enzymatique sur les différentes fonctions biologiques du sol et les modèles de dynamique pour prédire l'effet de nouvelles pratiques sur les dynamiques de populations de nématodes phytoparasites en bananeraie.

Les recherches menées au PRAM répondent spécifiquement aux questions de l'agriculture de la Martinique. Elles ont également une vocation de rayonnement plus large dans le domaine de l'agroécologie tropicale.

P. TIXIER - P. QUÉNÉHERVÉ

Sigles et abréviations utilisés

ACC	•	Analyse canonique des correspondances
AMPA	•	Acide amino-méthyl-phosphonique
Cemagref	•	Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
Cirad	•	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNRS	•	Centre National de Recherche Scientifique
FDA	•	Fluorescéine di actétate
FREDON	•	Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles de la Martinique
IRD	•	Institut de Recherche pour le Développement
MNHN	•	Muséum National d'Histoire Naturelle
PRAM	•	Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique
UMR	•	Unité mixte de recherche
UPR	•	Unité propre de recherche
RFID	•	Radio Frequency IDentification

- A -

CONCEVOIR DES PRATIQUES POUR LIMITER LES HERBICIDES ET CONTRÔLER LES RAVAGEURS

Raphaël Achard, Christian Lavigne, Stéphanie Alvarez, Antoine Gauquier, Rémy Duguet, Morgane Blanchard

Evaluation multicritère de plantes de couverture pour une utilisation dans les vergers et bananeraies de Martinique

Dans les systèmes d'arboriculture fruitière et de production de banane dessert, la gestion des adventices est centrale pour diminuer les applications d'herbicides qui restent les principaux pesticides appliqués dans ces systèmes de culture. L'utilisation répétée d'herbicides entraîne une pollution des sols, des eaux de surface et de profondeur. La présence de résidus de pesticides dans les cours d'eau des zones à forte activité agricole est récurrente (en particulier le glyphosate et surtout, son métabolite l'acide amino-méthylphosphonique ou AMPA). De plus, en arboriculture fruitière, la conduite des vergers sur sol nu est responsable de problèmes majeurs d'érosion et de lessivage des sols. D'un point de vue économique, le contrôle des mauvaises herbes entraîne une dépense très importante pour l'agriculteur. Cette dépense, associée au «bilan carbone», devient excessive si elle est réalisée par un fauchage régulier de la couverture végétale entre les arbres. Une des alternatives les plus prometteuses consisterait à associer à la culture principale une plante de couverture vivante. Cette plante de couverture vivante doit être facile à contrôler mécaniquement, suffisamment compétitive contre les adventices, mais ne pas concurrencer la culture principale.

Les systèmes monoculturaux du passé ont déjà largement été modifiés, avec la réintroduction de rotations culturales et de périodes de jachère. Cela a permis un contrôle très efficace des nématodes phytoparasites et une première réduction de l'utilisation des herbicides avec la constitution d'un paillage en début de culture. Dans les systèmes de culture actuels l'utilisation d'herbicides est particulièrement importante durant la phase d'installation de la culture avec peu d'ombrage.

Choisir une plante de couverture : une approche multicritère

Qu'il s'agisse de culture semi-pérenne comme le bananier, ou pérenne comme les vergers, le premier critère de sélection d'une plante de couverture vivante est sa capacité à couvrir rapidement le sol afin de contrôler la levée des adventices lors de son installation. Pour des systèmes de culture ayant une longévité importante tels que les vergers, la capacité à perdurer sur le long terme est très importante. D'autres critères sont également recherchés afin de rendre la plante de couverture compatible avec les impératifs techniques des agriculteurs. Une plante de couverture doit être :

- compatible avec la circulation (hauteur, résistance au piétinement et au roulage),
- tolérante à l'ombrage,
- peu ou non volubile,
- tolérante au fauchage ou à d'autres formes de rabattage.

Afin de concevoir des systèmes de culture performants, la compétition pour l'eau et les éléments minéraux entre les plantes de couverture et la culture principale doit être minimale pour ne pas affecter le rendement de la culture principale. Afin de réduire ces compétitions, l'utilisation de plantes fixatrices de l'azote ainsi que des modes de gestion permettant de limiter ces compétitions sont à privilégier.

Nos présentons ici les résultats de l'évaluation multicritère de 20 plantes de couverture. L'accent a été mis sur la mesure du taux de couverture, sur la dynamique de croissance et sa relation avec l'évolution de la biomasse et les quantités d'éléments minéraux mobilisés qui permettent d'évaluer les fonctions recherchées de ces plantes. Nous présentons une méthodologie d'évaluation multicritère de plantes de couverture sur la base de mesures expérimentales.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Sur les 20 espèces testées, nous présenterons les résultats obtenus sur six d'entre elles, qui sont représentatives de la gamme observée, avec :

- *Brachiaria decumbens,* graminée fourragère couramment utilisée dans les pâturages de Martinique,
- *Cynodon dactylon,* graminée présente dans la flore martiniquaise, et utilisée pour la réalisation de pelouses,
- *Paspalum notatum cv. Common,* graminée présente dans la flore martiniquaise également utilisée pour la réalisation de pelouses,
- *Pueraria phaseoloides,* légumineuse présente dans la flore locale et largement utilisée comme plante de couverture en zone tropicale, principalement en agroforesterie, sur plantations pérennes (hévéa, palmier...),
- *Chamaecrista rotundifolia,* légumineuse utilisée pour améliorer les pâturages,

Figure 1. Evolution du pourcentage de recouvrement moyen (a) de la biomasse (b) et de la hauteur des couverts (c) pour les six espèces évaluées (Brachiaria decumbens, Paspalum notatum, Cynodon dactylon, Pueraria phaseoloide, Chamaecrista rotundifolia, Dichondra repens)

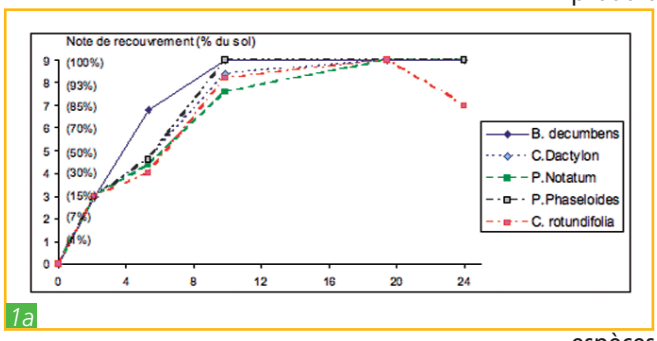
- *Dichondra repens,* convolvulacée réputée comme plante de couverture ne nécessitant pas de tonte et supportant l'ombrage.

Chaque espèce a été évaluée pendant 9 mois sur des parcelles élémentaires de 2,5 m x 2,5 m. Les doses de semis ont été choisies en fonction des informations disponibles auprès des semenciers. Après semis à la volée, l'enfouissement des graines est réalisé manuellement au râteau, puis la parcelle est roulée pour améliorer le contact sol-graine. Durant la première semaine, des irrigations quotidiennes ont garanti des conditions hydriques optimales de germination. Après levée des graines, des désherbages sélectifs manuels ont permis de ne conserver sur chaque parcelle que l'espèce à caractériser.

RÉSULTATS

Capacité de couverture

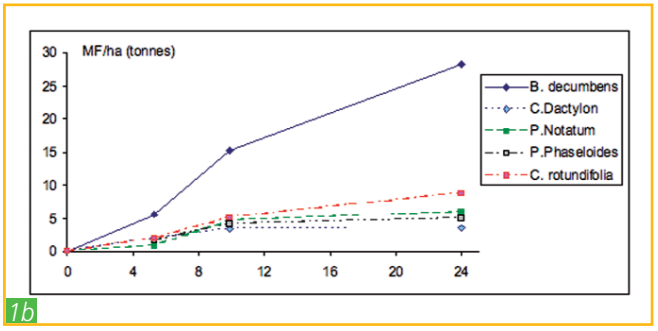
La fonction visée prioritairement par l'utilisation des plantes de couverture est le contrôle des adventices. Pour cela, nous avons évalué les plantes de couverture au travers de leur capacité de couverture du sol, et de leur indice surface relative. Dans un premier temps nous avons évalué le recouvrement par notation selon un barème CEB *(Marnotte et al., 1998)* d'évaluation utilisé sur adventices. La **figure 1a** présente l'évolution au



cours du temps du pourcentage de recouvrement du sol. Les espèces ayant l'installation la plus rapide sont *B. decumbens et P. notatum* qui ont atteint une couverture du sol de 85% au bout de cinq semaines après semis et 100% après neuf semaines. Au bout de cinq semaines, les autres espèces testées ont une couverture du sol comprise entre 30 et 50% du sol. Neuf semaines après le semis, *P. phaseoloides* arrive néanmoins à couvrir le sol à 100% comme *B. decumbens et P. notatum*. A cette date *C. dactylon et C. rotundifolia* présentent une couverture du sol d'au moins 85%. Cette dernière légumineuse montre dans les derniers mois d'observation une baisse du taux de couverture. A neuf semaines, seule *D. repens* atteint 70% de couverture.

Biomasse produite et demande en azote

La **figure 1b** présente l'évolution de la biomasse



des plantes de couverture testée. La biomasse représente une caractéristique majeure des plantes de couverture, elle est corrélée à leur capacité de couverture et à leur demande en éléments minéraux. Nous avons observé que *B. decumbens* produit rapidement une biomasse importante (plus de 5 t/ha de matière fraîche 8 semaines après plantation), puis croît régulièrement avant d'atteindre 30 t/ha de matière fraîche au bout de 24 semaines. *P. notatum* produit une quantité de biomasse plus modeste : 1,6 t/ha de matière fraîche à 8 semaines et se stabilise progressivement à environ 6 t/ha de matière fraîche à 24 semaines. *C. dactylon* produit en 8 semaines une biomasse proche de *P. notatum*, pour ensuite se stabiliser autour de 3,5 t/ha. *P. phaseoloides* présentent une croissance en biomasse proche de celle de *P. notatum* durant les quatre premiers mois. Ensuite, la iomasse, de *P. phaseoloides* se stabilise à environ 5 t/ha. *C. rotundifolia* a une croissance en biomasse proche de *P. phaseoloides* mais continue à croître jusqu'à 24 mois. Comparativement aux espèces précédentes *D. repens* possède toujours une biomasse très faible (inférieure à 1 t/ha de matière fraîche), qui de plus décroît à la fin de la période d'observation.

Le recouvrement 8 semaines après semis est corrélé à la biomasse obtenue. Pour les extrêmes, cette relation entre biomasse et recouvrement paraît évidente. Ainsi *B. decumbens* qui produit la plus forte biomasse couvre fortement le sol. A l'inverse, *D. repens* qui produit une très faible biomasse ne permet pas d'obtenir une couverture totale du sol. Le faible coefficient de corré-

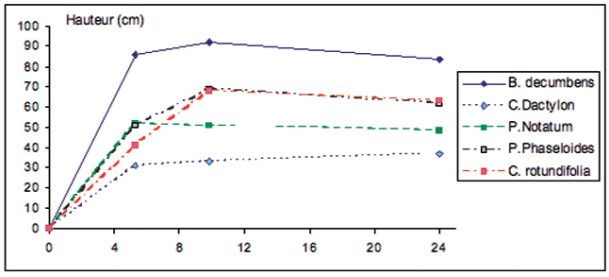
lation de cette relation s'explique par d'importantes différences de comportement entre les espèces, traduisant des caractéristiques assez différentes :

- pour un même recouvrement deux espèces peuvent avoir des biomasses très différentes, c'est le cas de *B. decumbens* et de *P. notatum,* ce dernier ayant une biomasse bien plus faible,
- pour une même biomasse, deux espèces peuvent avoir des recouvrements différents, par exemple, le *P. phaseoloides* et *C. rotundifolia* ont des biomasses proches à cinq semaines alors que la première présente un recouvrement nettement plus élevé.

L'augmentation de biomasse est accompagnée d'une absorption d'azote minéral. Bien que la teneur en azote (% N) varie selon les familles utilisées (d'environ 1% N pour les graminées avec C/N ≥ 30, à 3,4 % N pour *P. phaseoloides,* C/N = 11), la quantité totale d'azote utilisée est en premier lieu déterminée par les différences de matière sèche produite par unité de surface par les différents couverts. La quantité d'azote nécessaire au développement de la couverture vivante dépend donc principalement de la biomasse produite par le couvert.

Hauteur du couvert

Les caractéristiques requises pour l'utilisation d'une couverture vivante sont aussi d'ordre pratique. Une importante hauteur de couvert est une caractéristique défavorable pour la circulation de la main d'œuvre et des engins agricoles. La taille de *B. decumbens* croît rapidement et atteint une hauteur de 80 cm en 8 semaines **(Figure 1c)**. Cette taille évolue ensuite assez peu



1c

même si la biomasse continue de croître ; une fois établie, cette plante produit une importante masse de tiges qui s'accumule à la surface du sol. *P. notatum* est beaucoup plus court, sa hauteur se limite à 35 cm et reste quasiment constante une fois le couvert établi. *C. dactylon* a pratiquement la même taille que *P. notatum. C. rotundifolia* mesure à l'établissement du couvert 40 cm environ, mais par la suite l'accumulation de biomasse s'accompagne d'une croissance en hauteur des plantes et à trois mois le couvert atteint environ 80 cm. Par la suite, la hauteur du couvert se réduit suite au dépérissement décrit par d'autres variables étudiées **(Figures 1a et 1c).** *P. phaseoloides* présentent une hauteur de 50 cm environ au moment de l'établissement, croît jusqu'à 70 cm environ, puis se stabilise à environ 60 cm. *D. repens* ne mesure que quelques centimètres de haut et décroît en fin d'observation avec le dépérissement du couvert.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de cette expérimentation était de rechercher des espèces susceptibles de constituer un couvert végétal vivant associé à une culture permanente. Elle permettra ainsi de proposer une alternative plus favorable à l'environnement que la conduite sur sol nu ou l'utilisation d'herbicides.

En vergers comme en bananeraies, le *Dichondra* a une capacité de couverture insuffisante à l'installation d'un couvert compatible à son utilisation. Par contre, le couvert à base de *Cynodon,* bien que lent dans son installation, pourrait convenir dans certains cas. Pourrait également convenir un couvert de graminées fauchées lorsque la compétition des plantes spontanées ne pose pas de problèmes. Enfin, le couvert à base de *Pueraria* est évalué plutôt favorablement, bien que sa volubilité soit rédhibitoire en bananeraies et en vergers.

Dans le cas des bananeraies, pendant les premiers mois après plantation, l'ombrage des bananiers est faible et il n'y a pas encore de résidus de culture. Par conséquent, les plantes de couverture les mieux adaptées doivent couvrir le sol rapidement **(Tableau 1)** et avoir une biomasse modérée afin de ne pas entrer en compétition avec les bananiers et de ne pas entraîner plus de coûts d'entretien de la parcelle que les systèmes traditionnels. Il s'agit de trouver un compromis entre croissance, couverture du sol, biomasse, besoin en azote et taille. Parmi les plantes testées, *P. notatum* semble le mieux répondre à ce cahier des charges. Cependant, pour limiter la compétition avec les bananiers, il serait souhaitable de sélectionner une plante ayant des traits fonctionnels proches de *P. notatum* mais qui fixerait l'azote atmosphérique. C'est pourquoi nous étudions actuellement des espèces fixatrices de l'azote atmosphérique

Tableau 1. Evaluation multicritère des plantes de couvertures destinées à l'association dans les bananeraies et les vergers.

Espèces évaluées	Capacité de couverture		Quantités de couvert			Intérêt pour une utilisation en couverture vivante	
Critère d'évaluation	Installation (sur 3 mois)	Pérennité (3 - 12 mois)	Hauteur (cm)	Vitesse de croissance (biomasse)	Quantité d'azote absorbée	En bananeraie	En verger
Objectif	Couverture rapide	Pérenne	Faible	Faible	Faible à moyen		
B. decumbens	Bonne ++/++	Bonne ++/++	80 -/-	Forte -/-	≥ 250 U N/ha --/-		
C. dactylon	Insuffisante -/-	Très bonne ++/++	30 ++/++	Faible ++/++	≈100 U N/ha +	+	
P. notatum	Moyenne +/+	Bonne ++/++	40 +/++	Moyenne +/+	≥ 100 U N/ha +	++	
P. phaseloides	Moyenne +/+	Bonne ++/++	50 -/-	Moyenne +/+	≈ 100 U N/ha +/+	-	-
C. rotundifolia	Moyenne +/+	Insuffisante -/-	50 -/+	Moyenne +/+	≈ 100 U N/ha +/+		
D. repens	Insuffisante --/--	Insuffisante -/-	1 ++/++	Faible +/+	≈ 60 U N/ha ++/++	--	--

Avec : -- rédhibitoire, - défavorable, + favorable, ++ très favorable, N/A non pertinent

(Neonotonia wightii, Stylosanthes guianensis) ainsi que les conditions physicochimiques favorables à cette fixation.

Les critères mesurés ici sont également utiles pour la sélection de plantes de couverture dans les périodes d'inter-culture, comme par exemple dans des jachères. Dans ce cas, les critères de sélection seront différents. Des plantes peuvent être inadéquates en association avec la culture mais appropriées pour la jachère. C'est notamment le cas des plantes produisant une biomasse importante. Dans ce cas, il faudra considérer le statut d'hôte de ces plantes vis-à-vis des principaux bioagresseurs de la culture.

Une plante de couverture, comme *B. decumbens,* avec une forte biomasse permet aussi de limiter le lessivage des éléments minéraux pendant les jachères. Cela montre l'importance d'une caractérisation multicritère des espèces et l'utilisation d'une grille spécifique à chaque utilisation.

Photo : Bananeraie associée à Pueraria phaseloides en couverture vivante.

La méthodologie proposée ici permet une sélection de plantes de couverture sur les principaux critères nécessaires à une association dans des systèmes performants. Cependant, d'autres critères devront être pris en compte, notamment la résistance au fauchage, au piétinement et au roulage ; la tolérance à l'ombrage ou encore la fixation symbiotique de l'azote. Pour valider la sélection, il sera nécessaire d'étudier les effets de l'association sur la culture principale ; avec notamment la concurrence pour l'eau et les éléments minéraux ou l'existence d'effets allélopathiques. Enfin les effets à long terme, physique, chimique et biologique, (comme la modification du taux de matière organique, le contrôle du parasitisme tellurique, la remontée d'éléments prélevés en profondeur et le maintien de la structure physique du sol) devront être évalués.

B. Rhino,
F. Vinatier,
C. Thibaut,
C. Amour

La dispersion des insectes, un paramètre important pour le contrôle des ravageurs

La lutte contre les ravageurs des cultures a longtemps reposé sur l'utilisation de pesticides qui s'avèrent nocifs pour l'environnement. La maîtrise des bioagresseurs par des méthodes alternatives permet de réduire l'emploi des pesticides dans les agrosystèmes. Pour les insectes ravageurs, plusieurs voies de recherche sont à l'étude, du piégeage de masse avec des pièges à phéromones pour réduire leurs populations dans les parcelles cultivées, à l'augmentation de la diversité végétale dans les agrosystèmes pour favoriser la lutte biologique de conservation ou pour détourner les ravageurs des cultures. Cependant l'efficacité de ces méthodes nécessite de modifier l'aménagement spatio-temporel des agrosystèmes. Il est donc important de raisonner la disposition des parcelles cultivées et des espaces non cultivés. Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte les traits de vie des ravageurs, en particulier leur capacité de dispersion et le mode de sélection des plantes hôtes. Nous présentons ici deux cas d'étude : la noctuelle de la tomate, insecte aérien polyphage très mobile et le charançon noir du bananier, insecte inféodé au bananier et se déplaçant principalement par la marche.

LE CAS DE LA NOCTUELLE DE LA TOMATE

Caractéristiques biologiques de l'insecte

Helicoverpa zea (Lepidoptera : Noctuidae) est un ravageur majeur dans la Caraïbe et sur le continent américain **(Photo 1)**. C'est un insecte très polyphage, les larves se nourrissant de plus d'une centaine de plantes cultivées et sauvages. *H. zea* a une grande mobilité, les adultes peuvent parcourir 2 à 3 km/jour. Cependant *H. zea* ne migre que si les conditions climatiques ou la disponibilité des ressources alimentaires, ne sont pas suffisantes. Les mouvements les plus fréquents se font dans un rayon de 100 m (Fitt, 1989). Chaque femelle est très féconde et pond en moyenne 1 500 œufs durant 8 à 10 jours. La mortalité naturelle est importante (>90%), particulièrement pour les œufs et le premier stade larvaire, et est principalement due à la prédation. *Orius insidiosus* est un important prédateur d'œufs et de jeunes larves de *H. zea.* La coccinelle *Coleomegilla maculata* a aussi été identifiée comme prédatrice majeure d'œufs dans les parcelles de maïs.

Les types de dégâts

Les dégâts sont dus aux larves. De nombreuses cultures peuvent être attaquées par *H. zea* (maïs, sorgho, coton, soja, tournesol, tomate, tabac) (Fitt, 1989). La noctuelle attaque les cultures de tomate, de préférence en période de floraison. Les femelles pondent sur la première feuille au dessous des bouquets floraux, puis, à partir du troisième stade, les larves pénètrent dans les fruits pour se nourrir **(Photos 2a, 2b).**

1

Photo 1. Adulte de Helicoverpa zea (Eddy Dumbardon-Martial/ Fredon Martinique).

Photo 2a. Larve H. zea dans le bouton floral de tomate (Eddy Dumbardon-Martial/Fredon Martinique).

Photo 2 b . Dégât de chenille H. zea sur tomate (Philippe Ryckeweart/CIRAD).

Les méthodes de lutte

Des méthodes alternatives, faisant appel à des lâchers inondatifs de parasitoïdes *(Trichogramma sp.)* se sont révélées très coûteuses car elles nécessitaient un grand nombre de parasitoïdes. Par exemple aux USA, dans les champs de coton, il fallait lâcher 100 000 à 200 000 femelles de *Trichogramma exiguum* pour obtenir 70 à 80 % des œufs de *H. zea* parasités. Les nématodes entomopathogènes, *Steinernema sp*, semblaient efficaces contre les larves. Cependant cette méthode demandait de fortes concentrations en nématodes, *Cabanillas* et *Raulston* (1996) ont montré qu'il fallait 200 000 nématodes / m² pour obtenir un taux de parasitisme de 95 %. De plus la persistance des nématodes dans les parcelles dépendait de nombreux facteurs environnementaux.

Actuellement, il est impossible de contrôler les adultes avec les pièges à phéromone car ils ne capturent que les mâles. Dans le cas de ravageurs aériens pouvant se déplacer sur de longues distances comme *H. zea*, l'élimination des plantes susceptibles d'abriter les ravageurs

n'aura qu'un impact limité sur les populations car les sources d'infestation peuvent être éloignées de plusieurs kilomètres.

La gestion des habitats, en particulier la dilution de la ressource par l'augmentation de la diversité végétale et par des arrangements spatiaux des plantes hôtes, semble être la stratégie la plus prometteuse pour contrôler ce ravageur. Cela permet de perturber le comportement de recherche des sites de pontes et des ressources alimentaires (Smith et Mcsorley, 2000). Du fait du niveau élevé de polyphagie de *H. zea*, les agencements spatiaux devront aussi intégrer une diversité phénologique des plantes hôtes pour éviter les pullulations de *H. zea* dans les cultures.

Le second effet escompté des manipulations des habitats est l'augmentation des parasites et prédateurs de *H. zea*.

L'utilisation de plantes pièges est une méthode intéressante car elles attirent et retiennent les bio-agresseurs. Certaines plantes ont déjà été testées comme plantes pièges pour contrôler les dégâts des noctuelles *(Helicoverpa sp.)*. Ces plantes pièges sont plus efficaces quand elles sont utilisées en bordures de champ car elles permettent d'intercepter *Helicoverpa sp*. avant qu'il ne colonise la culture. Les bordures de plantes pièges autour de parcelles cultivées semblent être l'agencement le plus efficace car elles perturbent la recherche de sites de ponte. Différents exemples ont montré l'efficacité de bordures de parcelle réalisée avec des plantes hôtes : à Cuba, l'utilisation du sorgho en bordure des champs de tomate permet de réduire l'utilisation des insecticides et favorise les parasitoïdes ; en Inde, l'utilisation de *Tagetes erecta* comme plante piège en bordure de champ de tomate permet de réduire le nombre de fruits attaqués (Landis et al., 2000). L'agencement temporel des plantes pièges est aussi un facteur important car l'efficacité d'une plante piège dépend aussi du décalage phénologique entre cette dernière et la culture principale (Wackers et al., 2007). De plus, les bordures enherbées maintiennent les populations d'auxiliaires, en particulier grâce à la présence d'espèces végétales fleuries (Koppenhofer, 1993).

Nous développons actuellement une stratégie pour contrôler la noctuelle de la tomate basée sur l'utilisation de bordure de parcelles permettant la régulation naturelle des œufs et des premiers stades larvaires (plantes «réservoirs» pour les auxiliaires), et permettant le détournement de la ponte des femelles des cultures (plantes pièges pour le ravageur). Pour cela, nous étudions la diversité entomofaunistique et floristique présente dans les bordures de parcelles enherbées. Nous étudions chez les agriculteurs les mécanismes expliquant les interactions entre les bordures enherbées et les parcelles cultivées, en particulier la dispersion des auxiliaires et leur impact sur la régulation de *H. zea*. Nous testons l'efficacité du maïs pour piéger *H. zea* **(Photo 3).**

Photo 3. Essai "tomate x maïs". (Metty Trebeau / CIRAD)

De plus, nous cherchons les meilleurs agencements et les meilleures synchronisations entre les semis de maïs et les plantations de tomate afin de maximiser les captures de *H. zea* ; le maïs étant plus attractif pour *H. zea* de la floraison jusqu'au stade laiteux de l'épi.

LE CAS DU CHARANÇON DU BANANIER

Caractéristiques biologiques de l'insecte

Comparé à *H. zea, Cosmopolites sordidus* est un insecte ayant une faible fécondité (quelques œufs pondus par semaine par femelle selon Koppenhofer, 1993), mais ayant une longévité de plus de deux ans. *Cosmopolites sordidus* est d'instinct grégaire avec un mode de vie nocturne et essentiellement fouisseur **(Photo 4)**. Sa dispersion se fait principalement par la marche et semble limitée et lente. Moznette (1920) indique que la plupart des adultes demeurent à proximité de leur site d'émergence ; Delattre (1980) a trouvé 90 % des charançons recapturés après trois jours à proximité de leur point de relâchement, les distances maximales parcourues sont estimées de 6 à 15 m en une nuit. Bien que l'adulte dispose d'ailes fonctionnelles, il n'a été quasiment jamais observé en vol.

Les types de dégâts

L'adulte présente une certaine résistance au jeûne, mais il doit s'alimenter intensément en période d'activité normale. Il se nourrit principalement de rhizome de bananier (Vilardebo, 1973). L'essentiel des dégâts causés par *C. sordidus* sur bananier est dû à l'alimentation des larves, qui creusent des galeries à l'intérieur des rhizomes de bananier. Ces galeries sont responsables de la rupture des tissus du rhizome des bananiers ainsi que des racines. Les plants infestés sont plus fragiles et un grand nombre de bananiers peuvent être arrachés par le vent. Les dégâts vont s'accumuler au fur et à mesure des cycles culturaux, en fonction de l'accroissement de la population de l'insecte. La nuisibilité de *C. sordidus* dépend de la variété de banane plantée, de son stade de développement, des conditions du milieu et des pratiques culturales.

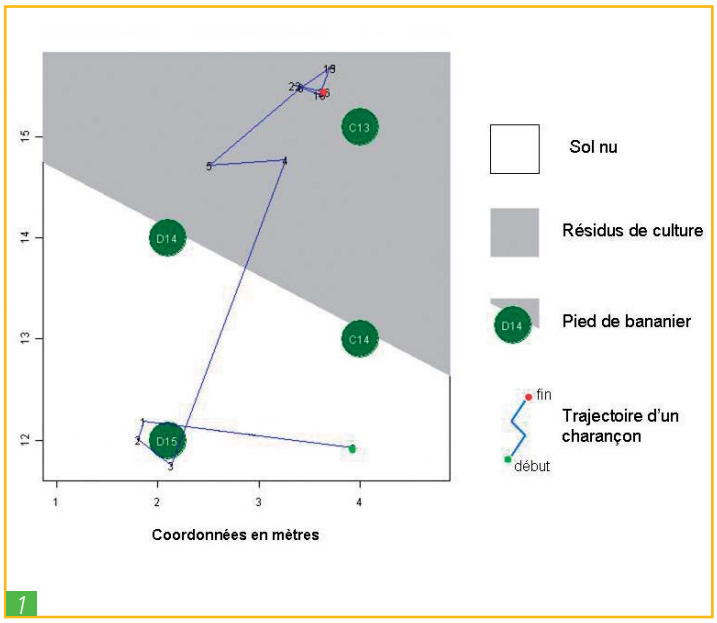
Photo 4 : Adulte de Cosmopolites sordidus (Fabrice Vinatier/CIRAD).

L'étude de la dispersion de C. sordidus par marquage RFID

Les micromarqueurs RFID (Radio Frequency

Figure 1. Représentation d'une trajectoire de C. sordidus dans une bananeraie (Fabrice Vinatier/CIRAD).

IDentification) permettent le suivi individuel d'organismes vivants à partir de signaux radio. La miniaturisation croissante de la taille de ces marqueurs permet actuellement des applications en entomologie. Cette technique a été utilisée sur *C. sordidus* afin de comprendre et quantifier ses mouvements en plein-champs en fonction de son environnement. Des marqueurs ont été fixés à chaque insecte **(Photo 5)**. Les charançons peuvent ainsi être localisés quotidiennement, même s'ils sont enfouis dans le sol ou cachés dans les résidus végétaux. Il est de plus possible de déterminer des trajectoires d'individus dans un paysage hétérogène **(figure 1)**. Ces nouvelles connaissances nous permettent d'élaborer de nouvelles stratégies de lutte, basées notamment sur l'organisation des parcelles dans le paysage et sur la gestion des résidus de culture à l'intérieur des parcelles.



1

La gestion des populations

La gestion des populations de *C. sordidus* repose principalement sur:

La prophylaxie. L'utilisation de plants sains (vitroplants) lors des replantations de bananeraies permet de limiter l'infestation initiale des bananeraies et de retarder l'accroissement de la population pendant plusieurs cycles culturaux.

Le piégeage de masse. Lorsqu'ils ont été récemment en contact avec du pseudo-tronc et probablement après s'en être nourris, les mâles

5

Photo 5. Puce RFID (Radio Frequency IDentification) reliée à un charançon adulte à l'aide d'un fil tressé (Fabrice Vinatier/CIRAD).

produisent une phéromone d'agrégation (sordidine) principalement pendant la nuit. Cette phéromone a été synthétisée et est actuellement utilisée en association avec des pièges d'interception de type Barber **(Photo 6)**. Le rayon d'action de ces pièges est limité à environ quinze mètres. L'organisation de ces pièges dans l'espace et dans le temps nécessite de prendre en compte la dispersion de *C. sordidus*. Ce type de piègeage est particulièrement efficace dans les jachères et en ceinture des parcelles non infestées

Photo 6. Piège à phéromone utilisé pour la capture de C. sordidus, de type piège Barber. La partie supérieure du piège renferme une capsule de phéromone et la partie inférieure est enfoncée dans le sol. (Fabrice Vinatier/CIRAD).

La simulation en appui à la gestion des populations

Les aspects spatiaux de dynamique des populations de *C. sordidus* sont centraux pour lutter contre ce ravageur : les distances entre bananiers, la disposition des résidus de culture sont autant de facteurs pouvant influencer les mouvements de colonisation de l'insecte. De plus, son comportement grégaire conduit à des distributions agrégées des populations, d'où une disposition spatiale des piégeages en conséquence. Un modèle de dynamique spatiale des populations de *C. sordidus* a été développé. Ce modèle intitulé COSMOS est de type individu-centré et rassemble l'ensemble des connaissances acquises sur les traits de vie de l'insecte. Il permet, entre autres, de réaliser des simulations des dynamiques spatiales de l'insecte sur plusieurs cycles de culture en fonction des densités de plantation et de l'organisation spatiale des piégeages **(Figure 2)**. Le modèle COSMOS a permis de tester l'effet du schéma de plantation et celui de la densité de piégeage sur la dynamique du ravageur. Nous avons montré que planter des bananiers en touffes plutôt que en ligne sur les parcelles permet d'augmenter le temps nécessaire à la colonisation d'une parcelle, mais augmente le pourcentage de bananiers sévèrement attaqués. Le modèle COSMOS a aussi montré qu'augmenter la densité de pièges au-delà de 16 pièges / ha ne permet pas d'améliorer le contrôle de la population.

CONCLUSION

Lutter contre un insecte ravageur nécessite la connaissance de l'ensemble de ses plantes hôtes. En effet, la noctuelle de la tomate étant polyphage, il faut détourner la ponte des femelles des cultures en utilisant des plantes pièges. L'organisation spatiale à privilégier serait l'implantation de bordures de plantes-pièges autour des champs de tomate. Par contre, comme le charançon du bananier est strictement inféodé aux musacées, la meilleure technique de lutte consiste à transfor-

mer les parcelles en jachère afin de priver l'insecte de sa ressource et à y pratiquer un piégeage de masse. Toutefois l'organisation spatiale des jachères au sein de l'agrosystème est primordiale car il faut éviter de placer les jachères à côté de jeunes plantations pour éviter la réinfestation de ces dernières (Rhino et al, 2010).

L'utilisation du piégeage associé à une phéromone d'attraction donnera des résultats très variables suivant les insectes et le type de phéromone. La phéromone émise par les noctuelles de la tomate attirant uniquement les mâles, son utilisation ne permet pas de limiter les contaminations des parcelles. A l'inverse, la phéromone émise par le charançon du bananier attirant les deux sexes, il est possible d'obtenir des résultats satisfaisants avec du piégeage de masse, en particulier dans les jachères ou le long des bordures afin de prévenir la migration des charançons vers les parcelles voisines.

Les capacités de dispersion des insectes vont jouer grandement sur l'échelle spatiale à privilégier pour comprendre et contrôler les densités de ravageurs. Le charançon ayant de faibles capacités de dispersion, il s'avère nécessaire de travailler à l'échelle de la parcelle et de ses bordures pour comprendre les dynamiques de recolonisation. Par contre, la noctuelle pouvant se déplacer sur de très grandes distances par le vol, il est indispensable d'en tenir compte pour recenser les plantes hôtes potentielles sur une grande échelle spatiale.

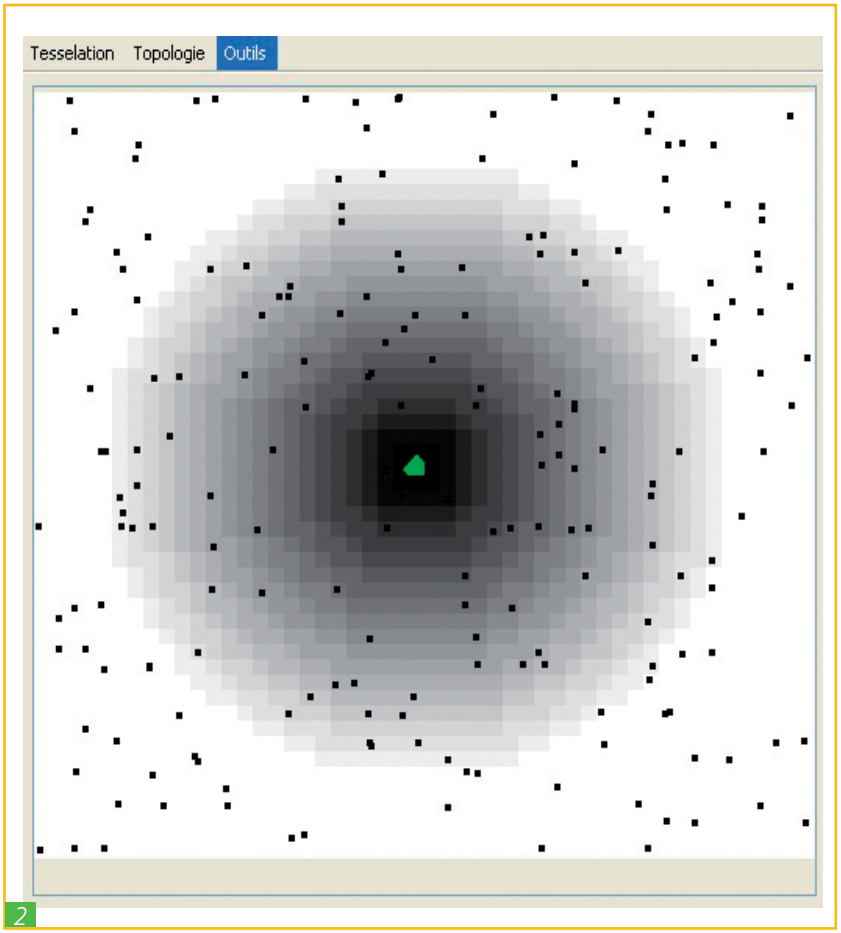


Figure 2. Représentation d'un piège (point vert) et de son rayon d'attraction (grisé) en fonction d'une population de charançons (points noirs) aléatoirement disposés dans une bananeraie à l'aide du modèle COSMOS. (Fabrice Vinatier/CIRAD).

Niche écologique des nématodes phytophages dans les agro-écosystèmes bananiers

Pierre-François Duyck [a], Sandrine Pavoine [b,c], Philippe Tixier [a], Christian Chabrier [a] Camille Hubervic [a], Robert Jules-Rosette [a], Jules Hubervic [a], Patrick Topart [d], Serge Marie-Luce [d], Christiane Bastol [a], Patrick Quénéhervé [d]

a-CIRAD, UPR Systèmes Bananes et Ananas, Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique, BP 214, 97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique

b-Mathematical Ecology Research Group, Department of Zoology, University of Oxford, South Parks Road, Oxford OX1 3PS, UK

c-UMR 5173 MNHN-CNRS-P6 'Conservation des espèces, restauration et suivi des populations' Muséum National d'Histoire Naturelle, CRBPO, 55 rue Buffon, 75005 Paris

d-IRD, UMR 186 Résistance des Plantes aux Bioagresseurs (IRD/CIRAD/UM2), Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique, BP 214, 97285, Le Lamentin Cedex 2, Martinique

Les facteurs structurant les communautés de bioagresseurs doivent être pris en compte dans la gestion des agro-écosystèmes. La compréhension des interactions entre les espèces de bioagresseurs et les autres espèces phytophages peut permettre aux agriculteurs de manipuler l'équilibre entre les espèces nuisibles et celles qui ne le sont pas. Une des voies pour augmenter la stabilité des agrosystèmes et de favoriser leurs fonctions positives (comme le contrôle des bioagresseurs) est d'augmenter la biodiversité dans et autour des champs cultivés. Cela peut notamment se faire par l'introduction de plantes de couvertures ou de plantes associées.

Si les monocultures de bananes desserts (*Musa* spp., groupe AAA cv. Cavendish Grande Naine) cultivées pour l'export implique une gestion intensive, la réintroduction de biodiversité *via* les plantes de couvertures, les plantes associées, et les jachères cultivées est pensée comme partie intégrante de la lutte intégrée contre les bioagresseurs. Les nématodes phytophages du bananier sont avec le charançon les principaux ravageurs des bananiers. La compréhension du lien entre la diversité des plantes présentes sur les parcelles et la structure des communautés des nématodes phytophages est donc essentielle.

La partition de niche, c'est-à-dire, le résultat de l'exploitation différentielle des ressources, ou l'utilisation de niches différentes par différentes espèces en compétition, peut avoir lieu à différentes échelles spatiales ou temporelles. Premièrement, la composition des communautés de nématodes peut être affectée par différents facteurs environnementaux. A l'échelle régionale, les niches écologiques des nématodes phytophages peuvent être séparées par les paramètres abiotiques dans l'agro-écosystème comme le climat ou le sol. Cependant à l'échelle de la parcelle, la composante plante-hôtes de la niche écologique des nématodes phytophages est probablement la plus importante.

Dans le monde, les bananiers sont attaqués par de nombreuses espèces de nématodes, mais seulement quelques une d'entre elles provoquent des dégâts d'importance économique. En Martinique, la communauté des nématodes parasitant les bananiers est composée d'endoparasites migratoires, *Radopholus similis* (Cobb, 1893) *Thorne*, 1949, et *Pratylenchus coffeae Goodey*, 1951 ; d'endoparasites *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb, 1893) *Sher*, 1961,et *Hoplolaimus seinhorsti Luc*, 1958 ; et de sédentaires endoparasites *Meloidogyne spp. and Rotylenchulus reniformis Linford & Oliviera*, 1940. Alors que toutes ces espèces exploitent la même ressource (les racines des plantes) et sont capables de parasiter une grande diversité de plantes hôtes , elles différent dans leurs traits d'histoire de vie (sédentaire, migratoires) et leur stratégie reproductive (parthogénétique, amphimictique).
Outre le bananier, ces différentes espèces sont capables d'exploiter un certain nombre d'adventices présentes dans les agro-écosystèmes bananiers. Alors que *R. similis* et *H. multicinctus* sont très associés à ces agro-écosystèmes bananiers, les quatre autres espèces sont trouvées dans la plupart des autres écosystèmes incluant ceux non cultivés . Dans cette étude, nous avons testé l'hypothèse que la communauté de nématode phytophage est structurée par les plantes hôtes.

Matériel et méthodes

Des enquêtes au champ ont été conduites régulièrement entre 2002 et 2008. Les prospections ont eu lieu sur l'ensemble de la Martinique dans le but de collecter des plantes adventices. Nous avons utilisé des données sur l'abondance des nématodes sur différentes plantes hôtes. 556 échantillons ont été collectés dans différentes parties de l'île. Après identification de l'espèce de plante, les nématodes ont été extraits de 20 g de racines fraîches par plante . Durant deux semaines, une fine brume d'eau a été vaporisée de façon continue sur les racines. Les nématodes actifs émergent sont retrouvés dans l'eau collectée en dessous et comptés deux fois, après une semaine et à nouveau après deux semaines. Les poids secs de racines ont été obtenus en plaçant les racines dans un four à 60°C. La base de donnée complète comprend un total de 247 332 nématodes appartenant aux six espèces comptées.

Les données ont été analysées par analyse canonique des correspondances (ACC) avec 4 facteurs : température, pluviométrie, type de sol et espèce de plante-hôte. Notre objet d'étude

Figure 1. Biplots des coordonnées normalisées des sites (contraintes par les espèces de plantes-hôtes) et coordonnées des espèces de nématodes. Dans chaque plot, les points indiquent les échantillons, les lignes droites indiquent la présence des espèces de nématodes dans les échantillons, et les ellipses entourent la position de chaque espèce de nématodes donnant un indice de la dispersion autour du centroïde de chaque espèce (50% et 90% des individus collectés sont présents dans les ellipses formées par la ligne continue et la ligne pointillée, respectivement). Ces ellipses sont des représentations de la diversité des espèces de plantes-hôtes utilisées par les nématodes.

étant les plantes-hôtes, une ACC partielle a ensuite été utilisée afin d'éliminer les effets du type de sol et des variables climatiques. Les différentes analyses et représentations ont été réalisées en utilisant le logiciel R et le package ade4.

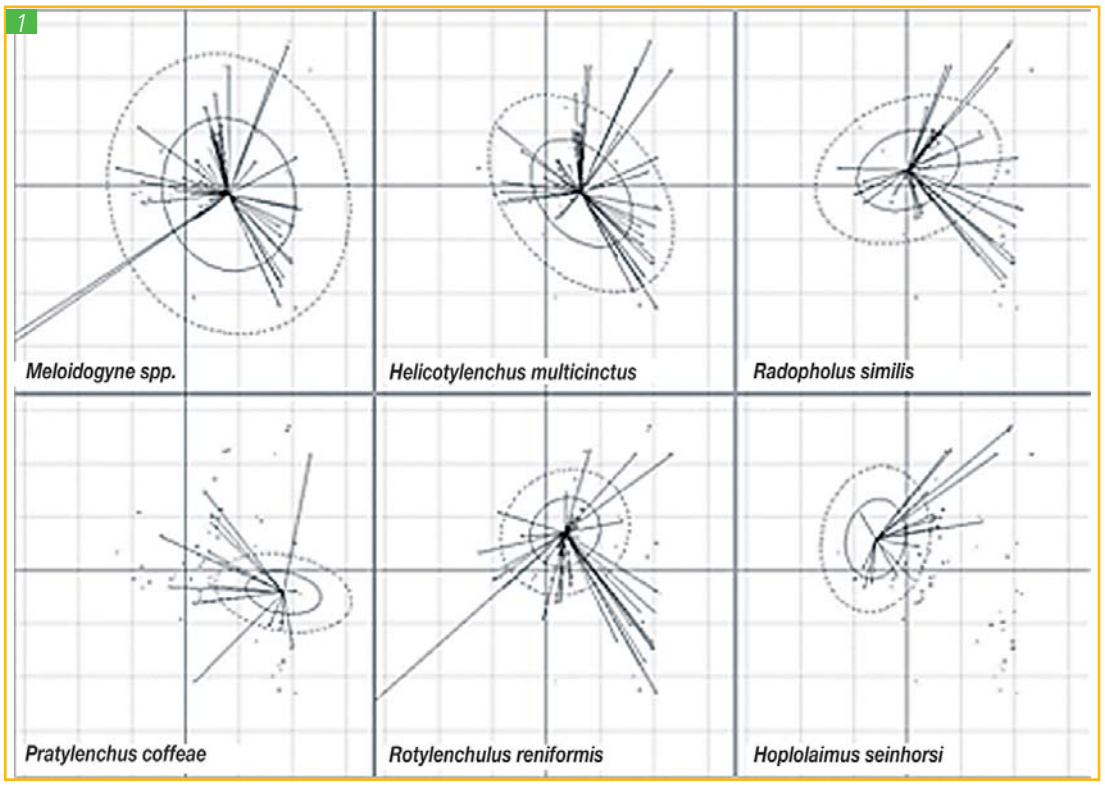
Résultats et Discussion

Quarante-huit espèces de plantes hôtes ont été retrouvées dans les bananeraies **(Tableau 1)**. Les nématodes *Meloidogyne spp.*, *H. multicinctus* et *R. similis* ont une distribution large en termes de plantes-hôtes (indiqué par une taille d'ellipse importante) **(Fig. 1)**. Les plantes-hôtes permettent une partition de niches entre certaines espèces. L'exemple le plus évident est la partition de niche entre *P. coffeae, R. reniformis* et *H. seinhorsti* ; les ellipses de la CCA partielle montrant un très faible chevauchement entre ces espèces dans leur exploitation des plantes-hôtes **(Fig. 1)**.

abondances relatives de chaque espèce de nématodes diffèrent entre les plantes hôtes, indiquant des différences dans l'exploitation de l'hôte.

Meloidogyne spp., H. multicinctus, et *R. similis* sont présents sur la plupart des plantes collectées **(Tableau 1)**. Ces espèces sont généralement considérées comme très polyphages. La distribution de l'abondance relative montre que *P. coffeae, R. reniformis* et *H. seinhorsti* se spécialisent sur différentes plantes hôtes. En particulier, *R. reniformis* et *P. coffeae* sont plus abondants sur les dicotylédones que sur les monocotylédones.

Nos résultats soulignent que la modification de l'abondance de certaines plantes hôtes peut changer l'équilibre entre espèces de nématodes, *R. similis* est le nématode considéré le plus nuisible sur les cultures de bananiers. Nous n'avons pas mis en évidence de partition de niche entre



Les plantes-hôtes des agro-écosystèmes bananiers ont une influence marquée sur la structure des communautés des nématodes phytophages. Les six espèces de nématodes ont une large gamme d'hôtes, incluant de 9 à 30 espèces de plantes appartenant à de nombreuses familles. Ces six espèces de nématodes peuvent être considérées comme polyphages. Bien que les gammes d'hôtes des espèces se chevauchent, les

cette espèce et d'autres espèces de nématodes concernant les plantes hôtes, excepté avec *P. coffeae* qui est également une espèce très nuisible. Par exemple *C. esculenta* favorisera les populations de *P. coffeae* et de *Meloidogyne spp*. et défavorisera les populations de *R. similis*. Au contraire, certaines plantes (par exemple *C. diffusa*) supporte des nombres importants de *R. similis* et peuvent accroître les populations de

cette espèce. D'un point de vue pratique, ces plantes doivent être retirées durant les jachères.

H. seinhorsti et *R. reniformis* sont considérés comme des espèces de nématodes moins nuisibles sur bananier. Du fait de la partition de niche avec *P. coffeae*, les plantes favorisant *H. seinhorsti* peuvent éviter la croissance de *P. coffeae. Eragrostis ilosa* pourrait être une bonne espèce candidate si des données additionnelles confirment que cette espèce ne supporte pas des populations importantes de *P. coffeae* ou *R. similis*. Cependant *H. seinhorsti, R. reniformis,* et *Meloidogyne spp* peuvent également provoquer des dégâts si ils sont présents en très grand nombre. Par exemple, il a été montré que des populations importantes de *Meloidogyne spp* en l'absence de *R. similis* peuvent aboutir à des dégâts importants sur bananier. Une stratégie efficace pour la régulation des nématodes phytophages du bananier pourrait être de choisir une série de plantes associées qui favoriseraient une espèce de nématode peu nuisible sur bananier mais bonne compétitrice contre les nématodes les plus nuisibles sur les plantes associées.

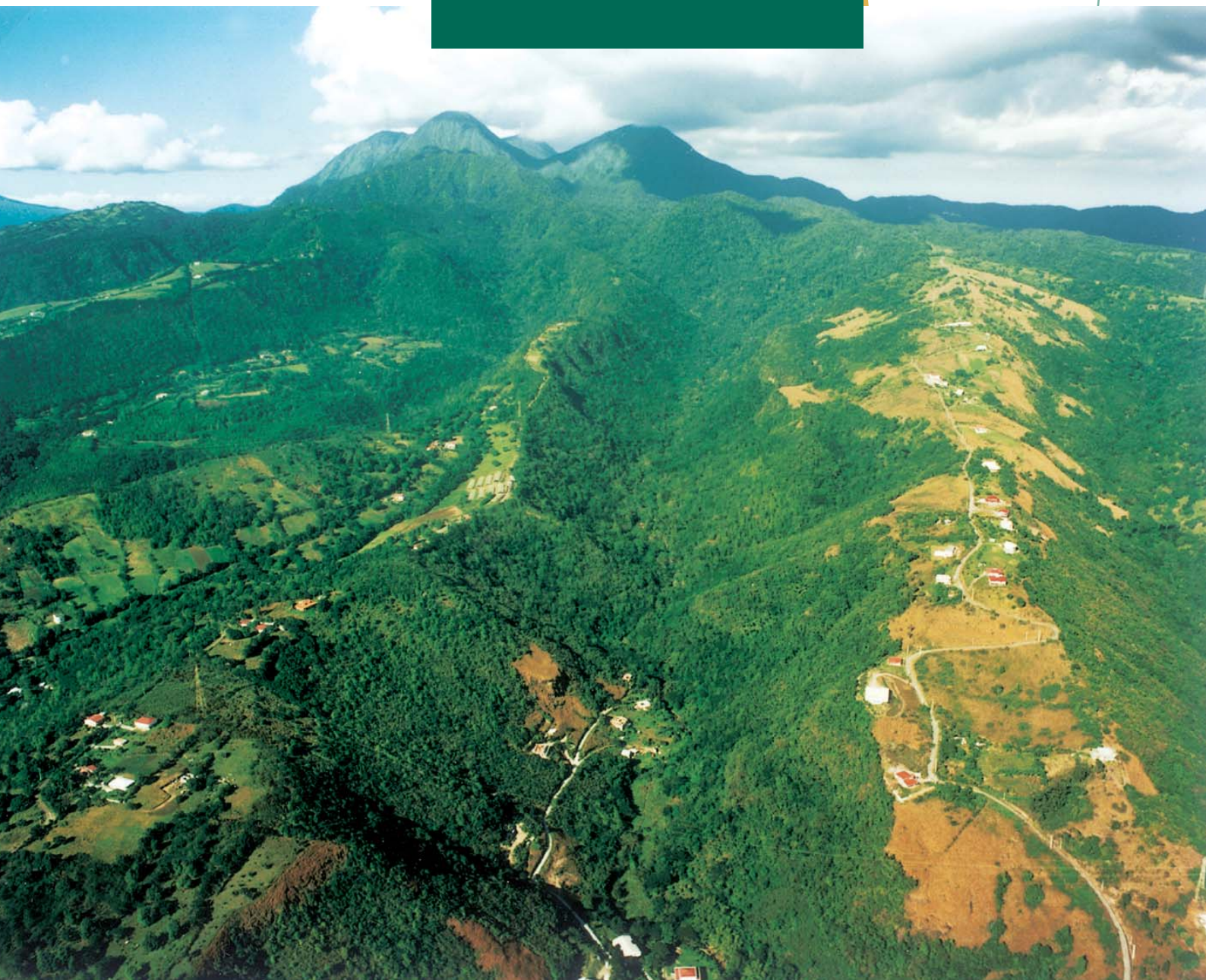
Pour conclure, la partition de niche par les plantes-hôtes est considérable entre les nématodes phytophages. Cependant d'autres facteurs pouvant promouvoir la coexistence et les équilibres entre espèces doivent être explorés. Des informations additionnelles sur la colonisation des espèces et la dynamique des populations dans le temps à l'échelle de la racine et de l'agro-écosystème augmenteraient notre compréhension des équilibres entre espèces de la communauté de nématodes phytophages.

Tableau 1 : Plantes-hôtes et abondance relative de six espèces de nématodes phytophages dans les agro-écosystèmes bananiers en Martinique.

		Abondance relative des espèces					
Famille	**Espèce**	**Meloidogyne spp**	**Helicotylenchus multicinctus**	**Radopholus similis**	**Pratylenchus coffeae**	**Rotylenchulus reniformis**	**Helicotylenchus multicinctus**
Amaranthaceae	*Amaranthus dubius*	0.40	0.43	0.04	0.01	0.12	
	Amaranthus spinosus		1.00				
Aracea	*Caladium bicolor*			1.00			
	Colocasia esculenta	0.92			0.06	0.02	
	Dieffenbachia seguine	0.66				0.32	0.02
	Xanthosoma violaceum	0.79	0.01			0.20	
Asteraceae	*Emilia fosbergii*					1.00	
	Mikamia micrantha	0.01				0.99	
	Vernonia cinerea	1.00					
Capparidaceae	*Cleome aculeata*	0.36			0.01	0.39	0.24
	Cleome rutidosperma	0.38	0.10	0.11		0.33	0.08
Commelinaceae	*Commelina diffusa*			0.13		0.84	0.03
Convolvulaceae	*Ipomea eriocarpa*					1.00	
	Ipomea tiliacea						
Cucurbitaceae	*Momordica charantia*	0.99	0.01				
Cyperaceae	*Cyperus esculentus*	0.96	0.04				
Euphorbiaceae	*Euphorbia cyathophora*			0.50		0.49	0.01
	Euphorbia heterophylla	0.05	0.72	0.11		0.12	
	Phyllantus amarus	0.03	0.93	0.02		0.02	
Fabaceae	*Centrosoma pubescens*						
Malvaceae	*Sida acuta*						
	Urena lobata	0.83	0.05		0.12		
Melastomataceae	*Clidemia hirta*	0.49		0.51			
Mimosaceae	*Mimosa pudica*	0.60			0.01	0.04	0.35
Moraceae	*Cecropia schreberiana*	0.01	0.19	0.01		0.79	
Musaceae	*Musa AAA Cavendish*	0.29	0.40	0.27		0.03	0.01
Myrtaceae	*Psidium guajava*	0.75	0.25				
Onagraceae	*Ludwigia abyssinica*			1.00			
Oxalidaceae	*Oxalis barrelieri*		0.67			0.33	
Passifloraceae	*Passiflora edulis*	0.03				0.94	0.03
Piperaceae	*Peperomia pellucida*	0.99		0.01			
Poaceae	*Digitaria horizontalis*		1.00				
	Echinochloa colona	0.12	0.16	0.45			0.27
	Eleusine indica	0.69	0.25	0.06			
	Eragrostis pilosa			0.03			0.97
	Leptochloa filiformis	0.83		0.04	0.06	0.07	
	Panicum maximum			1.00			
	Paspalum fasciculatum	0.23	0.03	0.48	0.20	0.06	
	Rottboellia cochinchinensis		0.28	0.25	0.29	0.18	
	Setaria barbata	0.24	0.39	0.25		0.04	0.08
	Sorghum halepense		0.34	0.20			0.46
Rubiaceae	*Spermacoce verticillata*						
Solanaceae	*Physalis angulat*		0.85	0.12	0.03		
Solanaceae	*Solanum americanum*	0.70	0.06	0.06		0.18	
	Solanum torvum	0.02	0.17	0.23		0.58	
Urticaceae	*Laportea aestuans*	0.80	0.11			0.09	
	Phenax sonneratii	0.10				0.65	
	Pilea microphylla	0.97					0.03

- B -

DES OUTILS POUR PRÉVOIR L'EFFET DES PRATIQUES



Rémi Asensio,
Sonia Minatchi,
Raphaël Achard,
Paula Fernandes

L'activité enzymatique, un indicateur simple et fiable pour prévoir l'impact des pratiques culturales sur la qualité des sols

L'intensification des zones cultivées est largement reconnue comme l'une des altérations anthropiques les plus significatives sur l'environnement et la qualité des sols (Garcia-Ruiz et al 2009). Cette qualité se définit non seulement par sa capacité productive mais aussi par ses services écosystémiques (Trasar-Cepeda et al 2008). Le sol, unité vivante, intègre des propriétés biochimiques et biologiques qui sont liées principalement aux activités microbiennes du sol. Ces populations de micro-organismes interviennent notamment dans la décomposition des matières organiques présentes ou ajoutées dans le sol. Les micro-organismes (bactéries et champignons) sont la principale source d'enzymes dans le sol. Ces enzymes sont les médiateurs et les catalyseurs de processus biochimiques importants dans le fonctionnement du sol tels que la minéralisation et le cycle des nutriments, la décomposition et la formation de la matière organique et la décomposition de xénobiotiques tels que les pesticides. Les enzymes sont sensibles aux changements de la qualité du sol dus à des gestions et des utilisations différentes des sols (Tejada et al. 2009, Acosta-Martinez et al. 2007, Balota et al. 2004). L'étude des activités enzymatiques est une nouvelle approche permettant de caractériser l'effet des systèmes de cultures sur le fonctionnement du sol. Par conséquent, l'étude des activités enzymatiques des sols participe à la définition de systèmes de culture plus respectueux des fonctions des sols en participant in fine à (i) l'estimation du potentiel biologique d'une unité pédoclimatique, (ii) la comparaison de l'activité biologique de différents systèmes de cultures sur une même unité pédologique, (iii) l'appréciation de l'impact des pratiques culturales sur la qualité du sol et (iv) l'anticipation des changements de la qualité du sol avant qu'ils ne puissent être détectés par d'autres analyses du sol.

L'évaluation des activités des enzymes du sol est une méthode plus simple et moins coûteuse que les analyses biochimiques classiques évaluant le fonctionnement biologique des sols (Acosta-Martinez et al 2007). Les résultats obtenus dans de nombreuses zones géographiques montrent que les mesures d'activité enzymatique sont bien corrélées aux autres propriétés du sol (Klose et al 1999). De plus, cette méthode est sensible aux changements dans la gestion et l'utilisation du sol (Acosta-Martinez et al 2007). Des études précédentes avec des sols de régions diverses ont montré que les activités enzymatiques sont sensibles à des pratiques culturales telles que le labour (Melero et al 2009, Jin et al 2009).

La majorité des recherches concernant les acti-

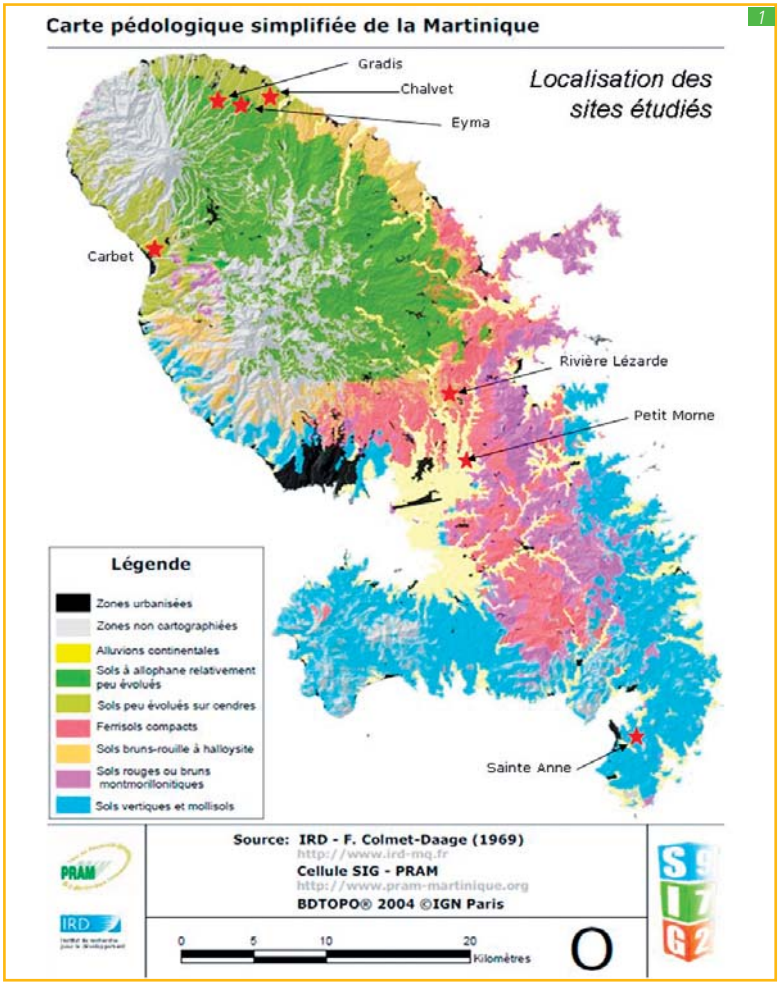


Figure 1 : Localisation géographique des sites étudiés au sein des différentes unités pédologiques de la Martinique.

Tableau 1 : Caractérisation pédologique des sites étudiés.

Nom du site	Type de sol
Carbet	Sol peu évolué sur cendre
Chalvet	Sol peu évolué sur cendre
Eyma	Sol à allophane peu évolué
Gradis	Sol à allophane peu évolué
Petit Morne	Sol alluvionnaire argileux
Rivière Lézarde	Sol brun rouille à halloysite
Sainte Anne	Sol vertique

vités enzymatiques se sont concentrées jusqu'à présent sur les régions tempérées. Il y a peu de données relatives au milieu tropical (Acosta-Martinez et al 2007). Cette étude vise à enrichir les connaissances sur le sujet en milieu tropical et à établir un référentiel pour cet indicateur de la qualité des sols.

La Martinique présente une typologie diversifiée des sols associés à des microclimats spécifiques. Dans le cadre de cette étude, 7 sites ont été sélectionnés afin d'assurer une étude représentative des principaux types de sols cultivés de la Martinique **(tableau 1 et figure 1).** Pour chaque site, des échantillons de sols ont été prélevés dans différentes parcelles correspondant à des systèmes de cultures variés et représentatifs des cultures rencontrés en Martinique. Nous avons mesuré pour chaque échantillon leurs propriétés physico-chimiques (pH, Capacité d'Echanges Cationiques, carbone et azote total) et biologiques (mesure des activités enzymatiques ßglucosidase (ß-glucosidase), arylsulfatase (Aryl), chitinase (Chit) et fluorescéine di acétate (FDA).

S'il existe de nombreuses enzymes dans les sols, toutes représentatives d'un ou plusieurs des multiples processus biologiques qui se déroulent dans les sols, les dosages d'enzymes que nous avons sélectionnés et adaptés sur nos sols au sein du Laboratoire de Biologie des Sols du PRAM représentent les fonctions ci-dessous :

- *La ßglucosidase* (Bglu) est impliquée dans l'étape finale de la dégradation de la cellulose pour fournir d'importantes sources d'énergies glucidiques aux micro-organismes du sol. La littérature indique que cette enzyme met en évidence les apports de matière organique dans le sol et les effets de la gestion du sol (brûlis, fertilisation, labour).
- *L'arylsulfatase* (Aryl) est utilisée pour étudier la minéralisation du soufre organique dans les sols mais cette enzyme semblerait aussi représenter un sous-groupe de champignons antagonistes des pathogènes telluriques et pourrait de fait être un indicateur de suppressivité. Il est également mentionné que l'activité de cette enzyme est sensible à la rotation culturale, au labour et à la gestion des résidus de cultures.
- *La chitinase* (Chit) concerne la dégradation de la chitine dans les sols, un sous-produit de la décomposition des arthropodes et des champignons en glucides et en azote non organiques. L'activité de cette enzyme correspond aussi à l'une des principales sources d'azote minéralisable.

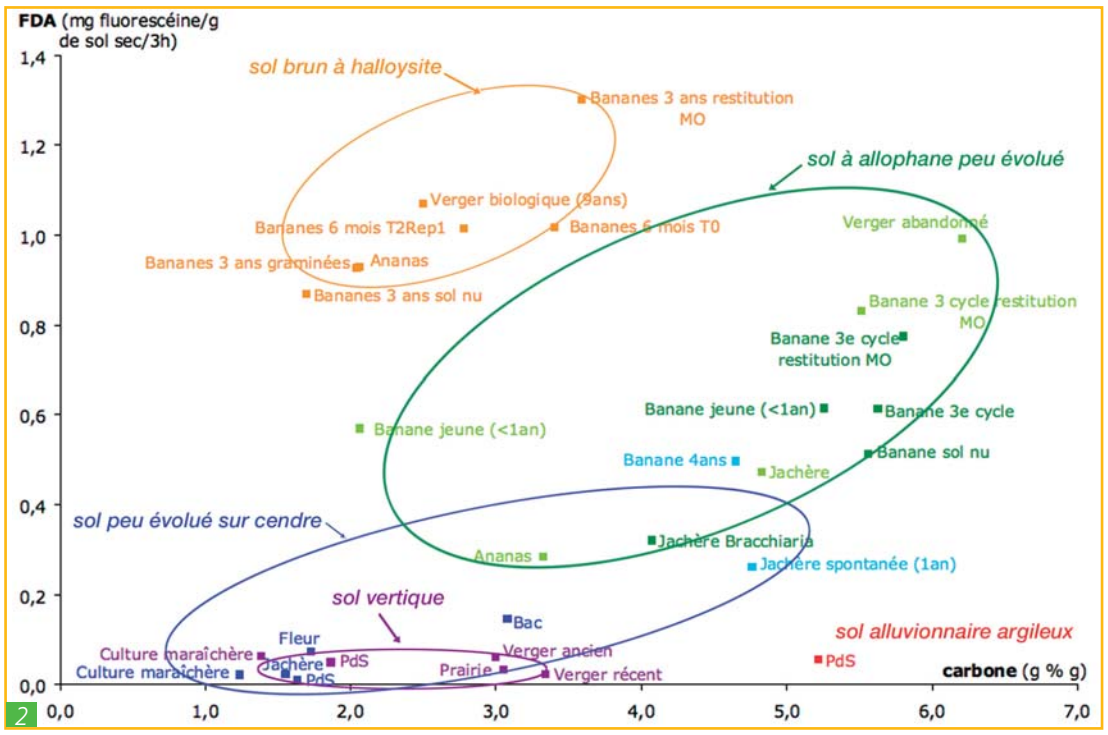


Figure 2 : Croisement des résultats de l'activité de la FDA avec le carbone total - campagne exploratrice des sols en Martinique

- *L'hydrolyse de la fluorescéine di acétate* (FDA) est un bon estimateur de l'activité microbienne totale car elle est réalisée par de multiples enzymes produites par les champignons comme les bactéries. C'est un indicateur généraliste du fonctionnement biologique du sol. L'ajout de compost et de fertilisant non organique notamment stimulent l'activité de la FDA.

Afin de comparer les différentes activités nous avons utilisé le test statistique Kruskal-Wallis (confiance fixée à 5%).

Les activités enzymatiques permettent de distinguer les unités pédologiques et leurs usages

• *Comparaison des niveaux d'activité enzymatique en fonction des sites étudiés : cas de la FDA*

Les mesures de l'hydrolyse de la FDA permettent de distinguer significativement les 5 différentes unités pédologiques étudiées **(Figure 2)**. Les différences supposées entre chaque type de sol ont été confirmées statistiquement (P = 0,028). Ce résultat confirme les informations décrites par la littérature qui montrent une variation dans l'expression des activités enzymatiques en fonction de la nature du sol (Acosta-Martinez et al 2007). Cette distinction révèle un potentiel d'activité biologique qui est différent selon le statut pédoclimatique des sites considérés. Nous avons obtenu des réponses identiques avec les autres enzymes ßglucosidase, chitinase et arylsulfatase. En effet, chacune de ces enzymes permet de définir un potentiel biologique distinct et associé à une zone pédoclimatique.

• *Comparaison des niveaux d'activité enzymatique en fonction des systèmes de cultures*

Afin de tester la sensibilité de la mesure des activités enzymatiques au type de systèmes de cultures, nous avons effectué des mesures sur deux sites homogènes au niveau pédologique mais présentant une large gamme de systèmes de culture. Le site de Rivière Lézarde est une station expérimentale du CIRAD. Installé sur un sol brun-rouille à halloysite, un ensemble de cultures expérimentales comportant différentes modalités de mise en place et de gestion nous a permis d'effectuer un large échantillonnage. Le site de Gradis correspond à une exploitation agricole dont la principale culture est la banane sur sol à allophane peu évolué. Nous avons sélectionné ce site car il intègre des systèmes de cultures diversifiés : banane, ananas, jachère et verger abandonné.

La **figure 3** présente la variation de l'expression de la ßglucosidase sur la station de Rivière Lézarde selon chaque système de culture. Nous avons étudié sept types de systèmes de culture : un verger biologique comprenant une plante de couverture (*Arachis pitoï* cv. amarillo) installé depuis neuf ans ; une jeune parcelle d'ananas (moins d'un an) ; une bananeraie de trois ans

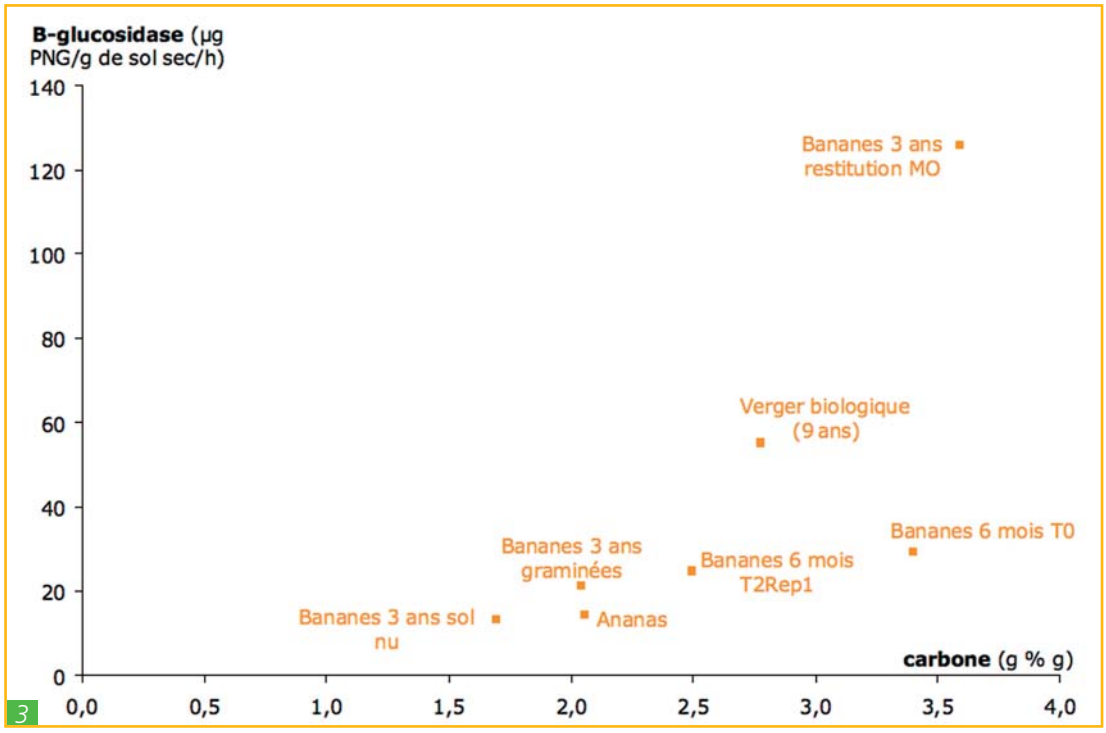


Figure 3 : Croisement des résultats de l'activité de la ßglucosidase avec le carbone total - cas Rivière Lézarde

comportant trois différentes modalités d'entretien de la couverture du sol (sol nu, couvert végétal à base de graminées et paillage avec les résidus de culture) ; une jeune bananeraie de six mois présentant deux modalités de fertilisation (fertilisation, impasse).
Les différences observées entre les sept systèmes de cultures sont significatives (P = 0,003). Le système de culture «Bananes 3 ans restitution MO» correspond au plus haut niveau d'activité de la ßglucosidase observé à Rivière Lézarde. Ce haut niveau résulte de la relative ancienneté de la dernière perturbation du sol et aussi d'apports réguliers en matière organique via les importants volumes des résidus de culture. Pour le «verger biologique 9 ans», malgré une certaine ancienneté de la dernière perturbation du sol, les apports en matière organique de la plante de couverture sont relativement faibles, ce qui conduit une activité ßglucosidase inférieure à «Bananes 3 ans restitution MO». Lorsque nous considérons le couple « Bananes 3 ans sol nu » et «Bananes 3 ans graminées», il s'agit des systèmes de culture avec lesquels l'activité de la ßglucosidase est la plus faible. Bien que la dernière perturbation sur ces parcelles «banane» soit d'au moins 3 ans, les apports en matière organique sont très faibles et ne permettent pas une activité enzymatique importante. La parcelle « Ananas » présente aussi une activité ßglucosidase faible. Cette jeune parcelle a subi un travail du sol récent qui a fortement perturbé l'activité biologique du sol. Le couple «Bananes 6 mois T0» et «Bananes 6 mois T2rep1» présente aussi une activité ßglucosidase relativement faible car le travail du sol de ces parcelle est récent. Pour autant, le niveau en carbone est plus élevé que pour les systèmes «Bananes 3 ans sol nu», «Bananes 3 ans graminées» et «Ananas» car les parcelles «Bananes 6 mois T0» et «Bananes 6 mois T2 rep1» ont été installées sur un précédent jachère.

La **figure 4** présente la variation de l'expression de l'Arylsulfatase sur la station Gradis selon chaque système de culture. Une bananeraie au 3e cycle avec restitution des résidus de culture, une très jeune bananeraie avec apport de fumier, une culture d'ananas, une jachère à faible productivité et un verger abandonné (dont le fonctionnement est proche d'une pseudo-forêt) sont les systèmes de cultures étudiés sur ce site. Les différences observées entre chaque système de culture sont significatives (P ≤ 0,0001). Le plus haut niveau d'activité observé correspond à «verger abandonné». Cette parcelle, devenue une «pseudo-forêt» n'a pas subi de perturbation du sol depuis au moins 10 ans et les apports en matière organique sont réguliers et importants (création d'une litière forestière) ; ce qui explique l'importance de l'activité Aryl et du taux de carbone. «Banane jeune (<1an)» est une parcelle dont la dernière perturbation du sol est très récente. Malgré des apports en fumier ob-

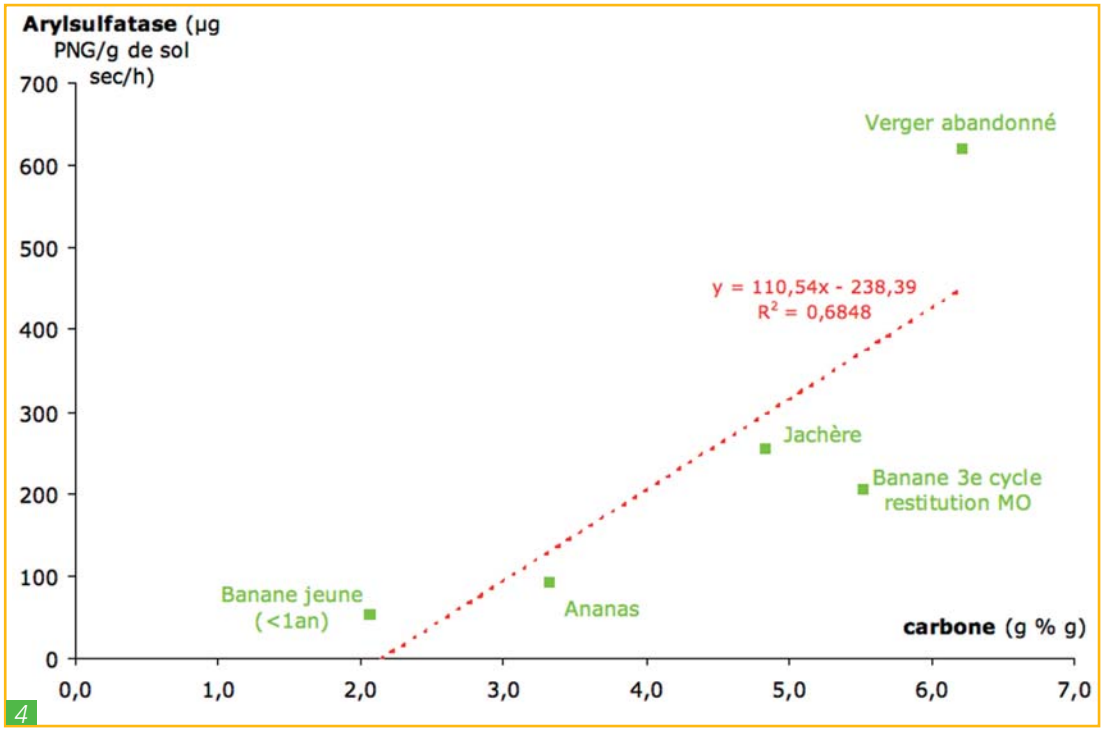


Figure 4 : Croisement des résultats de l'activité de l'arylsulfatase avec le carbone total - cas Gradis

servés au pied des bananiers, le fonctionnement biologique du sol a été déstabilisé, l'activité Aryl est la plus faible de toutes celles observée sur le site de Gradis. La parcelle «Ananas» présente une activité Aryl faible car il s'agit d'une parcelle dont le travail du sol est récent. Le couple «Jachère» et «Banane 3e cycle restitution MO» présente des activités Aryl plus élevées que les deux systèmes de cultures précédemment décrits car les perturbations sont plus anciennes.

Conclusion

Cette étude des activités enzymatiques révèle que la mesure de ces indicateurs biologiques du sol est un outil pertinent pour caractériser le potentiel biologique de différentes unités pédoclimatiques. L'arylsulfatase, la ßglucosidase, la chitinase et la fluorescéine diacétate ont permis de distinguer clairement des niveaux d'activités associés à chaque unité pédoclimatique. Ces résultats constituent un premier référentiel des potentiels biologiques des sols cultivés en Martinique.

Pour une unité pédoclimatique en particulier, la mesure des activités enzymatiques est pertinente pour discriminer différents systèmes de cultures. L'impact des pratiques agricoles sur un site donné peut ainsi être apprécié et caractérisé à l'appui de la connaissance de l'historique des pratiques agricoles exécutées. Les cas présentés ont mis en évidence l'impact du travail du sol sur l'activité biologique. Le temps écoulé après ce type de perturbation joue un rôle important dans le retour d'une activité biologique satisfaisante. De plus, la fréquence et la quantité des entrées de matière organique contribuent à l'évolution des niveaux d'activités enzymatiques observés.

Dans le cadre de la caractérisation et de l'optimisation des systèmes de cultures, en vue d'une durabilité des pratiques agricoles, la mesure des activités enzymatiques est donc un indicateur à prendre en compte. Cet indicateur complète les paramètres physico-chimiques couramment utilisés pour les conseils en matière de gestion des cultures. Aujourd'hui, la sensibilité de cet indicateur en relation avec sa précocité pour détecter les évolutions reste à être mieux évaluée afin de valider toutes les fonctions de cet indicateur de la biologie du sol.

Philippe Tixier, Frédéric Salmon, Jean-Michel Risède, Christian Chabrier, Christiane Bastol, Serge Marie-Luce, Jules Hubervic, Patrick Quénéhervé

Prévoir la dynamique des populations des nématodes phytoparasites : apports de la modélisation

Comprendre la dynamique des populations des bioagresseurs des cultures est nécessaire à la mise en place de leur gestion. A l'échelle de la parcelle, la dynamique des populations de bioagresseurs comprend généralement i) une phase de constitution d'inoculum primaire, d'origine endogène ou exogène à la parcelle qu'il convient de retarder au maximum, puis ii) une phase de croissance des populations en interaction avec différents facteurs biotiques et abiotiques, et enfin iii) une phase d'équilibre des populations durant laquelle les phénomènes de compétitions intra et interspécifiques jouent un rôle majeur.
Les pratiques culturales influent sur les différentes phases de la dynamique des populations de bioagresseurs. Les jachères, les rotations culturales, la sélection du matériel de plantation ou l'isolement des parcelles sont des pratiques de prophylaxie primaire, c'est-à-dire visant à empêcher ou à retarder la contamination des parcelles et à en diminuer l'inoculum primaire. Ensuite en cours de culture, la gestion des plantes hôtes présentes sur la parcelle, la création de conditions néfastes pour les bioagresseurs ou l'application de biopesticides sont des pratiques de prophylaxie secondaire, c'est-à-dire visant à diminuer les populations de bioagresseurs déjà présents dans les parcelles.

Les outils de modélisation permettent d'appréhender les différentes phases de cette dynamique des populations et de prévoir leur évolution en fonction des conditions de milieu et des pratiques culturales appliquées. Pour pouvoir reproduire et prédire ces dynamiques, les modèles de simulation se basent sur des équations correspondant aux mécanismes de croissance des populations, d'utilisation des ressources, de compétition intra et interspécifiques, et d'effets de l'environnement et des pratiques sur ces mécanismes. Ces modèles de simulation utilisent des données mesurées en conditions contrôlées ou en milieu réel afin de paramétrer ces équations. Ils sont généralement validés sur de nombreuses données afin de vérifier leurs capacités prédictives.
Dans le cas des systèmes de culture à base de bananiers, les nématodes phytoparasites sont des bioagresseurs qui provoquent des dégâts importants au niveau du système racinaire en détournant des nutriments, en détruisant des cellules des racines, ce qui peut entraîner une chute des bananiers par déficit d'ancrage. Plusieurs espèces de nématodes phytoparasites sont susceptibles de parasiter les bananiers, avec différents niveaux de pathogénie et avec différents niveaux de spécificité pour leur hôte. Les nématodes phytoparasites ont des dynamiques des populations qui s'expliquent par l'importance de l'inoculum primaire des parcelles, par la ressource disponible en racines de la plante hôte et des autres plantes sensibles dans le système de culture, par l'incidence des facteurs de sol et de climat, et par les effets des pratiques culturales.
Les modèles de simulation nous aident à mieux comprendre comment les pratiques culturales agissent sur l'évolution des populations de nématodes phytoparasites. Ils nous permettent de prédire si ces pratiques pourront agir sur l'abondance des nématodes phytoparasites les plus dommageables pour les bananiers, et sur la dynamique de leur population. Enfin, les modèles de simulation nous permettent d'évaluer comment les équilibres entre espèces s'installent sur le long terme, et quel cortège d'espèces de nématodes phytoparasites est susceptible de s'établir quand de nouvelles pratiques culturales sont utilisées, comme par exemple l'utilisation de nouvelles variétés de bananiers.

La dynamique des nématodes dans les rotations culturales Canne à sucre - Bananier

Les rotations culturales des bananiers avec d'autres cultures comme la canne à sucre ou l'ananas ainsi qu'avec des jachères entretenues ont permis, couplées à l'utilisation de matériel de plantation sain (vitroplants) de réduire considérablement les quantités de nématicides utilisés aux Antilles françaises. Ce concept de plantation de matériel sain sur un sol assaini s'est montré particulièrement efficace pour lutter contre l'espèce *Radopholus similis*. Cependant, les rotations culturales peuvent défavoriser une espèce de nématodes phytoparasites, au profit d'une autre. Ainsi, dans certains cas de rotations du bananier avec la canne à sucre, l'espèce *Pratylenchus coffeae* peut être présente au moment de la replantation des bananiers. Nous avons utilisé le modèle de simulation SIMBA-NEM [1] afin de mieux comprendre comment les équilibres entre *R. similis* et *P. coffeae* s'établissent et

savoir quelle espèce de nématode domine sur le long terme.

La **figure 1** présente des mesures d'abondance des populations de *R. similis* et de *P. coffeae* dans une parcelle de bananiers après trois années de rotation avec de la canne à sucre, et les simulations correspondantes réalisées avec le modèle SIMBA-NEM. Cet exemple nous montre que le modèle est capable de prédire avec une assez bonne précision les dynamiques de ces deux espèces de nématodes phytoparasites. Des simulations, réalisées sur le long terme, nous montrent que, malgré un inoculum initial très bas, l'espèce *R. similis* arrive à dominer après plusieurs années de culture de bananiers, ce qui montre qu'elle est un excellent compétiteur. Cependant, l'espèce *P. coffeae* a une dynamique de croissance relativement importante lorsque *R. similis* est pratiquement absent. Cela suggère qu'en l'absence totale de *R. similis, P. coffeae* pourrait devenir l'espèce dominante et pourrait entraîner des dégâts, même si cette espèce est moins néfaste que *R. similis* sur les bananiers du sous-groupe Cavendish. Une telle tendance est également observée dans d'autres parties du monde [2].

Prédire les équilibres des populations de nématodes pour de nouvelles variétés de bananiers

L'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes aux bioagresseurs représente une des voies privilégiées pour diminuer l'utilisation des pesticides. Dans le cas des bananiers, le CIRAD développe un programme de sélection de nouvelles variétés issues de croisements conventionnels entre variétés sauvages [3]. Ces variétés de bananiers ont des niveaux de tolérance aux différentes espèces de nématodes phytoparasites très variées. Les dommages dus aux nématodes phytoparasites sont cumulatifs et s'expriment souvent plus clairement après plusieurs cycles de culture. Prévoir si une nouvelle variété de bananier va héberger puis multiplier une communauté de nématodes phytoparasites pouvant engendrer des dégâts d'importance commerciale peut nécessiter des expérimentations sur le long terme. Ici, nous avons utilisé le modèle SIMBA-NEM afin d'extrapoler les dynamiques de nématodes phytoparasites sur une nouvelle variété à partir de mesures réalisées sur les phases précoces de test de cette nouvelles variété (6 à 9 mois). La variété étudiée ici est la FB920. Nous avons montré par simulation, que quel que soit l'inoculum initial en nématodes, l'espèce H*elicotylenchus multicintus* devrait dominer *R. similis* sur le long terme pour cette nouvelle variété **(Figure 2)**. Compte tenu du niveau moins élevé de pathogénie de *H. multicinctus* comparé à *R. similis*, la variété de bananier FB920 ne devrait pas subir des dégâts aussi importants que ceux que provoquent les nématodes phytoparasites sur bananiers Cavendish.

Conclusion

Les outils de simulation permettent de généraliser certains résultats et de prédire l'évolution de systèmes complexes. Dans le cas de la simulation de la dynamique des populations des nématodes phytoparasites des bananiers, les approches réalisées ont permis de formaliser les savoirs existants des nématologistes et d'obtenir des outils prédictifs permettant de raisonner les pratiques culturales et de contribuer à la sélection de nouvelles variétés. Les recherches en

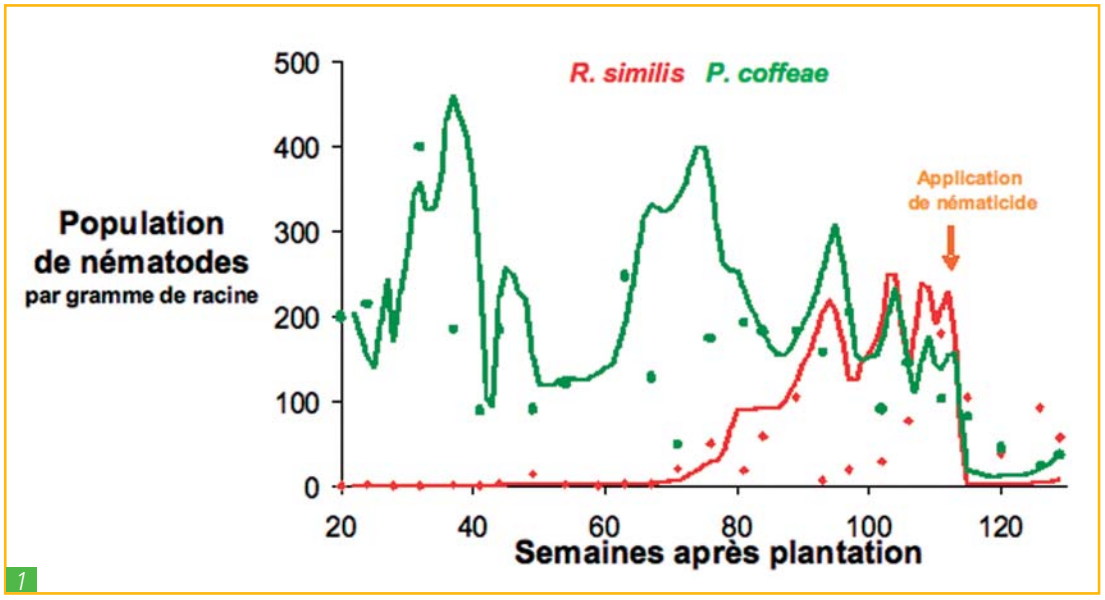
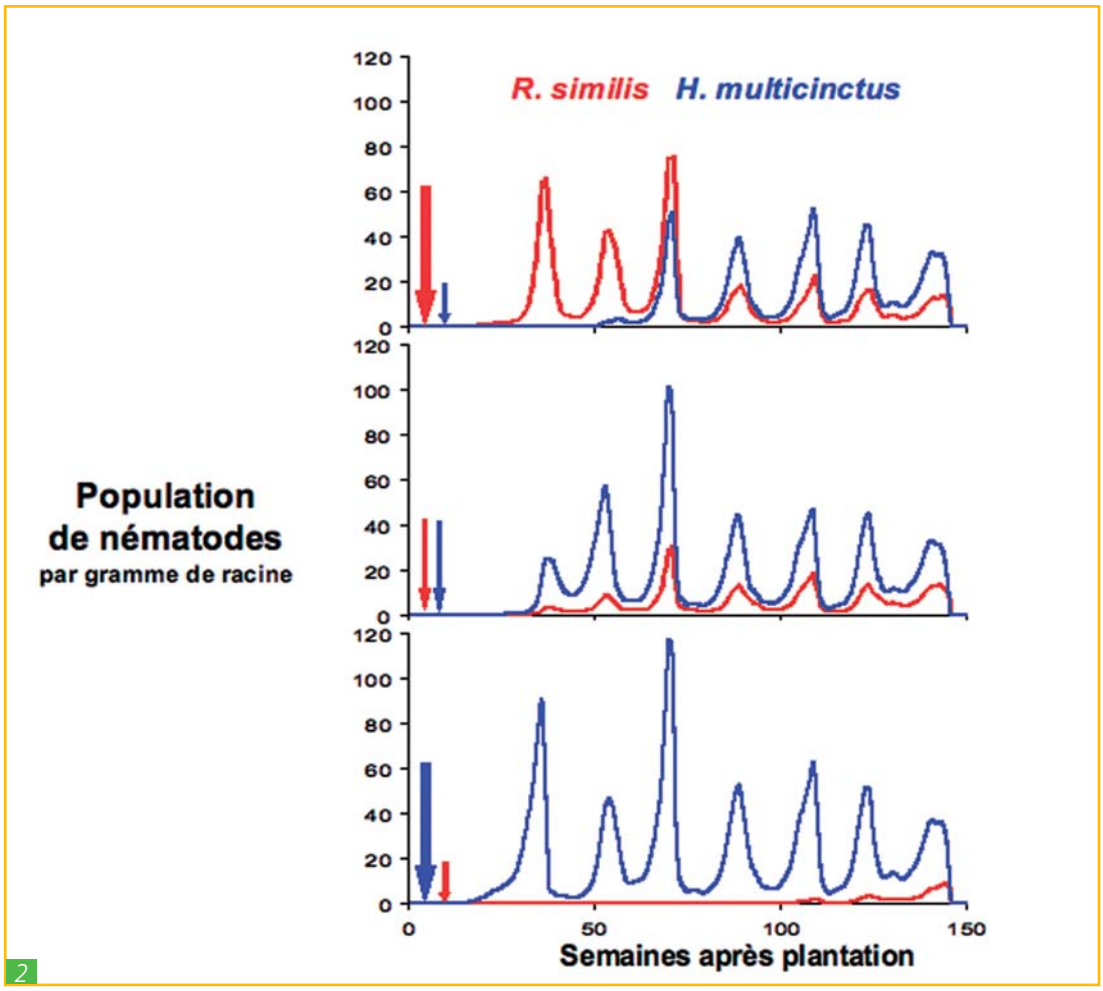


Figure 1. Mesures (points) et simulation (lignes continues) avec le modèle SIMBA-NEM des populations des nématodes Radopholus similis et Pratylenchus coffeae dans une bananeraie après canne à sucre.

Figure 2. Simulation avec le modèle SIMBA-NEM des populations des nématodes Radopholus similis et Helycotylenchus multicintus dans une bananeraie intégrant la variété de bananier Flhorban 920. La taille des flèches correspond à la taille de l'inoculum initial de R. similis (en rouge) et P. coffeae (en bleu).



cours visent à comprendre comment les communautés de nématodes phytophages, détritivores et prédateurs s'organisent. Cette composante multitrophique devra également être prise en compte dans les outils de modélisation pour optimiser ces régulations biologiques. A terme, ces recherches peuvent permettre la mise au point de méthodes de contrôle biologique des nématodes phytoparasites.

cirad
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT
INRA
Plan chlordécone
Remédiation
à la pollution par la chlordécone
aux Antilles
Martinique, du 17 au 19 mai 2010
Guadeloupe, du 20 au 22 mai 2010
brgm
Cemagref
IRD
Institut de recherche pour le développement
Université

BRÈVES

Quelques faits marquants en images

Années 2008 à 2010

4 décembre 2008	Tenue du Comité d'évaluation scientifique du PRAM en présence de MM. GIVONE (Cemagref), HABIB (Cirad), NICOLE (IRD), OZIER-LAFONTAINE (INRA) VIRASSAMY (UAG).
19 juin 2009	Visite du Secrétaire Général de la Préfecture pour les Affaires Régionales de Martinique, M. TUBULE.
20 août 2009	Décès de M. GOGUEY-MUETHON, Directeur régional du Cirad et Président du PRAM de 2005 à 2007.
23 septembre 2009	Mission du Directeur Général du Cirad, M. MATHERON.
5 octobre 2009	Séminaire de lancement du projet INTERREG DEVAG (Réseau caribéen pour le développement de systèmes horticoles agroécologiques) à Cuba.
14 octobre 2009	Animation scientifique sur la thématique « Chlordécone ».
25 novembre 2009	Visite de MM. DUCHAUFOUR et CARVIL, respectivement Conseiller technique en ingénierie de la formation et vice-doyen à la recherche à la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (AMV) de Port-au-Prince (Haïti).
14 décembre 2009	Restitution des résultats de recherche sur les plantes de service aux professionnels.
17 mai 2010	Lancement Atelier « Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles ».
2 juillet 2010	Visite de M. Hervé MORIN, Ministre de la Défense.
20 juillet 2010	Visite de M. Gérard LARCHER, Président du Sénat.

Séminaire lancement DEVAG

Lancement Atelier Remédiation la pollution pour la chlordécone aux Antilles"

Restitution résultats recherches

Tenue du Conseil d'orientation du PRAM

Visite de M. Hervé Morin, Ministre de la Défense

Visite de M. Gérard Larcher, Président du Sénat.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Avant-propos

[1] Cardinale B.J., Palmer M.A. and Collins, S.L., 2002. Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. Nature, 415:426-429.

[2] Rosset P.M. and Altieri M.A., 1997. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. Society and Natural Resources, 10:283-295.

(3] Weiner J., 2003. Ecology - The science of agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Science, 141:371-377.

Chapitre 1

•

Evaluation multicritère de plantes de couverture pour une utilisation dans les vergers et bananeraies de Martinique

[1]Marnotte P., Chabrier C., Achard R., Horellou A. 1998. Méthode d'étude en plein champ de l'efficacité pratique des herbicides destinés à lutter contre les adventices des bananiers. Méthode n° 195. ANPP, Paris, France, 19 pp.

Chapitre 2

•

La dispersion des insectes, un paramètre important pour le contrôle des ravageurs

[1] Cabanillas H.E., Raulston J.R., 1996. Evaluation of Steinernema riobravis, S-carpocapsae, and irrigation timing for the control of corn earworm, Helicoverpa zea. Journal Of Nematology 28: 75-82.

[2] Delattre P., 1980. Recherche d'une méthode d'estimation des populations du charançon du bananier, Cosmopolites sordidus Germar (Col., Curculionidae). Acta Oecologica : Oecologica Applicata 1: 83-92

[3] Fitt G.P., 1989. The Ecology of Heliothis Species in Relation to Agroecosystems. Annual Review of Entomology 34: 17-53.

[4] Koppenhofer A.M., 1993. Observations on egg-laying behaviour of the banana weevil, Cosmopolites sordidus (Germar). Entomologia Experimentalis et Applicata 68: 187-192.

[5] Landis D.A., Wratten S.D., Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annual Review of Entomology, 45: 175-201

[6] Moznette G.F., 1920. Banana root-borer. J Agric Res 19: 39.

[7] Rhino,B., Dorel M., Tixier P., Risede J.M., 2010. Effect of fallows on population dynamics of Cosmopolites sordidus: toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. Agricultural and Forest Entomology, 12, 195 – 202

[8] Smith H.A., McSorley R., 2000. Intercropping and Pest Management: A Review of Major Concepts. American Entomologist 46: 154-161.

[9] Vilardebo A., 1973. Le coefficient d'infestation, critère d'évaluation du degré d'attaques des bananeraies par Cosmopolites sordidus Germ. le charançon noir du bananier. Fruits 28: 417-426

[10] Wackers FL, Romeis J, van Rijn P., 2007. Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. Annual review of entomology 52: 301-323.

Chapitre 3

•

Niche écologique des nématodes phytophages dans les agro-écosystèmes bananiers

[1] Bongers, T., Ferris, H., 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. Trends in Ecology & Evolution 14, 224-228.

[2] Brinkman, E.P., Duyts, H., van der Putten, W.H., 2008. Interactions between root-feeding nematodes depend on plant species identity. Soil Biology & Biochemistry 40, 2186-2193.

[3] Cadet, P., Pate, E., Thioulouse, J., 2003. Relationship of nematode communities to human demographics and environment in agricultural fields and fallow lands in Senegal. Journal of Tropical Ecology 19, 279-290.

[4] Chessel, D., Dufour, A.-B., Thioulouse., J., 2004. The ade4 package -I- One-table methods. R News 4, 5-10.

[5] Cofcewicz, E.T., Carneiro, R., Randig, O., Chabrier, C., Quénéhervé, P., 2005. Diversity of Meloidogyne spp. on Musa in Martinique, Guadeloupe, and French Guiana. Journal of Nematology 37, 313-322.

[6] De Waele, D., Elsen, A., 2007. Challenges in tropical plant nematology. Annual Review of Phytopathology 45, 457-485.

[7] Ferris, H., Matute, M.M., 2003. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. Applied Soil Ecology 23, 93-110.

[8] Fournet, J., 1978. Flore illustrée des phanérogames de Guadeloupe et de la Martinique. INRA Edition, Paris.

[9] Fournet, J., Hammerton, J., 1991. Mauvaises herbes des Petites Antilles. INRA Edition, Paris.

[10] Gaur, H.S., Perry, R.N., 1991. The biology and control of the plant parasitic nematode Rotylenchulus reniformis. Agricultural Zoology Reviews 4, 177-212.

[11] Gowen, S., Quénéhervé, P., Fogain, R., 2005. Nematode parasites of bananas and plantains, in: Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (Eds.), Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture, 2nd ed. CAB International, Wallingford, UK, pp. 611-643.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[12] Jones, D.R., 2000. Disease of Banana, Abaca and Enset. CAB International, Wallingford, U.K.

[13] Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J., 2005. Plant parasitic nematodes in sub-tropical and tropical agriculture, 2nd ed. CAB International, Wallingford, U.K.

[14] Norton, D.C., 1989. Abiotic soil factors and plant-parasitic nematode communities. Journal of Nematology 21, 299-307.

[15] Quénéhervé, P., Chabrier, C., Auwerkerken, A., Topart, P., Martiny, B., Marie-Luce, S., 2006. Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. Crop Protection 25, 860-867.

[16] Seinhorst, J., 1950. De betekenis van de toestand van de grond voor het optreden van aanstasting door het stengelaattje (Ditylenchus dipsaci (Kühn) Filipjev). Tijdschr. Plziekt 5, 291-349.

[17] ter Braak, C.J.F., 1988. Partial canonical correspondence analysis, in: Bock, H.H. (Ed.), Classification and Related Methods of Data Analysis. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 551-558.

[18] Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418, 671-677.

[19 Tylianakis, J.M., Rand, T.A., Kahmen, A., Klein, A.-M., Buchmann, N., Perner, J., rg, Tscharntke, T., 2008. Resource Heterogeneity Moderates the Biodiversity-Function Relationship in Real World Ecosystems. Plos Biology 6, e122.

[20] Yeates, G.W., 1999. Effects of plants on nematode community structure. Annual Review of Phytopathology 37, 127-149.

Chapitre 4

L'activité enzymatique, un indicateur simple et fiable pour prévoir l'impact des pratiques culturales sur la qualité des sols

[1] Acosta-Martinez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramirez, D., Perez-Alegria, L., 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. Appl. Soil Ecol., vol. 35, pp35-45

[2] Balota, E.L., Kanashiro, M., Colozzi-Filho, A., Andrade, D.S., Dick, R.P., 2004. Soil enzyme activites under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. Brazilian Journal of Microbiology, 35, pp300-306

[3] Bandick A, Dick, R.P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biology & Biochemistry, 31, pp1471-1479

[4] Garcia-Ruiz, R., Ochoa, V., Belén Hinojosa, M., Carreira, J.A., 2008. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. Soil Biology & Biochemistry, vol.40, pp2137-2145

[5] Garcia-Ruiz, R., Ochoa, V., Vinegla, B., Hinojosa, M.B., Pena-Santiago, R., Liebanas, G., Linares, J.C., Carreira, J.A., 2009. Soil enzymes, nematode community, and selected physico-properties as soil quality indicators in organic and convencional olive oil farming: Influence of seasonality and site features. Applied Soil Ecology, vol.41, pp305-314

[6] Jin, K., Sleutel, S., Buchan, D., De Neve, S., Cai, D.X., Gabriels, D., Jin, J.Y., 2009. Chnages of soil enzyme activities under different tillage practices in the Chinese Loess Plateau. Soil & Tillage Research, vol. 104, pp115-120

[7] Klose, S., Moore, J.M., Tabatabai, M.A., 1999. Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils affected by cropping systems. Biology and Fertility of Soils, vol. 29, pp46-54

[8] Melero, S., Lopez-Garrido, R., Murillo, J.M., Moreno, F., 2009. Conservation tillage: short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. Soil & Tillage Research, vol.104, pp292-298

[9] Tejada, M., Hernandez, M.T., Garcia, C., 2009. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. Soil & Tillage Research, vol. 102, pp109–117

[10] Trasar-Cepada, C., Leiros, S., Gil-Sotres, F., 2008. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. Soil Biology & Biochemistry, vol. 40, pp2146-2155

Chapitre 5

Prévoir la dynamique des populations des nématodes phytoparasites : apports de la modélisation

[1] Tixier P, Risède JM, Dorel M, Malézieux E (2006) Modelling population dynamics of banana plant-parasitic nematodes: A contribution to the design of sustainable cropping systems. Ecol. Model. 198: 321-331

[2] Coyne D (2009) Pre-empting plant-parasitic nematode losses on banana in Africa: Which species do we target? Acta Hortic. pp. 227-236

[3] Abadie C, Chilin-Charles Y, Huat J, Salmon F, Pignolet L, et al. (2009) New approaches to select cultivars of banana with durable resistance to Mycosphaerella leaf spot diseases. Acta Hortic. pp. 171-178.

[4] Quénéhervé P, Valette C, Topart P, Tezenas Du Montcel H, Salmon F (2009) Nematode resistance in bananas: Screening results on some wild and cultivated accessions of Musa spp. Euphytica 165: 123-136.

[5] Tixier P, Salmon F, Chabrier C, Quénéhervé P (2008) Modelling pest dynamics of new crop cultivars: The FB920 banana with the Helicotylenchus multicinctus-Radopholus similis nematode complex in Martinique. Crop Prot. 27: 1427-1431.

Site Internet
www.pram-martinique.org

LES CAHIERS DU PRAM N°8

Edité par le Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique (PRAM)

Directeur de la publication : Patrick QUÉNÉHERVÉ, Président du PRAM
Coordination : Philippe TIXIER (Cirad), Justine LORDINOT (IRD)
Comité de lecture : Christian CHABRIER (Cirad), François-Xavier DE LA FOYE (Cemagref), Marc MORELL (IRD), Patrick QUÉNÉHERVÉ

Photographies : PRAM
Conception, photogravure, impression : Berger Bellepage IMPRIM'VERT® 05 96 75 14 15
Tirage : 500 exemplaires - Septembre 2010
N° ISSN : 1638-3974

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

Institut de recherche pour l'ingéniérie
de l'agriculture et de l'environnement

cirad
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement

IRD
Institut de recherche
pour le développement

Institut de recherche pour le développement

Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique

PRAM

Pôle de **R**echerche **A**gro-**e**nvironnementale de la **M**artinique

Quartier Petit-Morne - BP 214 - 97285 Le Lamentin Cedex 2 - Tél. 05 96 96 42 30 00 - Fax 05 96 42 31 00

Site Internet : pram-martinique.org

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE
ET DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE

ministère
éducation
nationale
enseignement
supérieur
recherche

ministère délégué
à la recherche

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Berger Bellepage
IMPRIM'VERT®