n°11 • Mai 2012

Les Cahiers du PRAM

Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique

Recherches agro-environnementales :

Les nouveaux challenges

SOMMAIRE

- AVANT-PROPOS 4
- SIGLES ET ABRÉVIATIONS 5
- LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE 6
  E. ROSALIE, C. CHABRIER

1 AGROÉCOLOGIE DES SYSTÈMES MULTI ESPÈCES : VERS UN PÔLE D'EXCELLENCE SCIENTIFIQUE AUX ANTILLES POUR LE CONTRÔLE DES BIOAGRESSEURS ... 9
M. LESUEUR-JANNOYER, H. OZIER-LAFONTAINE

2 SUIVRE ET ÉVALUER LES POLITIQUES TERRITORIALES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE : EXEMPLE D'UNE MÉTHODE PAR INDICATEURS D'INTÉGRATION ET APPLICATION AU CONTRAT DE LA BAIE DE FORT-DE-FRANCE EN MARTINIQUE 14
N. ROCLE, J. DENIS

3 DES HYBRIDES DE BANANE ISSUS DE L'INNOVATION VARIÉTALE : QUELLES POSSIBILITÉS DE DIVERSIFICATION ? 23
C. BUGAUD, C. JOANNES DUMEC, M-O DARIBO, F. SALMON

4 DES PLANTES ASSAINISSANTES CANDIDATES POUR RÉDUIRE LE FLÉTRISSEMENT BACTÉRIEN DE LA TOMATE DANS LES CONDITIONS DE LA MARTINIQUE 27
P. FERNANDES, P. DEBERDT, M. CHAVE, SIRE-DIEDHIOU, S. MINATCHI, R. CORANSON-BEAUDU, E. GOZE

5 LES DÉFENSES NATURELLES DES PLANTES CONTRE LES BIOAGRESSEURS : UN NOUVEL ATOUT DANS LA MISE AU POINT DE SYSTÈMES DE CULTURES PLUS ÉCOLOGIQUES 31
A.SOLER, P-M. ALFONSINE, C. CORBION, S. MARIE-LUCE, P. QUÉNÉHERVÉ

6 EFFET DES PLANTES DE COUVERTURE SUR LA RÉGULATION DES RAVAGEURS : CAS DES NÉMATODES PHYTOPARASITES ET DU CHARANÇON DU BANANIER 37
G. MOLLOT, D. DJIGAL, P-F. DUYCK, R. ACHARD, J-C. GERTRUDE, S. MARIE-LUCE, C. MAURIOL, JULES HUBERVIC, P. QUÉNÉHERVÉ, P. TIXIER

7 SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA STRUCTURE DE SOLS VOLCANIQUES : APPLICATION AUX MÉCANISMES DE SÉQUESTRATION DE LA CHLORDÉCONE 41
T. WOIGNIER, J. PRIMERA

- QUELQUES FAITS MARQUANTS AU PRAM 45
- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 47

AVANT-PROPOS

Les nouveaux challenges :
Les équipes des trois établissements publics réunis au sein du Groupement d'Intérêt Scientifique PRAM (CIRAD, IRD, IRSTEA) partagent maintenant plus d'une douzaine d'années d'expérience et de fonctionnement en commun.

Depuis la création du GIS en 2007, le positionnement scientifique du PRAM a renforcé son évolution vers une approche agro-environnementale lui permettant d'anticiper les enjeux économiques, environnementaux et sociétaux de l'agriculture, tout en restant à l'écoute des partenaires et des professionnels. Le PRAM a ainsi accentué la mutualisation et le renforcement de ses équipes et de ses moyens autour d'un projet scientifique pertinent et partagé.

La période 2008-2012 a été mise à profit pour consolider l'émergence de ce Pôle d'excellence scientifique en agroécologie, par le renforcement de la cohérence des travaux conduits au PRAM selon les trois grandes thématiques de l'innovation variétale, de la conception de systèmes de culture innovants et de la gestion intégrée des territoires. Le nombre et la qualité des travaux dont vous trouverez quelques exemples dans ce numéro des Cahiers du PRAM traduisent bien la forte implication des chercheurs et l'intensité du travail accompli sur les axes prioritaires définis pour le PRAM afin d'en faire un instrument privilégié du développement régional tourné vers l'excellence scientifique.

Selon les termes de la convention, les problématiques scientifiques abordées par le PRAM doivent répondre à des enjeux scientifiques majeurs s'inscrivant dans les stratégies scientifiques des trois organismes et doivent trouver leur justification par la mise au point de méthodologies utiles au développement durable et à la protection de l'environnement des pays tropicaux comme des milieux insulaires tropicaux en général, et de la Martinique en particulier.

Le PRAM par son positionnement régional et sa spécificité thématique bien identifiée a définitivement un rôle à jouer pour accompagner ces nouveaux challenges. Le PRAM partage son savoir-faire non seulement à la Martinique mais aussi dans la région Caraïbe en partenariat avec les Universités, les autres instituts partenaires et est ouvert à l'accueil d'étudiants et de chercheurs.

Bonne lecture !

Le Lamentin, le 30 avril 2012
Patrick Quénéhervé
Président du GIS PRAM

Sigles et abréviations utilisés

- **CACEM** • Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique
- **CAT** • Catalase
- **CAWAI** • Caribbean netWork for Agroecology and Innovation
- **Cirad** • Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
- **CHLD** • Chlordécone
- **CNRS** • Centre National de Recherche Scientifique
- **DLCA** • Diffusion Limited Cluster-cluster Aggregation
- **DTP** • Distribution en taille des pores
- **GIML** • Gestion Intégrée de la Mer et du Littoral
- **HR** • Hypersensibilité
- **INRA** • Institut National de la Recherche Agronomique
- **IRD** • Institut de Recherche pour le Développement
- **Irstea** • Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
- **LOX** • Lipoxygénase
- **PAL** • Phénylalanine ammonia-lyase
- **PCRD** • Programme Cadre de la Recherche et Développement
- **PRAM** • Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique
- **RAS** • Résistance systémique acquise
- **RIS** • Résistance systémique induite
- **SME** • Système de Management Environnemental
- **SOD** • Superoxyde dismutase

LA QUALITE ENVIRONNEMENTALE

CONTEXTE

Les organismes constitutifs du PRAM à savoir le CIRAD, l'IRD et Irstea ont tous les trois pris des engagements en faveur du développement durable. Ces engagements peuvent prendre différentes formes et s'exprimer à différents niveaux, soit de manière générale par la mise en place d'un système de management environnemental soit de manière plus ciblée par la définition d'actions relatives à un enjeu particulier (bilan carbone et mesures de diminution de l'empreinte carbone, gestion des déchets, etc.).

En Martinique, le Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique (PRAM) s'est engagé à mettre en place un système de management environnemental ; le périmètre de cette démarche s'étend sur le site du PRAM (activités et installations de recherches, bien sûr, mais aussi activités de bureaux, services généraux et installations liées), et sur les parcelles d'expérimentations de Rivière Lézarde. Déjà certains projets s'inscrivent dans cette voie, comme par exemple le Plan banane durable.

ENJEU

La mise en place d'un système de management environnemental est un investissement qui à long terme deviendra un atout dans le développement des activités du Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique (PRAM).
L'amélioration des performances environnementales du PRAM est facteur de réduction des coûts.

Comment ?

- En réduisant les consommations d'énergie, d'eau.
- En réduisant le volume des déchets, et en optimisant les solutions de retraitement, de recyclage ou de valorisation.
- En réduisant la pollution de l'eau ou de l'air et par les déchets, ce qui induira une diminution des taxes et redevances.
- En orientant les activités de recherches sur des thèmes plus respectueux de l'environnement.

La certification ISO 14001 améliorera l'image de l'entreprise vis-à-vis des partenaires et bailleurs de fonds, et permettra d'obtenir un avantage concurrentiel lors de la demande de financement sur les appels à projets, notamment ceux du PCRD.
Maitriser les risques et en réduire les conséquences sont des forces d'actions qui permettent d'acquérir la confiance des banques et des assurances. Ce qui contribue à maîtriser, voire diminuer le coût des polices d'assurances.

La norme ISO 14001 exige d'identifier les risques d'accidents environnementaux et de mettre en place des réponses aux situations d'urgence. La prévention des risques et la réduction de leurs conséquences (environnementales, humaines, économiques, sociales, etc.), sont fondamentales pour la survie de l'entreprise en cas d'accident.

Dans la mise en place du système de management environnemental, des réponses sont apportées aux riverains qui s'interrogeraient sur les activités du PRAM et de son impact sur l'environnement. Elle améliore les conditions de sécurité et les conditions de travail, et par ses actions d'information et de sensibilisation, le SME (Système de Management Environnemental) contribue à fédérer le personnel autour d'une action qui renforcera l'image du PRAM perçue par les partenaires.

COMMENT ?

Depuis septembre 2010, le PRAM a désigné une personne ressource qui est chargée de mettre en place la démarche environnementale. Son premier objectif est de rédiger une politique environnementale, de cibler les aspects environnements significatifs et de fixer des objectifs pour améliorer ces aspects.
A ce jour, les étapes de la mise en œuvre d'un système de management environnemental (SME) sont :

- Une auto évaluation, et une analyse des impacts de nos activités sur l'environnement.

Cette analyse a porté notamment sur les aspects liés à la consommation d'eau, de matières premières et d'énergie, sur les éventuelles pollutions de l'eau, de l'air, du sol, induites par nos activités, et sur la production de déchets. Cette analyse a pris en compte toutes les activités (laboratoires, bureaux, logistique, ...) et ce, en fonctionnement normal comme en fonctionnement dégradé (lors des accidents), ce qui implique l'analyse des risques éventuels. Cette analyse a été finalisée pendant le premier trimestre 2011.

- Un plan d'action est formalisé par un «manuel environnement», et par une information donnée à toutes les personnes concernées.

Le livret d'accueil des nouveaux arrivants sera d'ailleurs complété prochainement par des informations relatives à l'environnement.

- Enfin l'ensemble du dispositif sera revu et mis à jour périodiquement, afin de l'améliorer et de l'adapter aux évolutions de nos activités et de notre environnement.

Une réunion d'information a, dans un premier temps, présenté le système et mis en place une équipe qui a intégré le dispositif pour vérifier, valider et faire appliquer les procédures Le personnel sera sensibilisé aux problèmes aenvironnementaux par le biais d'affiches, de bulletins... Des formations seront mises en place en fonction de l'évolution de la démarche. En parallèle, un bilan carbone est en cours pour évaluer notre production de gaz à effets de serre, puis pour évaluer et mettre en œuvre des actions pour diminuer ces émissions.

LES ÉCHÉANCES

Après un audit à blanc, un audit de certification est prévu pour la fin 2012.
A l'issue de ce travail, le PRAM aura non seulement fait preuve de son exemplarité, en conformité avec ses valeurs, mais aussi développé une expertise qui sera disponible pour nos partenaires.

Elisabeth ROSALIE, Responsable Qualité CIRAD PRAM
Christian CHABRIER, Directeur du GIS PRAM

Magalie Lesueur Jannoyer[1,2]
Harry Ozier Lafontaine[3]

[1]Unité Hortsys, Cirad, Boulevard de la Lironde, TA B 103, 34598 Montpellier cedex

[2]PRAM, Cirad, Petit Morne, 97285 Le Lamentin, Martinique

[3]Unité Astro, Inra, Domaine de Duclos, 971 Petit Bourg, Guadeloupe

Agroécologie des systèmes multi-espèces : vers un pôle d'excellence scientifique aux Antilles

Les Antilles sont un des lieux stratégiques du rapprochement INRA-CIRAD. Le pôle Agroécologie des systèmes multi-espèces aux Antilles est l'un des quatre pôles qui structurent les collaborations scientifiques entre les deux instituts. Les pôles ont ***«un rôle de mobilisation stratégique, de vie et d'animation scientifique, de construction de l'excellence, d'affichage et de communication»***. L'animation de ce pôle nous a été confiée en septembre 2009. Les enjeux scientifiques, en lien avec les priorités des départements de tutelle, ont été précisés et validés. Les enjeux forts que nous déclinons à différents niveaux sont :

- Pour l'INRA et le CIRAD : exploiter les possibilités offertes par la plateforme de recherche agronomique existant aux Antilles dans la construction du projet de consortium Agreenium et promouvoir une offre commune de recherche sur l'horticulture en milieu tropical à partir des Antilles.

- Pour le centre INRA Antilles Guyane et les unités du CIRAD présentes en Guadeloupe et à la Martinique : accroître la lisibilité scientifique dans le domaine de l'agroécologie vis-à-vis des équipes ou des consortiums régionaux et internationaux en constituant une masse critique de chercheurs sur des thématiques de pointe et anticiper l'échéance 2013 correspondant à l'arrêt potentiel ou la restriction des fonds structurels européens.

- Pour les équipes : améliorer notre compétitivité scientifique dans le champ de l'agroécologie ; renforcer notre crédibilité et notre attractivité dans les réponses aux futurs appels à projets européens et internationaux vis-à-vis des partenaires internationaux et les mobiliser dans nos programmes.

Notre priorité est de faire émerger une identité du pôle sur la base des projets des unités de recherche INRA et CIRAD et des autres partenaires impliqués que sont l'IRD, l'IRSTEA et l'UAG.

QU'EST-CE QUE CE PÔLE ?

Ce pôle est un lieu d'animation et de construction de projets scientifiques. Il rassemble près de 25 chercheurs, du CIRAD, de l'INRA, de l'IRD et de l'Université Antilles Guyane, qui travaillent pour la compréhension des mécanismes de régulation des agrosystèmes afin de concevoir des systèmes de culture agroécologiques. Cette **masse critique** de chercheurs réunit des compétences pluridisciplinaires qui œuvrent ***«des processus écologiques fondamentaux à leur application au sein d'agrosystèmes durables et acceptables»***.

Ces systèmes de culture sont moins dépendants aux intrants chimiques (pesticides et engrais), permettent de meilleures performances environnementales et sont plus durables.

L'activité scientifique est construite sur la base de projets pilotés par les unités impliquées (projets FEDER, FEADER, UE Interreg, ANR, MEDD, MOM…). A cette activité s'adossent des domaines expérimentaux pérennes et complémentaires (stations expérimentales) associés à des laboratoires (science du sol, écologie, biochimie, …) et des dispositifs ***in situ*** (réseaux de parcelles chez les agriculteurs).

Ces dispositifs permettent de disposer d'une grande variabilité de situations afin d'appréhender des processus génériques qui concernent les communautés des plantes et de ravageurs, leurs interactions avec le milieu et ses ressources et les pratiques agronomiques.

Ils permettent de mettre au point via l'intégration des connaissances, des systèmes de culture innovants, de les tester puis de les transférer aux acteurs du développement agricoles (producteurs, gestionnaires du territoire).

Cette approche agroécologique **transversale** est complémentaire de l'approche filières classiquement utilisée dans les recherches agronomiques conduites aux Antilles.

C'est une démarche générique appliquée à des objets d'étude issus des filières végétales, animales et mixtes. Cette approche globale est intégrative et utilise des outils multicritères d'évaluation.

Elle est une voie stratégique que nous avons privilégiée pour la conception de systèmes de production innovants.

Figure 1 : Synthèse de l'ensemble des définitions données pour l'agroécologie, enquête auprès des collègues du pôle, mai 2011.

Figure 2 : Positionnement des activités en agroécologie aux Antilles.

1 - Ecologie du système cultivé, analyse et utilisation des processus écologiques pour réguler le fonctionnement du système de culture, définition à l'interface de l'écologie et de l'agronomie.[1]

2 - Conception de systèmes de culture innovants, mobilisation des outils de l'écologie, avec comme objectif de faire fonctionner l'agrosystème comme un écosystème ; définition à l'interface de l'agronomie et de l'écologie.[2]

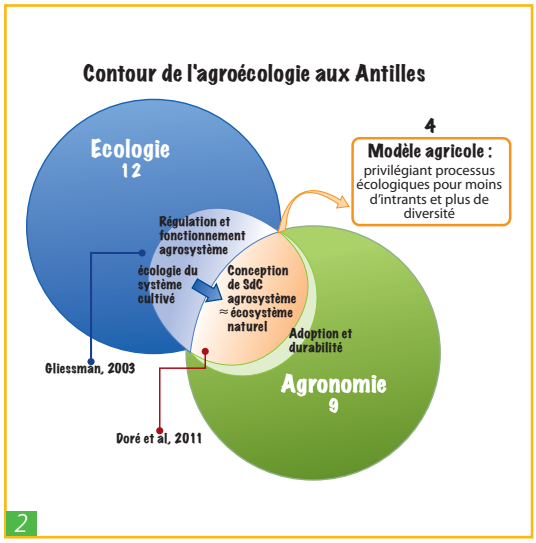
3 - L'agroécologie est considérée avec un angle de vue plus social et politique, allant au-delà des systèmes de production et englobant aussi les systèmes de consommation.[3]

L'IDENTITÉ DU PÔLE ET SON POSITIONNEMENT PAR RAPPORT AUX AUTRES ÉQUIPES TRAITANT D'AGROÉCOLOGIE

La figure 1 rassemble l'ensemble des mots clés utilisés pour définir l'agroécologie, telle qu'elle est perçue au sein du pôle (résultat d'enquête auprès de 41 agents, 22 réponses exploitées). On notera que l'agrosystème est utilisé à la fois comme système support mais également comme approche (de type systémique). L'interface agronomie / environnement est un principe de base. L'agroécologie est perçue à la fois comme une science, une discipline, une approche, et même un modèle mêlant écologie et agronomie.

Globalement l'ensemble des activités se positionnent logiquement à l'interface écologie et agronomie (figure 2) avec une prédominance de l'écologie appliquée à l'agronomie pour la compréhension du fonctionnement et des processus de régulations des agrosystèmes (définition proche de Gliessman, 2007[1]) et avec une prédominance de l'agronomie lorsqu'il s'agit de concevoir de nouveaux systèmes de culture qui interrogent et mobilisent les concepts de l'écologie à des fins de production (définition proche de celle de Doré *et al.*, 2011[2]) et de l'évaluation du caractère durable et adoptable de ces systèmes. Le tout alimente un modèle agricole sans toutefois participer directement aux choix stratégiques et politiques (peu de représentation des activités dans la définition de Allen, 2008[3]). Trois thématiques et une approche porteuses et originales ont été identifiées de manière consensuelle (figure 3) :

- L'intégration de plantes de services pour réduire la dépendance aux intrants chimiques et augmenter les services écosystémiques (production de biomasse, réduction des gaz à effet de serre, maintien fertilité du sol, réduction des pertes de terre, restauration des milieux, ...).
- La gestion intégrée des bioagresseurs, via leur biologie (plante hôte ou non hôte, mode de déplacement) et leur écologie (prédateurs et parasitoïdes, réseaux trophiques, ...).
- La conception de systèmes de culture innovants (introduction de plantes de services pour contrôler les adventices, rotations améliorant la fertilité du sol,...) et adoptés par les professionnels (introduction de jachère assainissante pour les nématodes des bananiers).
- L'approche multidisciplinaire alliant la compréhension du fonctionnement des couverts végétaux, celle de leurs interactions avec les bioagresseurs, de leur intégration et de leur application au sein de systèmes innovants (cas des bordures enherbées pour le contrôle des mouches blanches de la tomate).



LES OBJECTIFS DU PÔLE :

Les objectifs scientifiques du pôle ont été ainsi redéfinis par :

- Caractériser les fonctions écosystémiques et les processus écologiques au sein des agrosystèmes aux Antilles.
- Comprendre les mécanismes et les conséquences des interactions au sein de l'agrosystème sur ses productions et les états du milieu (pression des ravageurs et des maladies, stock de carbone du sol, qualité des ressources en eau, ...).
- Concevoir des systèmes de culture durables et sains avec des outils de l'écologie et des objectifs précis sur les fonctions de production (augmentation du rendement ou de la qualité des produits horticoles, pérennité des vergers, ...) tout en faisant fonctionner l'agrosystème comme un écosystème naturel.
- Renforcer le ***«multidimensional thinking»*** : écologie+ agronomie+ socio écologie+...

Les objectifs généraux du Pôle, comme pôle re-

connu d'excellence scientifique dans le domaine de l'agroécologie pour les régions tropicales, et pour la période 2011-2012, sont de :

- Affirmer un positionnement clair dans la production de concepts, méthodes et outils dans le domaine de l'agroécologie. Une des priorités ira au développement d'une plateforme générique de modélisation en agroécologie des systèmes multi-espèces.
- Consolider l'organisation et l'animation scientifique sur les 3 objectifs stratégiques en recentrant les questions scientifiques.
  - Analyse des processus écologiques et fonctionnels au sein des systèmes multi-espèces.
  - Evaluation de l'impact environnemental des pratiques agricoles.
  - Conception, évaluation et adoption de systèmes de culture innovants à faibles impacts environnementaux.
- Se former à la valorisation de ces produits aussi bien dans les revues scientifiques qu'auprès des organismes de développement.
- Définir une politique scientifique à l'international partagée au sein du projet.
  - Développer une stratégie de projets ciblés sur de nouveaux bailleurs (Europe, coopération régionale en particulier).
  - Consolider les partenariats scientifiques (accueil, projets, formation de jeunes chercheurs,...).
- Inciter les organisations professionnelles à collaborer directement ou indirectement via des structures de transfert (instituts techniques, agrotransferts,...).

LES ORIGINALITÉS DU PÔLE

Le milieu tropical humide est considéré comme un support scientifique original qui pose de nouvelles questions, complémentaires à celles qui sont traitées habituellement par les autres centres et non comme un milieu spécifique marginal. Ce milieu est représentatif de 40% des milieux de la planète et contribue de manière significative aux grands enjeux sur la durabilité des systèmes agricoles et la réduction des risques, et aux questions que pose l'intensification écologique des agrosystèmes. C'est un milieu dont la biodiversité est très riche et dont les cycles biogéochimiques sont exacerbés, mais qui est confronté à des contraintes agronomiques et socio-économiques fortes (forte pression phytosanitaire, forte pression foncière). Aux Antilles s'ajoutent les contraintes d'un milieu insulaire fragile et des coûts de production élevés. Cette diversité biologique dans un contexte de fortes contraintes est le gage d'un fort potentiel d'innovations.

Les agrosystèmes tropicaux, divers et complexes par leurs associations (espèces, cycles, pratiques…), sont des objets de choix pour étudier les interactions entre communautés mais aussi intégrer des innovations avec les acteurs. La grande proximité avec certaines filières de production, notamment les filières banane, tomate et igname (qui deviennent des plantes modèles), permet de traduire les connaissances génériques en pratiques ou techniques. Même si notre palette disciplinaire est assez large, les thématiques du changement d'échelle sont encore peu traitées et les sociologues peu présents. L'objectif est, dans ces domaines, de rechercher des collaborations (UAG) et de s'associer à d'autres pôles.

Les agrosystèmes étudiés relèvent de l'horticulture (production de fruits et légumes tropicaux). Ces systèmes supports bénéficient d'une longue expérience pour certaines filières, en particulier la filière banane, dont les enseignements sont riches et utilisables pour les autres productions (processus génériques, co-conception et capacité d'adoption des innovations). Ces systèmes sont des systèmes modèles sur lesquels **les contraintes sont les plus fortes :** produits fragiles et systèmes peu mécanisés, très grande sensibilité aux bioagresseurs et donc recours aux pesticides très fréquents, avec un enjeu de réduction des usages dans le cadre Ecophyto2018. Mais en parallèle, ces systèmes génèrent des produits à forte valeur ajoutée qui ouvre des perspectives nouvelles et autorise des techniques ou des associations moins facilement valorisables dans les modèles «grandes cultures». Ces systèmes sont en général diversifiés ce qui permet également d'intégrer des questions originales d'agencement spatial et temporel, qui ne se posent pas sur les systèmes monoculturaux. Aux Antilles, pour ces filières, la proximité avec les opérateurs professionnels permet une co-production et un transfert rapide des innovations.

L'hypothèse principale qui est retenue pour des systèmes horticoles agroécologiques est que **la ré-introduction et la gestion de la biodiversité** facilitent les régulations biologiques (assainissement, développement de populations d'auxiliaires, gestion des réseaux trophiques et des habitats) et renforcent la fertilité des sols (recyclage des résidus, maintien du pool organique, dynamique des communautés microbiennes et des ingénieurs du sol...). Elles aboutissent également à l'association de productions remplissant plusieurs fonctions et intègrent les dimensions spatiales et temporelles des cycles de développement de chacune des composantes de l'agro-

système et des capacités d'adoption des innovations.

Les outils de collaboration et d'animation dont le pôle souhaite se doter sont rapportés au sein du tableau 1. Ils se déclinent selon le support : des ateliers et séminaires récurrents, des actions de formation (co-encadrement de stages et thèses ; écoles chercheurs), des sites d'expérimentation conjoints (avec l'idée de réfléchir à la mise en place d'un essai de grande ampleur sur dispositif tropical à l'instar de ce qui a été réalisé par Jena experiment *http://www.ufz.de/index.php?en=7000*) et des outils d'animation et de communication (site web, GTs, visites). Un rapprochement entre laboratoires devrait s'effectuer afin de partager les outils et les résultats (SI et plateformes).

Tableau 1 : Outils de collaboration et d'animation du pôle

Ateliers (réflexion conjointe)	Formations et encadrements	Site d'expérimentation	Démonstration et intégration	Animation et communication
Conférences débat ext	EC	Essai de grande ampleur type « Bioversity experiment »: SES	Plateforme expérimentale pour transfert et valorisation (pilote)	Groupes d'animation thématiques
Veille et Réponse à projets	Université virtuelle		Base de données et systèmes d'information	Circulation information: Lettre d'info ?
Thèmes ciblés (sur place ou en ext): débats scientifiques sur concepts, outils, ..	Animation thématique par autres projets (Oméga 3, Ecohort, Traits fonctionnels,...)			Base bibliographique: articles, présentations, com congrès, ...
Écriture: publications	Stages et thèses co-encadrés			Exposés réguliers préparés par binome (visio)
Ateliers d'acteurs	Offre de formation (master, joint master, ...)			Visite de sites pilotes
Séminaire de synthèse des activités				Site web (int/ext) Actualités, produits, offres, liens, forum, tableau de bord, film...
Réseaux d'agroécologie régionaux				
Congrès international				

CONSTRUCTION DU RÉSEAU CARIBÉEN CAWAI (CAribbean netWork for Agroecology and Innovation)

Le réseau CAWAI (CAribbean netWork for Agroecology and Innovation), qui est un réseau régional dans le prolongement thématique du pôle, a émergé à l'initiative de l'Inra et du Cirad lors d'un atelier spécifique de la 47ème Caribbean Food and Crop Society, organisé en juillet 2011 à la Barbade. Cet atelier a débouché sur une programmation pour la construction du réseau reposant sur deux priorités à court terme : i) la construction d'un site Web pour l'information et le maintien d'une dynamique (ouverture du site en janvier 2012), ii) la préparation d'un workshop en mars 2012 avec les points focaux identifiés pour la sélection de terrains pilotes à partir desquels se structureront les projets à venir. Cette réflexion sera restituée lors de la prochaine CFCS de mai 2012 au Mexique et l'atelier du réseau CAWAI devrait permettre de valider les conclusions et les propositions. Cette initiative a été soutenue par les fonds du PNUD.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La promotion de l'ingéniérie agroécologique, repose en grande partie sur l'intensification des recherches sur les concepts de l'écologie à la croisée de ceux de l'agronomie pour l'analyse, la conception et l'évaluation d'agrosystèmes à biodiversité renforcée. La qualité des résultats obtenus par les différentes équipes de recherche aux Antilles contribue à notre reconnaissance académique dans ce domaine. Progressivement l'idée du pôle d'excellence scientifique en agroécologie aux Antilles fait son chemin, cette initiative est aujourd'hui suivie au niveau régional par le biais d'un réseau caribéen CAWAI.

Les ambitions affichées pour l'animation du Pôle

Agroécologie des systèmes multi espèces sont :

- La constitution d'une masse critique de scientifiques aux Antilles structurée autour de deux grands objectifs :
  - Analyser des processus écologiques et fonctionnels au sein des Systèmes Multi -Espèces
  - Concevoir, évaluer et favoriser l'adoption de système de culture innovants à faibles impacts environnementaux.
- L'émergence et la reconnaissance scientifique de ce collectif de chercheurs experts sur les questions d'intensification écologique des systèmes horticoles multi espèces.

Une animation transversale inter institutionnelle est proposée, avec la mise en place d'outils spécifiques (groupes de travail thématiques, écoles thématiques, formations, atelier d'écriture, stratégie de publication, ...) et l'identification de livrables renforçant la visibilité du pôle : publication d'articles scientifiques, formation, projets).

Nicolas ROCLE,
Ingénieur-chercheur
en sociologie,
Irstea-PRAM,
Petit Morne,
B.P. 214,
97285 LAMENTIN,
nicolas.rocle@irstea.fr,

Jacques DENIS,
Délégué
pour les Antilles
et chef de station
Martinique,
IFREMER,
79 rue de Pointe Fort,
97231 ROBERT,
jacques.denis@ifremer.fr

Suivre et evaluer les politiques territoriales de developpement durable :

Exemple d'une methode par indicateurs d'integration et application au contrat de la baie de Fort-de-France en Martinique

Les politiques territoriales de développement durable se doivent aujourd'hui de répondre à des impératifs de différentes natures : un impératif évaluatif au regard des exigences d'efficacité et d'efficience de l'action publique, un impératif scientifique (ou cognitif) pour aider des prises de décisions fondées sur des connaissances (scientifiques et « profanes »), ainsi qu'un « impératif délibératif » (Blondiaux et Sintomer, 2002) prônant la participation des parties prenantes dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques. Le concept de « gestion intégrée » dans les politiques environnementales traduit la prise en compte, théorique dans un premier temps, des principes qui sous-tendent ces approches et par là même ceux du développement durable. Visant à décloisonner les approches par trop sectorielles, il rencontre cependant des difficultés importantes autant dans sa mise en œuvre opérationnelle que dans l'analyse et l'évaluation que l'on peut en tirer. Par ailleurs, si les différents modes de gouvernance territoriale sont de nature plus procédurale, c'est-à-dire définis et mis en œuvre en articulant les divers intérêts et valeurs pour une légitimation progressive du cadre des décisions (Lascoumes et Le Bourhis, 1996), les outils de suivi et d'évaluation correspondant doivent répondre à de nouveaux référentiels et de nouvelles manières de faire. Ces besoins sont en outre renforcés par la nécessité de rendre compte de la mise en œuvre de ces politiques, de leurs coûts, mais aussi des processus et des dynamiques effectives engagées au regard des principes même du développement durable. Dans un tel contexte, la recherche menée en appui aux politiques publiques peut accompagner ces formes d'action publique par des méthodes nouvelles aussi bien sur le plan de leur référentiel que sur le rôle des outils dans l'aide à la décision publique. Quel « suivi-évaluation » peut-on faire d'une politique prônant la gestion intégrée d'un territoire vis-à-vis des exigences de développement durable de ce territoire ? Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, nous présentons ici les objectifs et des éléments de méthode pour une évaluation (ou plutôt une appréciation) de la façon dont une politique territoriale est menée au regard de l'application des principes qui sous-tendent la «gestion intégrée». Pour ce faire, nous présentons les complémentarités en termes d'objectifs entre l'évaluation d'une politique en tant que telle et l'appréciation des modalités d'intégration de cette politique. Nous exposons ensuite un travail en cours sur une méthode par indicateurs permettant de suivre et d'évaluer les degrés d'intégration dans la mise en œuvre d'une démarche de gestion intégrée du littoral : le contrat de la baie de Fort-de-France en Martinique. Nous discutons enfin des atouts et des limites de cette méthode, au regard notamment du rôle que peuvent jouer ces indicateurs sur un renforcement de la gouvernance territoriale.

1- «L'INTÉGRATION» DANS LES POLITIQUES TERRITORIALES ET LES RAISONS DE SUIVRE ET ÉVALUER SA MISE EN ŒUVRE

1.1 Quelques enjeux du «suivi-évaluation» des politiques publiques territoriales

Les transformations des modes d'action publique ces trois dernières décennies ont joué un rôle majeur dans la montée en puissance et l'évolution des modalités d'évaluation des politiques publiques. De nouveaux « arrangements institutionnels » (Arts and Leroy, 2006), issus notamment des lois de décentralisation et de la complexité des enjeux à traiter, ont en effet conduit à une modification des rôles de l'Etat aux côtés d'autres acteurs, à une multiplication des formes d'intervention (contrats, mesures incitatives...) et à l'obligation de justifier du bien-fondé et de l'efficacité, sur les plans environnementaux et socio-économiques, des politiques territoriales multiformes. Ces évolutions se traduisent alors par de nouvelles formes de responsabilisation des politiques publiques contemporaines, parmi lesquelles l'évaluation a pris une place centrale, en tant que «l'une des traductions concrète de l'institutionnalisation du principe d'*accountability*» (Salles, 2009). Le lien entre territorialisation croissante des politiques publiques et pratiques d'évaluation territoriale est également important à souligner (Berthet, 2008) : la multiplication et la fragmentation des formes d'expertise, les nouvelles méthodes de gestion où l'évaluation participe grandement aux moyens de légitimation et d'objectivation, ainsi que les besoins de connaissance et de jugement sur les actions décentralisées sont autant de facteurs qui ont contribué à ce développement.

L'évaluation est entendue ici comme une «activité de rassemblement, d'analyse et d'interprétation de l'information concernant la mise en œuvre et l'impact de mesures visant à agir sur une situation sociale ainsi que la préparation de mesures nouvelles» (Knoepfel *et al.*, 2001, p. 101). Or, force est de constater les limites que comportent les méthodes d'évaluation actuelles face aux nouvelles exigences sociétales telles qu'un développement durable des territoires. Les enjeux de l'évaluation des politiques territoriales ont ainsi évolué tant par rapport à la nature des politiques actuelles que vis-à-vis du sens collectif attribué à cette activité. Dans le premier cas, il s'agit avant tout d'assurer une conciliation et une prise en compte des interdépendances entre enjeux sociaux, économiques et environnementaux dans une perspective de long terme et en associant l'ensemble des parties prenantes aux différentes étapes du processus. Concernant la seconde évolution, l'évaluation n'est plus seulement vue comme un outil d'aide à la décision et aux arbitrages (par l'évaluation ex-post d'une politique publique) mais comme un outil d'aide au pilotage (évaluation *in-situ,* on parle donc de suivi-évaluation) et «d'apprentissage collectif» dans des situations complexes du fait des incertitudes, des nombreux acteurs en présence et des dimensions institutionnelles souvent expérimentales des actuels «dispositifs de gouvernance» (Rey-Valette *et al.*, 2010). De nouveaux référentiels méthodologiques sont donc attendus pour prendre en compte ces dimensions territoriales et institutionnelles qui relèvent de la gouvernance territoriale (Ayong-le-Kama, CGP, 2005, Rey-Valette et Roussel, 2006).

1.2. L'intégration comme référentiel de suivi-évaluation des politiques territoriales

Les évolutions décrites ci-dessus sur la montée en puissance de l'évaluation dans les politiques publiques s'accompagnent de transformations plus globales des sociétés contemporaines occidentales, qui vont elles-mêmes justifier l'émergence et l'importance d'un nouveau modèle concernant la gestion de l'environnement : le modèle de la gestion intégrée des ressources naturelles et, plus généralement, de l'environnement. Ces évolutions concernent une différenciation et une spécialisation croissantes du travail social, provoquant une fragmentation accrue des compétences et des tâches à réaliser. A l'inverse, la multiplication et la complexification des formes d'action publique, la transversalité des enjeux ainsi que la dimension territoriale des enjeux environnementaux nécessitent de penser et d'agir collectivement, de manière transversale, concertée et coordonnée. Face à ces tensions, l'intégration peut alors être vue comme une réponse formulée face à une crise des organisations et des institutions (Grandgirard, 2007) et à la complexité et à la transversalité des enjeux. **L'intégration peut être considérée comme un «processus dynamique et ouvert qui réunit des acteurs d'origines et d'intérêts divers pour réfléchir, mettre en place et suivre une politique d'usage raisonné et raisonnable des ressources dans un domaine donné en prenant en compte les interactions sociales et naturelles existantes, sous contraintes de réduction de la complexité et des incertitudes»** (***ibid.***, p.65). Cette définition mérite d'être complétée par une référence explicite au territoire, car il s'agit bien, dans l'action publique contemporaine, d'intégration des politiques publiques à l'œuvre sur un territoire donné. Nous voyons également, à travers cette définition élargie, qu'il ne peut y avoir un modèle de gestion intégrée, pas plus qu'un gestionnaire unique, mais une manière, un sens donné collectivement à la gestion d'un territoire. Nous verrons, avec l'application qui en est donnée ci-dessous, sur quoi porte l'intégration. Indiquons d'ores et déjà que cette intégration couvre, certes idéalement, l'ensemble des éléments constitutifs de la politique territoriale analysée : les objectifs, les instruments, les espaces de gestion identifiés, les échelles de temps, les acteurs intervenant directement ou indirectement à un moment donné du processus, les connaissances utilisées…

Les limites d'une telle conception sont claires et/ou perceptibles : au sein d'un territoire à enjeux interviennent souvent des territoires (tels les «territoires de l'eau», Ghiotti, 2006), avec leurs propres logiques administratives et sociopolitiques ; figure également un «risque procédural» (Hénocque et Billé, 2005) à vouloir intégrer sans se soucier des logiques sectorielles qui méritent, certes d'être articulées entre elles, mais aussi d'être réorientées, complétées et modifiées selon les problèmes concrets à traiter ; la vision utopique et le caractère nécessairement incrémental de l'intégration *(ibid.)* ; enfin les «coûts d'intégration» de plus en plus importants des nouvelles formes d'action publique territoriale (Barbier et Waechter, 2006, cité dans Grandgirard, *op. cit.*). La gestion intégrée d'un territoire constituerait ainsi une réponse nécessaire - mais non suffisante - à une crise des organisations et des institutions pour répondre aux défis du développement durable. Cette nécessité, mais aussi les critiques qu'elle suscite, im-

posent donc d'analyser ce principe dans son opérationnalisation, de l'apprécier puis de l'analyser pour en tirer des éléments d'apprentissage et d'évolutions souhaitables.

Si une évaluation est bien souvent un jugement de « ce qui est » par rapport à « ce qui devrait être » (Jacob, in Boussaguet *et al.*, 2010), la mise en pratique du développement durable mérite de dépasser ce paradigme pour le compléter par un référentiel certainement moins rigide et plus compréhensif. En effet, là où une évaluation des politiques mesure les performances, en termes d'efficacité, d'efficience, de pertinence et de cohérence, l'évaluation de la mise en œuvre des principes qui guident ces mêmes politiques s'attacherait à analyser la « façon de faire », le mode opératoire lui-même. Ce type d'analyse est donc complémentaire (et non substitutif) pour l'aide à la décision dans le cadre d'une action publique complexe et incertaine.

Figure 1 : Des approches complémentaires de suivi-évaluation des politiques territoriales

	Evaluation d'une politique publique	**Evaluation / appréciation des modalités de mise en œuvre d'une politique publique**
	Pilotage de l'action Transparence, lisibilité et légitimité de l'action publique	
Objectifs, finalités	Mesurer l'utilité, l'efficacité, l'efficience, la pertinence des plans, programmes et mesures	Apprécier l'opérationnalisation des politiques au regard des principes d'intégration (participation, concertation, cohérence…)
Référentiel : critères d'évaluation	Techniques Pertinence, efficacité, efficience, coûts de mise en œuvre...	Compréhensifs Intégration (coordination, coûts d'intégration, participation publique) cohérence, adaptabilité flexibilité de la politique…
Objet de l'évaluation	Les performances et les effets : moyens mis en œuvre, résultat et atteinte des objectifs.	Le(s) dispositif(s) d'opérationnalisation, les processus
Nature de l'information traitée	Essentiellement quantitative	Plus qualitative, contextuelle

Les principes du développement durable imposent ainsi de compléter les méthodes actuelles, souvent quantitatives et normatives, par des approches plus compréhensives et contextuelles. Cette distinction vise par ailleurs à montrer que, outre le référentiel sur lequel se base l'évaluation, la nature de l'information requise et l'objet même de ce qui est évalué diffèrent selon que l'on s'intéresse à la politique publique en elle-même ou aux principes qui sous-tendent cette même politique. Enfin, la complémentarité de ces deux approches de l'évaluation est fondamentale au regard des finalités de l'action publique. L'intégration, pour autant qu'elle recherche une adéquation entre les résultats attendus, les moyens et les modalités de mise en œuvre, pourrait constituer un élément de réponse aux problèmes concrets qu'elle est censée résoudre. Il convient donc, afin de répondre aux critiques citées ci-dessus (risque procédural, théorie normative, coûts d'intégration), d'associer de manière systématique et dynamique une mesure des performances et une appréciation des processus, afin d'analyser parallèlement les résultats chiffrables de l'action publique et les effets sociaux et politiques de cette action.

2 - PRÉSENTATION D'UNE MÉTHODE DE SUIVI PAR INDICATEURS ET APPLICATION AU CONTRAT DE LA BAIE DE FORT-DE-FRANCE

En tant que dispositif de suivi-évaluation d'une politique territoriale, la méthode sur laquelle nous travaillons vise à comprendre et objectiver la logique de l'action publique, aider à son pilotage et aux décisions afférentes par la production de connaissances, ainsi qu'à alimenter le débat public pour une appropriation collective des enjeux et de la politique étudiée. Les évaluations actuelles des politiques publiques territoriales recourent à plusieurs méthodes, parmi lesquelles les analyses coûts-bénéfices (pour mesurer notamment l'efficience d'une politique), les méthodes économétriques d'évaluation ex-post (mesure des impacts et des effets propres de la politique), les méthodes par indicateurs de performance… Sans revenir sur les atouts et les

limites de ces différentes méthodes, qui peuvent être complémentaires par ailleurs, nous décrivons ci-après une méthode par « indicateurs d'intégration », les principes sur lesquels elle repose, ainsi qu'un exemple d'application dans le cadre de la mise en œuvre du contrat de la baie de Fort-de-France en Martinique.

2.1. Présentation de la méthode de suivi par indicateurs d'intégration

La méthode présentée ici a été développée et testée par l'Ifremer en 2010 sur cinq outils de gestion du littoral méditerranéen (Lafitte, 2010). L'application de cette méthode aux outils et politiques de gestion intégrée de la mer et du littoral (GIML) trouve en effet de nombreuses justifications (Rocle *et al.*, 2011). Elle procède d'une déclinaison de l'intégration en six dimensions, donnant naissance à six indicateurs développés sur la base d'un état de l'art et renseignés par une méthode d'enquêtes. L'objectif est d'évaluer la manière dont un outil (ou une politique, cf. infra) de gestion du littoral est mis en œuvre en regard des principes fondamentaux de la GIML pour la traduire plus concrètement en termes d'indice ou de « degré GIML ». Il s'agit donc de la mesure de ces principes, à travers un système d'indicateurs renseignés, représentés puis discutés.

Une première phase méthodologique

Indicateurs	Enjeux - informations recherchées (lien avec la GIML)
Intégration horizontale	La GIML soulève la question de la cohabitation des usagers malgré les diverses pressions qui s'exercent sur les zones côtières. Cet indicateur permet de rendre compte du degré d'association des différents secteurs d'activité utilisant les ressources du territoire et leur répartition spatiale. L'intégration horizontale tient compte aussi de l'association des acteurs à l'intérieur d'une même activité. Cet indicateur s'intéresse aux conflits d'usages, aux enjeux et aux objectifs fixés sur l'espace considéré.
Intégration verticale	Cet indicateur doit permettre de rendre compte du degré d'interactions et d'articulation entre les différents niveaux décisionnels et d'action : initiatives locales, cadres nationaux, opportunités et contraintes fournies par les engagements internationaux… Il s'intéresse au degré de collaboration entre les niveaux ainsi qu'aux mécanismes décisionnels qui les relient.
Intégration de la connaissance	Cet indicateur permet d'apprécier la prise en compte de l'intégration de la connaissance : au sein de la communauté scientifique entre les sciences naturelles et les sciences humaines et sociales, mais aussi l'intégration des savoirs locaux (connaissances vernaculaires) et du savoir académique. Il s'agit de voir comment ces connaissances sont appropriées et utilisées tout au long du processus (avis, aide à la décision…). Cet indicateur s'attache également à montrer s'il existe des moyens de production et de diffusion des connaissances pertinentes et la manière dont cela est réalisé.
Intégration spatiale	La GIML demande d'avoir « une vue de la mer » complétant « la vue de la terre » et intégrant l'interrelation terre-mer. Cet indicateur doit permettre de savoir si la zone côtière est réellement considérée comme l'interface entre deux milieux : la terre et la mer. Ceci induit l'intégration des enjeux propres à cette interface. Cet indicateur s'intéresse aux éléments de définition des zonages, à la spatialisation des enjeux et aux effets induits par ces zonages.
Intégration participative	La participation des acteurs tout au long du processus et lors des évaluations constitue une dimension clef des politiques territoriales. Cet indicateur doit permettre de mesurer le degré d'implication des acteurs dans le processus de gestion du territoire. Il renseigne respectivement sur la communauté impliquée, les moyens utilisés pour promouvoir la participation ainsi que la manière dont celle-ci est effectivement mise en pratique (incluant les effets sur la décision et la gestion).
Intégration temporelle	Cet indicateur rend compte des priorités établies et de l'évolution dynamique du contexte et de la situation à moyen et long terme. Il s'intéresse aux moyens mis en œuvre pour le suivi et la prospective, l'adaptabilité de la démarche, et prend en compte les financements qui contribuent à la pérennisation des actions mises en place.

Figure 2 : Six dimensions fondamentales de l'intégration dans les politiques territoriales de développement durable

Les acteurs sont regroupés en cinq collèges représentatifs des parties prenantes de démarches de gestion (catégorisation reprise des Grenelles de l'Environnement et de la Mer).

- Les gestionnaires/décideurs (élus locaux, collectivités locales, syndicats…) : acteurs centraux, au-delà de la prise de décisions, dans leur capacité à fédérer, à promouvoir et à porter un projet à l'échelle territoriale.

- Les représentants de l'Etat (Préfets, services déconcentrés de l'Etat...) **et les établissements publics associés** jouent un rôle majeur dans le respect des engagements internationaux et communautaires aux échelons nationaux et territoriaux. Les rôles d'arbitrage, de soutien technique et de régulation sont de plus en plus importants dans l'action publique contemporaine.

- Les acteurs socio-économiques impliqués traduisent la multiplicité des usages et activités sur le territoire concerné. Il s'agit de voir de quelle manière ces acteurs locaux sont impliqués dans le processus de gestion (partenariats publics-privés…) et la façon dont ils s'approprient les mesures et les actions mises en œuvre.

- Les experts techniques et scientifiques (scientifiques, universitaires, experts…) : Les connaissances produites et mobilisées dans les débats alimentent le processus durant son élaboration, sa mise en œuvre mais aussi ses évaluations. Des éclairages et une aide à la décision sont attendus.

- Les associations d'usagers ou de protection de l'environnement, les ONG, mais également les autres formes de mobilisation collective (comités, ligues...) impliquées dans la démarche.

Les cinq collèges identifiés sont auditionnés afin de prétendre à une diversité des acteurs impliqués et à une pluralité de points de vue au sujet de la démarche étudiée. Les indicateurs proposés correspondent à six déclinaisons fondamentales de l'intégration qui constitue le «fil rouge» de la gestion.

La phase de renseignement et de représentation des indicateurs

Il s'agit dans cette seconde phase de procéder à la collecte de l'information relevant de chacun des indicateurs. Un questionnaire, que nous ne pouvons présenter ici faute de place, reprend les six indicateurs et les déclinent en différents critères pertinents au regard de la dimension concernée (chaque critère étant abordé par une ou plusieurs question(s)). Il s'agit d'un questionnaire identique quel que soit le collège d'acteurs interrogé, composé de questions ouvertes pour des entretiens de type semi-directif. Les informations recueillies à la suite des auditions des cinq collèges permettent d'attribuer une note générale moyennée pour chaque dimension d'intégration : une note est attribuée à chaque réponse au regard de la perception recueillie auprès de l'enquêté et, pour chaque indicateur, une moyenne des résultats obtenus par collège puis pour les cinq collèges est effectuée, pouvant donner lieu à une lecture sous forme de tableaux ou graphiques (cf. ***infra***).

Le système d'indicateurs doit ainsi permettre l'évaluation d'une situation ou sa tendance d'évolution (les dimensions rétrospective et prospective étant abordées dans l'intégration temporelle) à partir d'une lecture pluraliste (collèges de citoyens, de scientifiques, de professionnels, de décideurs) portée sur l'outil ou la politique publique étudiée.

2.2. Application au contrat de baie de la baie de Fort-de-France

L'exemple qui est donné ci-dessous illustre l'application de cette méthode dans le cadre de travaux en cours sur le suivi-évaluation de la mise

Ces premiers traitements ont conduit à des résultats partiels illustrés ci-dessous.

3

Collèges / Indicateurs	Services de l'Etat et établissement	Gestionnaire / décideurs locaux	Associations O N G	Experts scientifiques et techniques	Moyenne par indicateurs
Nbre de personnes interrogées (Nbre d'entretiens traités)	4 (2)	3 (2)	1 (1)	3 (3)	/
Intégration spatiale	3,6	3,3	3,1	2,7	3,2
Intégration horizontale	3,8	3,2	2,6	3	3,2
Intégration verticale	2,5	4	nd	3,4	3,3
Intégration participative	2	2,8	2,5	2,3	2,4
Intégration des connaissances	3,2	nd	3,7	2,5	3,1
Intégration temporelle	1,7	nd	2,7	1,9	2,1

Figure 3 : Différence de perceptions des représentants des quatre collèges auditionnés pour chacun des six indicateurs (le collège des professionnels n'est pas représenté car n'a pas encore été auditionné ; nd : non déterminé ou non significatif)

[1] - Le nombre d'entretiens et le choix des personnes ont été guidés par la recherche d'une diversité de points de vue entre les 44 membres partenaires du contrat de baie, ainsi que par rapport à la connaissance du dossier qu'ils pouvaient avoir et ne permettent pas de prétendre à une représentativité de l'échantillon. L'objectif étant, rappelons-le, de rechercher une pluralité et une diversité de points de vue sur la manière dont est mis en œuvre le contrat de baie dans ses dimensions institutionnelles et organisationelles.

en œuvre du contrat de la baie de Fort-de-France (thème G du programme d'actions « pilotage et suivi du contrat de baie » CACEM, 2011), à travers un partenariat entre Irstea, l'Ifremer et la Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique (CACEM), structure porteuse du contrat de baie. S'agissant d'un travail en cours, les résultats présentés ici sont incomplets et donnés à titres illustratifs et provisoires ; ils mériteront donc d'être confirmés ultérieurement.

L'objectif principal est de fournir à la cellule d'animation du contrat de baie et aux partenaires associés des informations et des connaissances relatives à la manière dont est mis en œuvre le contrat de baie, par le biais de la méthode présentée ci-dessus. Sur les 15 entretiens prévus (soit 3 personnes par collège)[1], 11 entretiens ont été réalisés à ce jour. L'analyse et le traitement des enquêtes ont été menés pour 8 entretiens par une retranscription partielle et une analyse textuelle.

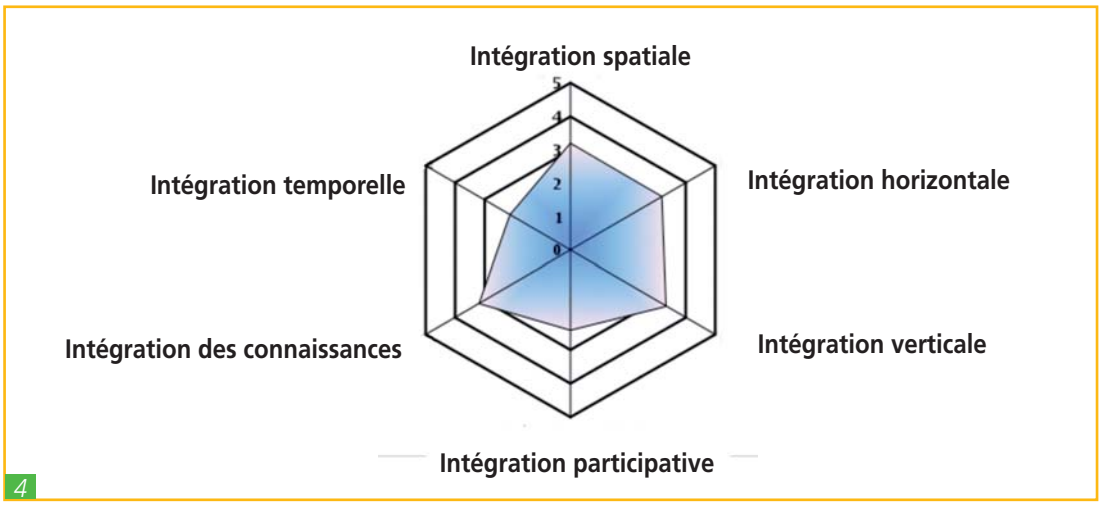


Figure 4 : Représentation graphique des résultats (échelle d'intégration de 0 à 5).

Si certaines des valeurs moyennes données ci-dessus peuvent paraître relativement faibles, elles ne sont pas nécessairement vues comme pénalisantes par les enquêtés, qui montrent pour la plupart un encouragement à poursuivre les efforts déployés. En effet, les entretiens ont débuté un an environ après le démarrage du programme d'actions du contrat de baie, correspondant ainsi à une phase de maturation du dispositif en général et au déploiement d'un certain nombre d'actions et de partenariats qui restent à consolider et à concrétiser. L'application de cette méthode à ce stade d'avancement présente à l'inverse l'avantage de pouvoir mesurer par la suite les progrès accomplis au cours de la démarche. Ces résultats chiffrés ou graphiques ne peuvent donc se comprendre ni être interprétés qu'en complément de données textuelles ressortant de l'analyse des entretiens. A titre d'exemple, on peut souligner :

- **Sur l'intégration spatiale :** le périmètre du contrat de baie est, pour l'ensemble des acteurs interrogés, pertinent pour traiter des enjeux de préservation et de restauration de la qualité des eaux et des milieux aquatiques. L'interface terre-mer est en particulier bien mise en avant pour prendre en compte les interdépendances amont-aval sur l'ensemble du territoire concerné.
- **Sur la dimension horizontale :** l'association de certains secteurs économiques aux actions même du contrat de baie semble relativement limitée, notamment dans les secteurs industriels et artisanaux et dans le domaine agricole. Leur implication devrait pouvoir être envisagée par le biais des chambres consulaires (commerce et industrie, agriculture, métiers et artisanat...) et des fédérations ou groupements professionnels.
- **Sur la dimension verticale :** une bonne articulation est observée entre l'échelon du contrat de baie et l'échelon régional, notamment au travers d'initiatives qu'impulse le contrat de baie et pour lesquelles les retombées sont souvent profitables à l'ensemble du territoire de la Martinique (ex. du groupe de travail sur les eaux pluviales avec édition prochaine d'une doctrine et d'un guide technique). La relation avec le comité de bassin de la Martinique mériterait d'être renforcée dans cette optique, de même que les liens avec les collectivités locales (par exemple par le biais des responsables de services environnement).
- **Sur la dimension participative (types de dispositif, publics cibles, modes de participation...) :**

[2] - Les visées comparatives entre plusieurs démarches territoriales n'apparaissent pas primordiales dans la mesure où les dispositifs de gouvernance territoriale demeurent souvent singuliers, car adaptés aux enjeux et aux réalités des territoires, mais le partage d'un même référentiel et des principes qui l'accompagnent pourraient conduire à un socle méthodologique commun.

tous les acteurs enquêtés s'accordent à dire que le contrat de baie doit toucher les habitants, citoyens, usagers, consommateurs inclus dans le périmètre du contrat. Les efforts de sensibilisation et d'information sont importants, mais une réflexion pourrait être menée afin de voir comment la population dans son ensemble peut s'approprier et participer à cette démarche collective. Un premier élément de réponse repose sur l'implication et la participation des associations, relais pertinents à mobiliser dans cet objectif.

- **Sur l'intégration des connaissances,** il importe pour nombre d'acteurs interrogés de regrouper et rendre accessible les connaissances et les données recueillies dans le cadre du contrat de baie. Le Conseil scientifique et l'Observatoire des mesures constituent des outils privilégiés pour capitaliser et diffuser ces données.
- **Sur l'intégration temporelle :** la prise en compte du long terme dans la démarche contrat de baie se fait de plus en plus sentir chez les acteurs interrogés. Des réflexions pourraient donc être initiées, à mi-parcours, pour assurer la pérennisation et la durabilité des actions.

En sus des 6 indicateurs d'intégration, seront fournies des synthèses d'entretiens et fiches analytiques, l'objectif de ces supports étant de disposer d'éléments clairs et transparents pour alimenter les réflexions sur le déroulement du contrat de baie et ses effets à moyen terme (cf. *infra*).

Discussion : apports, limites et perspectives quant à l'utilisation des «indicateurs d'intégration»

Cette démarche apparaît, pour l'ensemble des personnes rencontrées jusqu'à présent, intéressante et nécessaire. Selon leurs dires, évaluer la pertinence, la cohérence et les processus à l'œuvre dans le contrat de baie permet de prendre du recul et de se demander «*qu'est ce qui a été fait et que reste-t-il à faire ?*». Le suivi et l'évaluation «concomitante» (ou «in situ») de la manière dont est mis en œuvre le contrat de baie peuvent permettre, par une mise en débat des résultats et des données produites, de réorienter ou reformuler des moyens, des «façons de faire», voire des objectifs et des finalités en fonction des effets mesurés ou appréhendés. Ces «indicateurs de processus» (Hénocque et Billé, *op. cit.*) interviennent comme des outils possibles d'objectivation de la politique publique étudiée. Loin de balayer la complexité des dynamiques territoriales et environnementales, importante à l'échelle du contrat de la baie de Fort-de-France, ces indicateurs tendent à les synthétiser et les rendre compréhensibles. Les travaux en cours s'attachent ainsi à doter la cellule d'animation du contrat de la baie d'une grille d'indicateurs complémentaire au tableau de bord environnemental mis en place à travers «l'Observatoire des mesures», ce tableau de bord ayant pour sa part vocation à synthétiser et capitaliser les données sur l'évolution de la qualité des eaux et des milieux aquatiques à partir de réseaux de suivi *ad hoc* (état de santé des écosystèmes, état chimique et écologique des masses d'eau…).

Les indicateurs d'intégration s'appuient sur une conception pluraliste de l'évaluation, à partir de données qualitatives provenant d'enquêtes, se rapportant à une situation donnée et évaluées à dires d'expert. Les limites de ce type de méthode sont alors perceptibles sur la qualité et la fiabilité des indicateurs renseignés : biais d'échantillonnage, modes d'agrégation et de pondération des données… Les travaux actuels se sont donc attachés à prendre en compte les principaux critères qui permettent de juger de la qualité d'un indicateur qualitatif : représentativité, pertinence, robustesse, comparabilité, adaptabilité... et à consolider certains aspects de la méthode :

- **Le questionnaire et le mode de calcul associé des indicateurs :** l'homogénéisation du nombre de critères pour tous les indicateurs est également recherchée pour une cohérence et une équité entre les différentes dimensions d'intégration. Enfin, les questions posées, leur formulation et leur lien avec le type d'information recherchée sont des éléments fondamentaux pour une stabilisation du cadre méthodologique.
- **L'échantillonnage et la catégorisation par collèges,** de façon à avoir un échantillon le plus représentatif possible de la diversité des acteurs engagés directement ou indirectement. Le nombre de personnes par collège est alors important, selon l'échelle territoriale et le nombre d'acteurs impliqués, pour obtenir des indications cohérentes et exploitables. L'analyse de la variabilité intra-collège sera également intéressante à réaliser pour montrer les différences de points de vue au sein d'un même collège.

Ces travaux visent donc à renforcer la fiabilité des indicateurs dans une optique de généricité de la méthode d'une part, et d'élaboration d'un guide de pratiques d'autre part[2].

Ces indicateurs reflètent enfin, et surtout, de par leur mode de construction et le référentiel sur

lequel ils s'appuient, des caractéristiques propres à les mobiliser comme des outils « d'évaluation participative » (Rey-Valette, Mathé, 2009). La plupart des personnes auditionnées ont ainsi mentionné l'aspect suivant : « L'entretien permet à l'enquêté de se plonger dans la politique publique à laquelle il est confronté quotidiennement. Votre étude permet à toutes les personnes auditionnées de formuler leur opinion à un moment donné ». Les systèmes de représentation présentés supra peuvent alors faire l'objet de mises à l'épreuve au sein des instances intervenant dans le pilotage et le suivi du contrat de baie. La restitution et la mise en discussion des résultats seront donc particulièrement importantes compte tenu du rôle que peuvent jouer ces indicateurs sur la gouvernance du contrat de baie. En effet, l'outil contrat de baie faisant face à la complexité et aux incertitudes de toute action publique territoriale, ces indicateurs, plus que de simples résultats *hic et nunc,* constituent davantage des supports de discussion pour favoriser des regards croisés et un « apprentissage collectif » sur la démarche et ses modalités de mise en œuvre, l'objectif étant in fine un renforcement de la gouvernance territoriale à l'échelle du contrat de baie.

CONCLUSION

La méthode présentée ici pour suivre et évaluer la mise en œuvre d'outils de gestion sur un territoire littoral dans ses dimensions intégratives est une démarche nouvelle et en cours de validation. Plusieurs points méritent d'être mis en exergue pour la suite. Son caractère très souple tout d'abord, renvoyant au « statut souple, large (et ambigu) de processus » de la gestion intégrée du littoral (Hénocque et Billé, op. cit.) mais plus généralement des politiques territoriales de développement durable, permet d'apprécier ces processus et leurs dimensions d'intégration à l'échelle d'un territoire, limitant ainsi le biais de se concentrer sur une action ou une initiative unique. Ils peuvent ainsi, de par leur construction, s'appliquer à une démarche de « gestion intégrée de la mer et du littoral », au sens d'une gestion d'un territoire littoral qui combine à la fois les démarches de planification, d'aménagement et de développement durable de ce territoire (prenant en compte son articulation avec d'autres instruments d'action publique territoriale tels que les schémas de cohérence territoriale et leur volet littoral, les plans locaux d'urbanisme…). Sa complémentarité avec les systèmes développés aujourd'hui, tels les observatoires et les tableaux de bord (environnementaux et socioéconomiques), paraît fondamentale pour rééquilibrer la prise en compte des objectifs, des moyens et des résultats avec l'analyse de la manière dont l'action publique est conduite au regard des impératifs cognitifs et délibératifs ainsi que des exigences de coordination et d'intégration souvent mises en exergue et qui demandent pourtant à être renforcées. La notion d'intégration recouvre par ailleurs en elle-même des limites inhérentes aux modes d'action publique que nous avons décrits comme ouverts, multiformes et fragmentés. Elle répond donc davantage à une « crise des institutions et des organisations » qu'elle ne vise à tout englober dans un modèle d'intégration unique. Aussi cette notion a-t-elle ici été reprise à partir du vocable couramment admis de la « gestion intégrée » (des ressources en eau, d'un territoire…) mais conduit à rappeler que la gestion intégrée est « un horizon utopique jamais atteint, vers lequel un système de gestion peut au mieux tendre par avancées et dérapages successifs, essais et erreurs » *(ibid.)*. Il s'agit donc de garder à l'esprit l'imperfection et l'incomplétude de ce mode d'action et, par conséquent, des moyens d'en rendre compte et de l'évaluer. Les nécessités d'œuvrer en faveur d'une gestion intégrée des territoires encouragent cependant à proposer des indicateurs qui caractérisent, bien qu'imparfaitement, les modes de régulation à l'œuvre. Il s'agira donc de capitaliser les éléments d'information et de connaissances à l'issue de cette première application à l'échelle du contrat de la baie de Fort-de-France, pour réitérer la démarche tous les 2 à 3 ans par exemple et suivre ainsi l'évolution du dispositif à plus long terme.

Henri Salomon Madin'Image.

Diversité de bananes

Christophe Bugaud[1], Charlène Joannes Dumec[2], Marie-Odette Daribo[1] Frédéric Salmon[2] Nelly Telle[3]

[1] CIRAD, UMR QUALISUD, PRAM BP 214 97285 Lamentin Cedex 2 - Martinique

[2] CIRAD, UMR AGAP, Station de Neufchâteau 97130 Capesterre Belle-Eau - Guadeloupe

[3] CIRAD, UR Systèmes de cultures bananiers, plantains et ananas PRAM, BP 214 97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique

Des hybrides de banane issus de l'innovation variétale : quelles possibilités de diversification ?

La production mondiale de banane vouée à l'export s'appuie sur une seule variété, la Cavendish, alors qu'il existe plus de 200 variétés de banane comestible. Aux Antilles françaises, il existe une faible biodiversité de la banane dessert. Les variétés les plus connues sont la Gros-Michel, la Frayssinette, la Figue-Pomme, et la Figue-Rose. Malgré un goût apprécié par les consommateurs, elles sont soit difficiles à produire de manière intensive (maladies, faible rendement), soit difficiles à exporter en raison d'une mauvaise aptitude à la conservation. Pire, avec l'arrivée récente de la cercosporiose noire (2010 Martinique et 2012 en Guadeloupe), maladie qui touche les feuilles des bananiers, certaines de ces variétés vont progressivement disparaître. L'innovation variétale est donc une voie privilégiée pour accroître la viabilité et la durabilité des productions agricoles. Celle proposée par le CIRAD sur les bananiers dessert vise à élargir la gamme de variétés qui allient résistance aux maladies et nouvelles caractéristiques de qualité. Les hybrides créés (à partir de croisements variétaux classiques sans manipulations génétiques de type OGM) devront satisfaire une cohorte de critères liés aux exigences environnementales (résistance aux cercosporioses jaune et noire, tolérance aux ravageurs), productivistes (fort rendement, faible coût de production), technologiques (supporter les contraintes liées au transport et au stockage des fruits) et consuméristes en termes de qualité visuelle, organoleptique et nutritionnelle.

Dans cet article, les caractéristiques de qualité d'hybrides issus de l'innovation variétale sont comparées à celles de la variété standard Cavendish, et à quelques variétés issues du patrimoine antillais. Les potentialités de diversification sont explorées. D'un point de vue agronomique, tous les hybrides décrits ici sont résistants aux principales maladies foliaires qui sévissent aux Antilles, les cercosporioses jaune et noire. A ce titre, la culture de ces hybrides représente d'ores et déjà une solution alternative à la réduction des usages pesticides et à la préservation de la culture bananière aux Antilles françaises.

CARACTÉRISTIQUES ORGANOLEPTIQUES

Neuf variétés de banane dessert issues du patrimoine antillais et de l'innovation variétale ont été évaluées à un stade de maturité optimale par un jury de dégustateurs entraînés (Figure 1) (Bugaud et al., 2011). La Cavendish se caractérise par une texture collante, une saveur sucrée et un arôme banane. Les hybrides se distinguent de la Cavendish et des variétés produites localement en Martinique par leur texture (Flhorban 918 - plus fondante), leurs saveurs (Flhorban 919 - très acide, Flhorban 918 - très sucré) et leurs arômes (Flhorban 916 - arôme chimique de type bonbon Arlequin®). Les caractéristiques organoleptiques de ces hybrides sont telles qu'il n'est pas possible de les confondre ni à la Cavendish, ni aux variétés produites localement en Martinique. Les premiers éléments indiquent que les perceptions « sucrée » et « acide » sont fortement pilotées par la concentration en acides organiques (essentiellement les acides citrique et malique). La fermeté, elle, dépend à la fois du taux de matière sèche et du pH. Ces critères physico-chimiques, dont l'analyse est rapide et peu coûteuse (contrairement à l'analyse sensorielle), sont déjà pris en compte par la plateforme de sélection variétale basé en Guadeloupe. Leur intégration précoce dans le schéma de sélection variétale réduit le temps et le coût nécessaire à l'évaluation d'une variété.

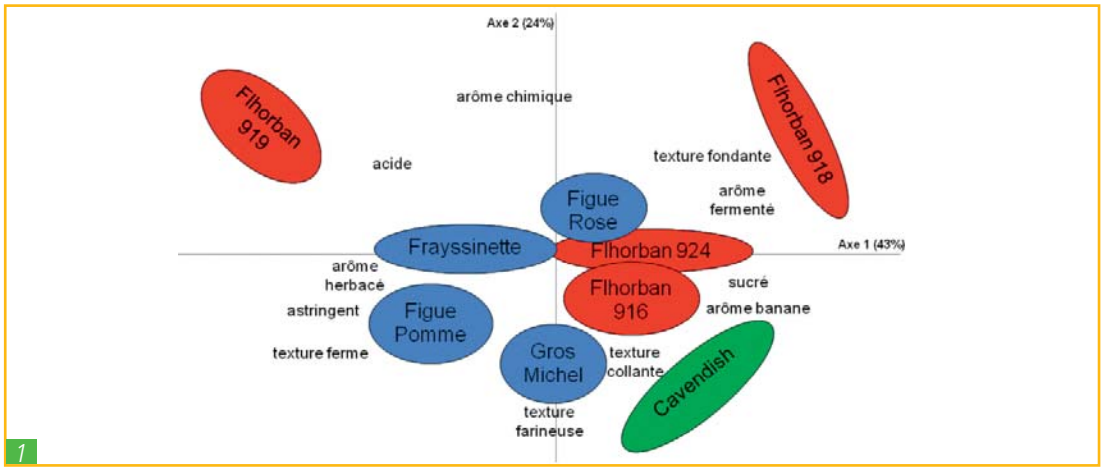


Figure 1 : Caractéristiques organoleptiques de variétés de banane dessert.

En rouge : hybrides issus de l'innovation variétale, en bleu : variétés produites aux Antilles, en vert : la variété standard majoritairement exportée

Photo 1 : Dégrain sur Fhlorban 916

Photo 2 : Frisures sur Fhlorban 925

Photo 3 : Meutrissures sur Fhlorban 920

Pour connaître les préférences des consommateurs, ceux-ci ont été interrogés à partir d'un test hédonique mené en France métropolitaine (Maison de l'Alimentation, Avignon) sur 4 hybrides et la Cavendish (Tableau 1). La Cavendish a été globalement la plus appréciée. Remarquons cependant que chaque hybride est apprécié plus particulièrement par un groupe de consommateurs. Par exemple, l'hybride Flhorban 919 qui est acide (voir précédemment) a été la variété la plus appréciée par le groupe 4 (note de 7.6), alors que pour les autres groupes, elle a été rejetée (note < 3.2). Cela démontre bien que les besoins des consommateurs ne peuvent être satisfaits que par une offre diversifiée de variétés de bananes dessert en termes de caractéristiques organoleptiques.

CARACTÉRISTIQUES NUTRITIONNELLES DE LA BANANE

Les teneurs en matière sèche et en minéraux ont été mesurées sur ces mêmes variétés (Tableau 2). Les hybrides ont des teneurs en matière sèche comprises entre 23 et 27 % les classant indubitablement dans le groupe des bananes dessert. Les hybrides étudiés ont des teneurs en potassium supérieures à celle de la Cavendish. Pour les autres composés minéraux, les teneurs sont proches de celles de la Cavendish. A ce titre, la composition minérale ne constitue ni un frein ni un atout commercial pour le développement de ces variétés.

CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DE LA BANANE

Pour être adoptée par tous les opérateurs de la filière (producteurs, transporteurs, mûrisseurs, distributeurs), la nouvelle variété doit présenter des caractéristiques fonctionnelles lui permettant de supporter les contraintes liées au transport et au stockage. Trois désordres physiologiques majeurs apparaissent généralement sur les fruits une fois récoltés : le dégrain, la frisure et la meurtrissure. Le dégrain résulte de l'affaiblissement du pédoncule du fruit. Les fruits du bouquet se détachent alors, ce qui réduit la durée de vie de commercialisation du produit (Photo 1). La frisure est une altération des tissus de la peau qui résulte de l'exposition des fruits sensibles au froid à une température critique (Photo 2). Chez la Cavendish, la frisure se produit à des températures inférieures à 13°C et se manifeste par une décoloration de la peau

(jaune pâle). La meurtrissure est également une altération localisée des tissus de la peau qui apparaît sur l'étalage suite à des manipulations (Photo 3).

Les fruits meurtris ne sont plus commercialisables. Des méthodes simples et fiables ont été mises au point pour évaluer à la fois la sensibilité au dégrain, à la frisure et à la meurtrissure de nouvelles variétés. Des tests sensoriels d'acceptabilité permettant de déterminer la durée de vie de consommation des fruits complètent l'évaluation du potentiel des nouvelles variétés.

Par ses caractéristiques, la Cavendish représente la variété la plus apte à supporter les contraintes liées au transport et au stockage (Tableau 3) : elle est peu sensible au dégrain et à la meurtrissure, ne frise pas lorsqu'elle est conservée à 13°C et peut être consommée pendant plus d'une semaine (du stade jaune-vert au stade tigré). A l'exception d'une sensibilité à la frisure, l'hybride Flhorban 925 offre un intérêt pour les acteurs de la filière en vue du marché d'export. Son développement nécessitera toutefois la re-

cherche de solutions techniques pour réduire sa sensibilité à la frisure. Bien que pouvant être conservés à 13°C, les autres hybrides présentent des durées de vie de commercialisation et de consommation plus courtes que celles de la Cavendish. Leur développement pourrait être envisagé dans le cas de circuits courts de commercialisation spécifiques comme la restauration collective ou les marchés locaux ou régionaux moins exigeants en termes de contraintes de conservation.

CONCLUSIONS

L'évaluation des premiers hybrides issus du programme de création variétale du Cirad montre qu'il existe une variabilité qualitative pouvant satisfaire aux diverses demandes consuméristes. L'expérience montre qu'au-delà de la réponse aux attentes des consommateurs, l'introduction réussie de nouvelles variétés sur les marchés qu'ils soient locaux, régionaux, spécifiques ou d'export ne sera possible que si ces variétés supportent avant tout les contraintes liées à leur transport et leur stockage après récolte. Actuellement, l'hybride Flhorban 925, est évalué par l'Institut Technique Tropical (IT2) chez plusieurs producteurs en Martinique et Guadeloupe en vue d'un développement pour le marché d'export. Dans le cadre du projet INTERREG Banane Caraïbes, 4 autres hybrides, Flhorban 916, 918, 920 et 924, sont évalués dans les Windwards (Sainte-Lucie, Saint Vincent et Dominique) dans la perspective de préserver un marché local et régional. Sur la plateforme de sélection variétale basée en Guadeloupe, les équipes de recherche du Cirad et de l'IT2 poursuivent l'évaluation des nouveaux hybrides qui feront certainement partie du paysage antillais dans quelques années.

Tableau 1 : appréciation générale d'hybrides

Appréciation générale	Moyenne	Groupe 1 (13 p.)	Groupe 2 (19 p.)	Groupe 3 (12 p.)	Groupe 4 (18 p.)
Cavendish	7.0	**8.2**	**7.4**	5.5	6.7
Flhorban 916	6.0	3.2	**7.4**	6.5	6.1
Flhorban 918	5.3	5.8	4.5	5.1	5.8
Flhorban 919	4.3	2.6	2.9	3.2	**7.6**
Flhorban 920	5.3	4.8	3.2	**7.5**	6.6

Echelle de 0 = je n'aime pas du tout à 10 = j'aime énormément

Tableau 2 : composition minérale de variétés de bananes dessert

Variétés	Matière sèche (%)	Teneur en mg / 100 g de matière fraîche			
		potassium	magnésium	phosphore	calcium
Cavendish	24,7	326	32	16	18
Figue Pomme	26,8	336	30	23	18
Figue Rose	22,2	333	28	13	20
Frayssinette	29,5	332	33	12	22
Gros Michel	26,0	340	28	13	20
Flhorban 916	**28,6**	**390**	**34**	14	**19**
Flhorban 918	23,2	332	32	12	18
Flhorban 919	**26,6**	**360**	23	**20**	18
Flhorban 920	**26,8**	322	32	**26**	10
Flhorban 924	**25,8**	**372**	**36**	15	**22**

Tableau 3 : caractéristiques fonctionnelles de variétés de bananes dessert

Variétés	Sensibilité au dégrain[1]	Frisure (mesurée à 13°)	Sensibilité à la meurtrissure	Durée de vie de consommation (jours)[1]
Cavendish	non	non	non	8
Flhorban 916	très	non	très	4
Flhorban 918	moyennement	non	-	7
Flhorban 919	très	non	-	6
Flhorban 920	moyennement	non	très	5
Flhorban 924	moyennement	non	moyennement	6
Flhorban 925	non	oui	non	8

[1] *Méthode décrite par Daribo et al. (2007)*

T4-R2
T9-R3

Paula Fernandes[1], Peninna Deberdt[1], Marie Chave[2], Sire Diedhiou[1], Sonia Minatchi[1], Régine Coranson-Beaudu[1] et Eric Goze[1]

[1] Cirad-PRAM, BP 214 Petit-Morne, 97285 Le Lamentin Cedex 2

[2] INRA, Unité ASTRO, PRAM - BP 214 Petit-Morne, 97285 Le Lamentin Cedex 2

Des plantes assainissantes candidates pour réduire le flétrissement bactérien de la tomate dans les conditions de la Martinique

Pendant la phase de modernisation de l'agriculture, l'utilisation combinée d'intrants chimiques (engrais, pesticides) et de variétés sélectionnées à forte productivité a simplifié les systèmes de culture allant jusqu'au cas extrême de la monoculture. Cette monoculture conduit non seulement à une réduction de la diversité des peuplements végétaux mais aussi une réduction de la biodiversité microbienne des sols cultivés. Cette érosion biologique a été associée parallèlement à un accroissement des populations de parasites telluriques (Altieri et Nicholls, 2002). A la Martinique, le flétrissement bactérien, causé par *Ralstonia solanacearum*, est responsable de pertes économiques considérables en cultures maraîchères et nous assistons depuis 1999 à un effondrement de la production locale de plein champ qui serait lié à l'émergence d'une population très virulente (phylotype IIB/sequevar4NPB ; Wicker *et al*, 2007 ; 2009).

Le control des parasites telluriques sans le recours aux pesticides fait appel à plusieurs techniques, à combiner dans le cadre d'un programme de lutte intégrée comprenant la résistance génétique, la solarisation, la submersion, l'apport de matières organiques, le travail du sol, les rotations-associations culturales, l'utilisation d'agents biologiques, d'inducteurs de résistance ou encore de plantes non hôtes, antagonistes des parasites identifiés ou dotées de propriétés biofumigantes. Dans les conditions pédo-climatiques de la Martinique d'une part, et compte tenu des traits de vie de la bactérie d'autre part (large spectre de plante hôte, capacité à survivre plusieurs années dans le sol sans culture sensible), la voie qui semble la plus pertinente pour réduire l'incidence de cette bactérie sur les cultures est l'introduction dans les systèmes de cultures de plantes dotées de propriétés assainissantes. Les effets attendus peuvent (Figure 1), en sus des effets biocides directs de la plante sélectionnée , combiner les avantages des rotations culturales, de la gestion des résidus et de l'apport de matière organique.

Compte tenu du peu de connaissances acquises sur les plantes de service identifiées comme agent de régulation efficace sur *R solanacearum*, nous avons choisi d'élargir les plantes candidates à étudier aux espèces connues pour leurs propriétés nématicides notamment contre les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. Ces nématodes phytoparasites constituent les seconds bioagresseurs telluriques majeurs sur cultures maraichères. Les plantes nématicides utilisables en zone tropicale font partie de quelques grandes familles : les Composées *(Tagetes patula, T. erecta, Zinnia sp)*, les Fabacées *(Mucuna deeringiana, Crotalaria juncea, C. spectabilis, Canavalia ensiformis, Aeschynomene americana...)* et les Poacées *(Brachiaria decumbens, Sorghum bicolor subsp. sudanense, ...)*. Certaines de ces espèces ont également un effet suppressif sur les maladies fongiques ou bactériennes : ainsi *Digitaria decumbens* s'est montrée efficace contre le flétrissement bactérien après 2 ans de culture (Messiaen, 1998), ou le sorgho. D'autres comme les Alliacées (oignon, cive, ail), sont à la fois non-hôtes de *Ralstonia solanacearum*, répriment l'expression de la ma-

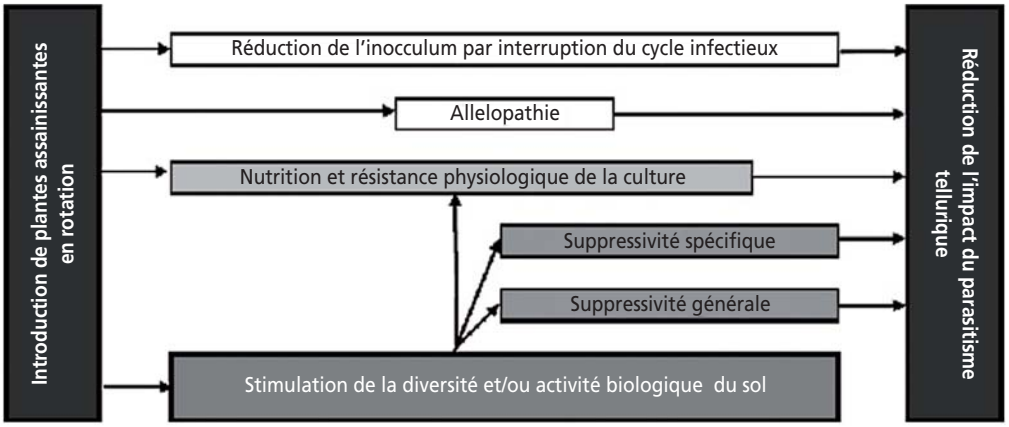


Figure 1. Principaux processus mobilisables, lors de l'introduction dans une rotation, d'espèces à potentiel assainissant sur les parasites telluriques (adapté de Ratnadass et al, 2011).

ladie et font décroître la densité d'inoculum dans le sol (Deberdt *et al.*, sous presse). Leur effet nettoyant, attribué à l'émission de thiosulfinates mixtes par les racines a été démontré avec succès lors de rotations et associations tomate / cive chinoise *(Allium fistulosum)* (Yu, 1999). *Tagetes patula*, dont les racines émettent des thiophènes a également un effet suppressif sur le flétrissement bactérien (Terblanche, 2002). Les crucifères font également partie des espèces ayant des propriétés biocides à large spectre. En effet, leurs tissus, aériens comme racinaires, contiennent des glucosinolates qui, hydrolysés par la myrosinase lors de la destruction de la culture, produisent des isothiocyanates (très proches du métham-sodium) susceptibles de réduire les populations de nématodes, champignons et bactéries telluriques.

Ces trois derniers groupes de plantes (Alliacées, *Tagetes spp*. et Brassicacées) produisent des molécules biocides à large spectre dont l'efficacité commence à être bien connue sur de nombreux parasites telluriques mais dont, à l'inverse, on ne connaît pas, ou peu, les effets sur la microflore utile du sol. De même, les données concernant l'impact des légumineuses et graminées tropicales ayant des propriétés nématicides sur les autres pathogènes du sol et la microflore utile, tant en termes de biodiversité que d'activité, sont encore rares et doivent donc être précisées. Comme le rappelle (Brussaard *et al.* 2004), jusqu'à une époque très récente, les travaux concernant la biodiversité végétale ne prenaient pas en compte la biodiversité du sol et réciproquement.

Par ailleurs, certaines plantes candidates appartiennent à des familles (alliacées, crotalaires) connues pour être favorables à l'établissement de mycorhizes. Les mycorhizes sont des symbioses mutualistes de champignons et de racines qui existent chez 80% des plantes terrestres. Elles favorisent la nutrition hydro-minérale et augmentent la résistance aux stress abiotiques et biotiques des plantes. La tomate bénéficie nettement de la mycorhization pour la biorégulation des agents pathogènes telluriques (Gianinazzi, 2010). Des résultats prometteurs sur l'utilisation de la mycorhization pour la bioprotection de la tomate contre *R. solanacearum* ont été reportés dans le cadre de différents essais en conditions contrôlées (Zhu et Yao, 2004).

Nos hypothèses de travail reposent sur :

- **La rupture des cycles infectieux** par l'introduction dans les systèmes de culture, de plantes dotées de propriétés biocides à l'encontre des bioagresseurs telluriques majeurs de la tomate.
- **L'accroissement de la biodiversité microbienne du sol**, liée à la présence de ces plantes et/ou à leur décomposition, susceptible d'induire une réduction de la pression parasitaire par des phénomènes complémentaires de compétition d'hyperparasitisme, d'antibiose et/ou de prédation.
- **L'augmentation de la mycorhization** dont le rôle bioprotecteur est attribué à différents mécanismes directs et indirects parmi lesquels: compétition pour la colonisation des sites nutritifs, augmentation de la nutrition et stimulation des réactions de défense de la plante.

TROIS DES PLANTES TESTÉES ONT PRODUIT DES RÉSULTATS PROMETTEURS EN CONDITIONS DE SERRE

Une première évaluation de l'efficacité de quatre espèces végétales, retenues après un schéma pluriannuel de sélection multicritères parmi plus de vingt espèces candidates (comportement agronomique multi-local, statut hôte, toxicité des extraits aqueux, capacité à réduire les populations de *R. solanacearum* dans le sol, en conditions contrôlées), a été réalisée sur un sol brun rouille à halloysite (station de Rivière Lézarde, Saint-Joseph) naturellement infesté par la souche émergente en conditions semi-contrôlées, sous serre (Photo 1).

1

Photo 1 : Dispositif d'évaluation de l'efficacité de plantes assainissantes candidates en conditions semi-contrôlées sous serre (P Deberdt).

Les plantes étudiées ont été :

- *Mucuna deeringiana*, provenance Singapour.
- *Crotalaria juncea* cv IAC-1, provenance Brésil.
- *Crotalaria spectabilis* cv Comun, provenance Brésil.
- *Allium fistulosum* ou oignon péyi, provenance Martinique.

Ces espèces (trois légumineuses tropicales et une alliacée) ont été testées sur une durée de végétation de 70 jours (cycle long) et à deux densités de semis différentes (FD : densité recommandée

de semis au champ et DD double densité). Au début de l'essai et en fin de cycle, plusieurs variables ont été analysées conjointement :

- Le potentiel infectieux du sol évalué par la plantation et le suivi du développement du flétrissement bactérien sur la tomate utilisée ici comme bioindicateur (cv. Heatmaster).
- L'azote minéral disponible du sol et l'activité de quatre enzymes du sol.
- La structure des communautés microbiennes
- Le taux de mycorhization des plantes assainissantes en fin de cycle et le taux de mycorhization des tomates après précédent plantes assainissantes.

Concernant la réduction du flétrissement bactérien (Figure 2), les effets les plus notables ont été observés sur les tomates transplantées après un cycle cultural des plantes de services. En effet, les incidences de maladie obtenues dans tous les traitements « plantes assainissantes » ont été significativement réduites en comparaison au traitement «Tomate».

Les incidences de maladie dans les traitements *Crotalaria juncea* cv. IAC-1 et *Crotalaria spectabilis* ont été significativement réduites de 73 à 89% (respectivement pour *C spectabilis* FD/DD et C *juncea* FD) en comparaison au traitement Sol nu (LSD, respectivement, P = 0.045 et P = 0.025). A l'inverse, les incidences de maladie dans les traitements *Mucuna deeringiana* et *Allium fistulosum* n'ont pas été significativement différentes du traitement Sol nu. Cependant, les résultats ont montré que l'incidence de maladie dans le traitement *Allium fistulosum* n'a pas été significativement différente des traitements *Crotalaria juncea* cv. IAC-1 et *Crotalaria spectabilis.*

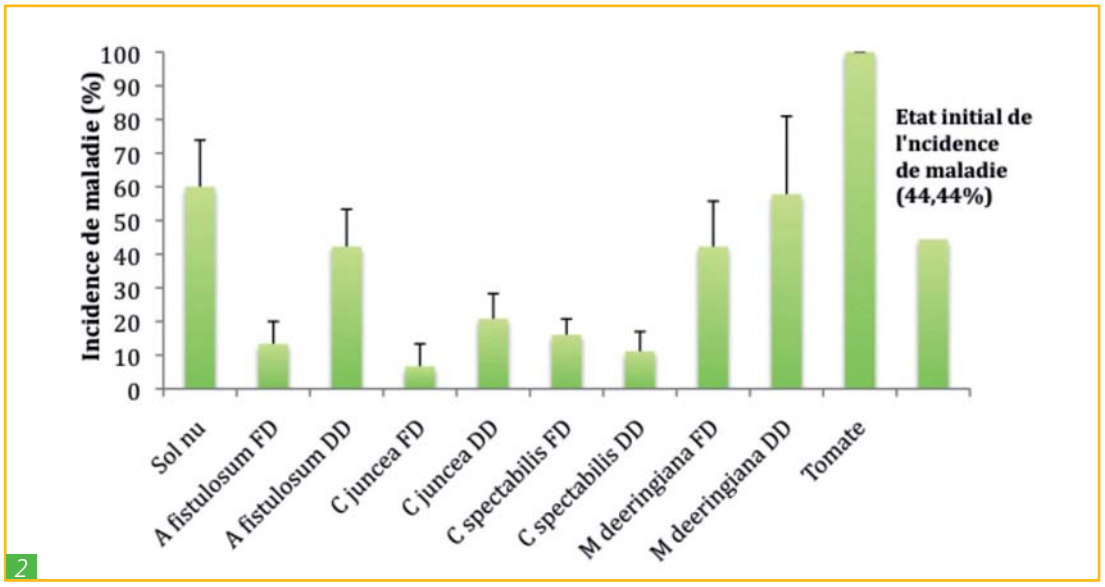


Figure 2 : Incidence de maladie à deux densités de plantation (FD : densité classique et DD : densité double), 28 jours après transplantation sur le bioindicateur tomate (cv. Heatmaster), en conditions de serre. L'état initial de l'incidence de maladie donne le niveau d'infestation du sol au moment du semis sur l'ensemble de l'expérimentation.

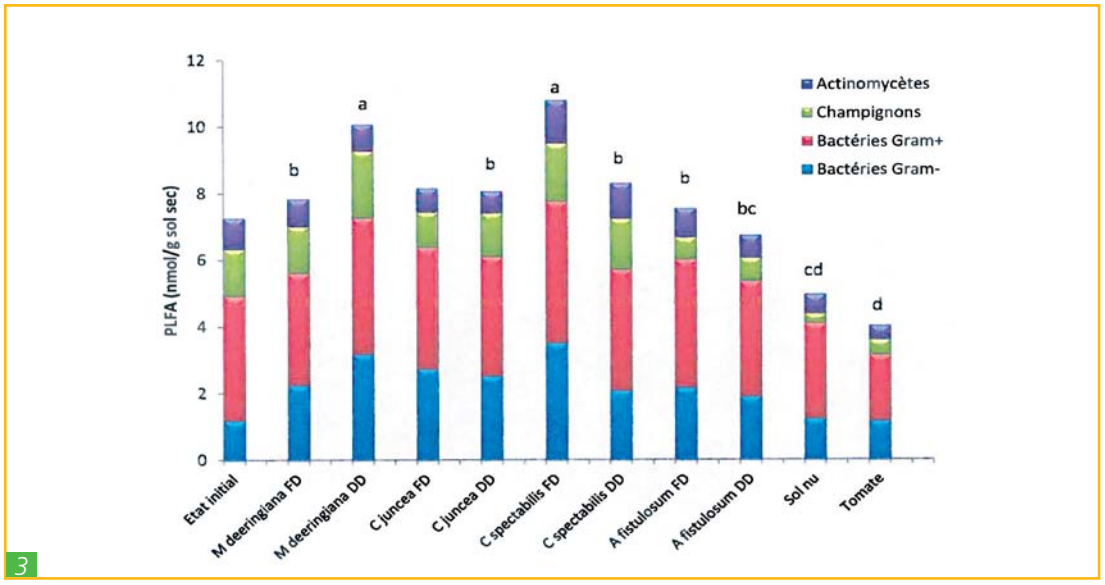
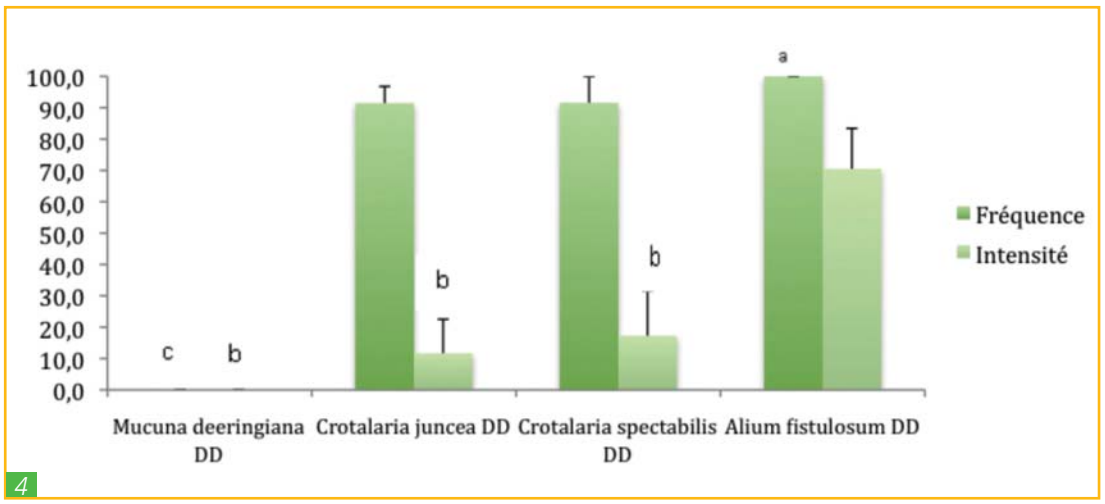


Figure 3 : Structure des communautés microbiennes sous l'effet des plantes assainissantes testées en simple (FD) et double densité (DD) en fin de cycle après 70 j de végétation. L'état initial donne la structure des communautés microbiennes au moment du semis sur l'ensemble de l'expérimentation. Les colonnes surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes sur la somme des PLFA.

Figure 4 : Taux de mycorhization des plantes assainissantes candidates en fin de phase culturale (les colonnes surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes)



Concernant l'impact des plantes assainissantes candidates sur les communautés microbiennes, nous observons qu'elles n'ont pas eu d'effet suppressif sur les populations microbiennes du sol mais qu'au contraire elles les ont stimulées (Figure 3). En effet, après 70 jours de végétation, les communautés microbiennes du sol dans leur ensemble ont vu leur biomasse s'accroître notablement sous l'influence des plantes, notamment si on les compare aux témoins Sol nu et « Tomate ». Les modalités qui ont induit le plus fort accroissement sont *M. deeringiana* DD et C. *spectabilis* FD.

Concernant à présent les mycorhizes, il s'avère que l'une des plantes testées, *M. deeringiana,* est totalement exempte de mycorhizes et donc incapable d'établir cette symbiose alors qu'à l'inverse, *A. fistulosum* (une alliacée, famille connue pour être particulièrement favorable à la symbiose mycorhizienne) est systématiquement et intensément mycorhizée (Figure 4). Il est également intéressant de constater que les deux espèces de crotalaires, *C. juncea* et *C. spectabilis,* sont très fréquemment mycorhizées, même si l'intensité de cette mycorhization est nettement inférieure à celle de l'oignon *A. fistulosum*. Par ailleurs, crotalaires et oignon sont 3 à 12 fois plus intensément mycorhizées que la tomate cv. Heatmaster. Il en résulte une plus forte mycorhization de la tomate après un précédent de *C. juncea, C. spectabilis* et *A. fistulosum.*

CONCLUSION

Parmi les quatre plantes testées, trois ont démontré, en conditions semi-contrôlées, un potentiel à réduire l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate dans le cadre d'une rotation culturale. Il s'agit de *Crotalaria juncea* cv IAC-1, de *Crotalaria spectabilis* cv Comun et d'*Allium fistulosum* cv oignon peyi. Ces espèces à potentiel assainissant peuvent avoir des modes d'action résultant de la combinaison d'un ou plusieurs facteurs : production d'exsudats biocides pour *R solanacearum*, accroissement de la biodiversité microbienne et contrôle biologique de *R solanacearum*, effet protecteur pour la tomate de la symbiose mycorhizienne ainsi stimulée par les plantes de service utilisées en précédent cultural. La prochaine étape sera de valider ces résultats en conditions de plein champ en station. Les meilleures plantes candidates issues de ces phases d'expérimentation pourront alors être testées dans des dispositifs d'évaluations simplifiés chez les producteurs dont les terres sont infestées afin de vérifier la validité de ces rotations en conditions réelles de production sur différents types de sols de la Martinique.

Alain Soler[1], Paul-Marie Alphonsine[1], Claudine Corbion[1], Serge Marie-Luce[2], Patrick Quénéhervé[2]

[1] Cirad-PRAM, BP 214 Petit-Morne, 97285 Le Lamentin Cedex 2

[2] IRD-PRAM BP 214 - Petit-Morne, 97285 Le Lamentin Cedex 2

Les défenses naturelles des plantes contre les bioagresseurs : un nouvel atout dans la mise au point de systèmes de cultures plus écologiques.

Les monocultures, que ce soit en maraîchage ou en cultures fruitières, et l'utilisation intensive de pesticides ont fortement contribué à la baisse de la biodiversité de la faune et la flore dans les agrosystèmes des Antilles. Un déséquilibre dommageable pour l'environnement mais aussi pour les cultures a ainsi été créé entre organismes bénéfiques et organismes pathogènes, au profit de ces derniers.

Dans le même temps, la demande sociétale pour le respect de l'environnement par l'agriculture et pour une offre de produits alimentaires sains s'est accrue. La réglementation en matière d'usage de produits phytosanitaires à fortement réduit le nombre de spécialités autorisées sur le marché. En l'absence d'alternative simple aux pesticides, l'état sanitaire des exploitations aux Antilles s'est fortement dégradé ces dernières années ; tel est notamment le cas pour la culture de l'ananas avec la présence de cochenilles associées à la maladie du Wilt, de nématodes et de symphyles sur les racines, sans oublier de nombreuse plantes adventices.

Cependant, une alternative sérieuse à l'utilisation des pesticides repose sur la «stimulation des défenses naturelles des plantes». Ces défenses naturelles présentent un réel intérêt phytosanitaire même si elles sont encore peu exploitées en champ. Dans son environnement, une plante est soumise à divers stress biotiques ou abiotiques mais elle peut se protéger contre des bioagresseurs potentiels malgré un «système immunitaire» peu évolué. Elle est dotée de plusieurs moyens de défense : le renforcement de sa paroi cellulaire, la stimulation de certaines enzymes de protection (peroxydases, polyphenoloxydases ou protéines PR "Pathogenesis Related"), la production de substances biocides de type phytoalexines, de composés phénoliques divers ou de peroxydes toxiques. L'activation de plusieurs voies de signalisation internes à la plante est la clé de ces défenses naturelles globales et non spécifiques contre les bioagresseurs.

Plusieurs types de défenses naturelles globales peuvent être mis en œuvre. D'abord, la réaction d'*Hypersensibilité (HR)* qui se traduit par la mort rapide et programmée des cellules de la plante au point d'attaque par le bioagresseur. Cette réaction ralentit ainsi la progression des bioagresseurs dans la plante. Ensuite les *Résistances Systémiques* qui s'établissent d'abord localement après reconnaissance d'éliciteurs(*). Cette reconnaissance déclenche la propagation de la résistance à l'ensemble de la plante grâce à diverses voies de signalisation chimique, d'où le nom de résistances systémiques.

La Résistance systémique acquise (RAS) : Cette résistance systémique se met en place après agression par un pathogène et se caractérise par une voie de signalisation dépendant de l'acide salicylique.

La Résistance systémique induite (RIS) : cette résistance se met en place après interaction avec des organismes non pathogènes voire bénéfiques comme certaines mycorhizes ou des rhizobactéries. Ces micro-organismes endophytes (qui s'établissent dans le système racinaire de la plante) l'aident non seulement à se protéger contre des pathogènes potentiels mais stimulent souvent la croissance de la plante (apport de Phosphore ou d'Azote). La RIS se caractérise par une voie de signalisation dépendant de l'acide jasmonique, dont le dérivé actif principal est le méthyl-jasmonate (composant principal de l'arôme du Jasmin). Diverses autres molécules jouent également ce rôle de signal à travers la plante comme le peroxyde d'hydrogène H_20_2 qui a aussi un rôle direct de défense en raison de sa toxicité pour les bioagresseurs. En milieu naturel, un ajustement fin entre les diverses voies de signalisation s'établit en permanence en fonction des variations du milieu et les contraintes subies par les plantes.

C'est vers ce dernier type de résistance *(RIS)* que nous avons orienté nos recherches pour l'ananas et la banane. Différents auteurs ont démontré l'induction de RIS en laboratoire soit par application directe de méthyl-jasmonate soit après mycorhization des plants pour la banane ou la tomate (Elsen *et al.,* 2008, Vos *et al.,* 2012). Ces défenses naturelles non spécifiques pourraient donc bien contribuer à une gestion alternative des bioagresseurs dans des systèmes de production plus écologiques (Valade and Goodman, 2004, Poso and Azcon-Aguilar, 2007). Notre objectif est donc à terme de mettre en place des systèmes agriculturaux permettant de restaurer une certaine biodiversité par l'utilisation de plantes de services. Cette biodiversité favorisant la mycorhization ou l'installation de rhizobactéries dans les systèmes racinaires des plants leur

**Eliciteurs : les éliciteurs sont des petites molécules reconnues par des récepteurs membranaires de la plante. Lorsqu'elles proviennent d'un organisme pathogène (nématodes, champignons) ou d'un organisme bénéfique (mycorhyzes, rhizobactéries), on parle d'éliciteurs exogènes. Mais suite à une interaction avec un organisme étranger, la plante peut produire ses propres éliciteurs, par exemple des petites molécules, issues des parois cellulaires, on parle alors d'éliciteurs endogènes.*

Figure 1 : Stade d'extraction des nématodes R. reniformis du système racinaire de l'ananas. (Croissance des plants en pots durant 3 mois, poids initial 125g, poids final 201,6g. Les nématodes sont extraits de la gaine de sol entourant les racines).

Figure 2: Evaluation du développement de la population des nématodes après application du methyl-jasmonate sur les 2 variétés MD-2 et Cayenne lisse. LAM : laminarine ; Met-Jasm : methyl-jasmonate ; SA : acide salicylique.

permettra de réguler et mieux tolérer les bioagresseurs du sol (Zamioudis and Pieterse, 2011). A titre d'exemple, nous avons mis en place une série d'expérimentations en serre pour caractériser une réponse de type RIS sur deux variétés d'ananas (MD-2 et Cayenne lisse) après application d'éliciteurs (méthyl-jasmonate, acide salicylique, et laminarine) pour contrôler le développement du nématode phytoparasite *Rotylenchulus reniformis.* Nous avons suivi les populations de nématodes et l'évolution de certaines activités enzymatiques liées à la défense des plantes. Les enzymes oxydatives, la lipoxygénase (LOX) et la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) contrôlent respectivement le niveau d'espèces toxiques de l'oxygène dans les cellules de plante, la synthèse endogène de méthyl-jasmonate, et la synthèse d'acide salicylique et de composés phénoliques.

1

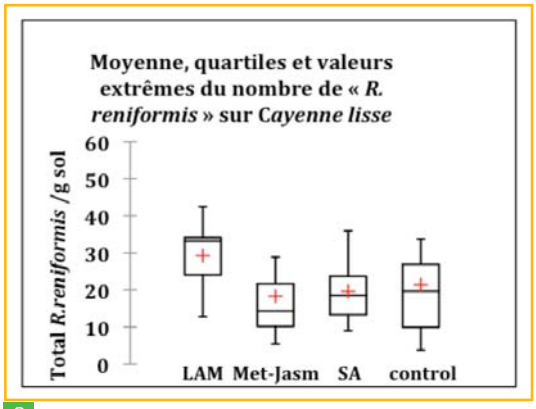
Matériel et Méthodes

Des rejets (matériel de plantation de 100 à150 g) d'ananas des variétés Cayenne lisse (SC) et MD-2, ont été plantés en pots de 1L dans un mélange sol-compost en serre. Après 2 mois de croissance , 50mL d'une solution d'éliciteur méthyl-jasmonate 10^{-4} M ; acide salicylique 10^{-3} M ; -1,3-glucanes) ont été appliqués à la surface du sol de chaque pot. Le poids moyen des rejets au moment du traitement était passé à 201.6±42.7g (fig 1). 5000 R. reniformis par pot ont été inoculés 1 semaine après le traitement par les éliciteurs. Les populations de nématodes ont été évaluées 45 jours après inoculation (vermiformes, juvéniles et mâles, ainsi que femelles et masses d'œufs). Des plants non inoculés ont été utilisés pour la mesure d'activités enzymatiques liées aux résistances systémiques : Catalase (CAT), Superoxide dismutase (SOD), Phenylalanine ammonia lyase (PAL) and Lipoxigenase (LOX) ; pour ces enzymes, les résultats ont été exprimés en unités arbitraires sur des extraits bruts de racines.

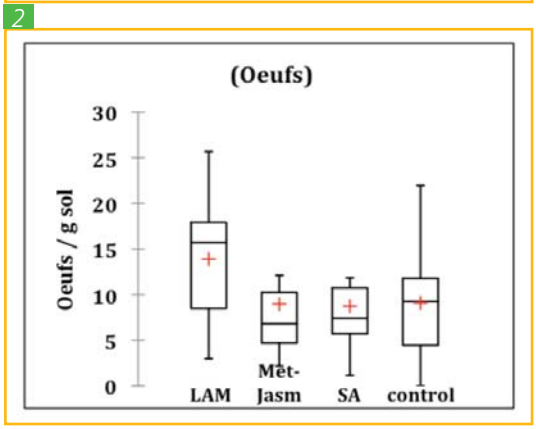
RÉSULTATS

1- Incidence sur les populations de nématodes

La variété d'ananas MD-2 a réduit le développement des populations de nématodes après traitement aux éliciteurs. Ces réductions de populations de nématodes allaient jusqu'à 70% par rapport aux témoins. La fécondité a été particulièrement affectée par les traitements éliciteurs (réduction du nombre de masses d'œufs), ce qui implique un faible dynamisme de la population de *R. reniformis* (Fig. 2 et 3).



2



Le MD-2 est une variété d'ananas dont nous avons précédemment établi qu'elle était plus tolérante aux nématodes que la variété Cayenne lisse (Soler *et al.*, 2009). Mais il est important de noter qu'en dehors de tout traitement stimulant les résistances systémiques sur MD-2, les populations de nématodes s'y développent fortement. Simplement, la variété tolère mieux cette présence de nématodes, notamment en produisant un chevelu racinaire important. Cette observation faite précédemment, s'est également vérifiée au cours de cette expérimentation (Sur les témoins non traités, nous avons observé plus de nématodes sur la variété MD-2 que sur la Cayenne Lisse).

2- Incidence sur les activités enzymatiques

Les traitements au méthyl-jasmonate et à la la-

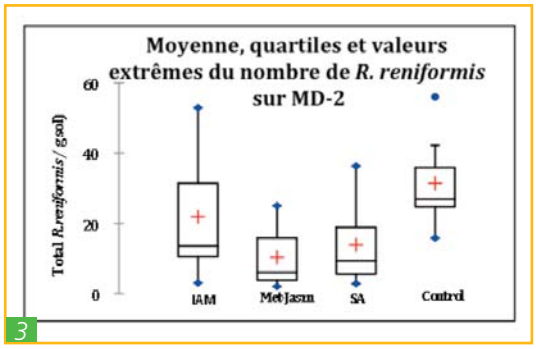
Figure 3: Populations totales après applications d'éliciteurs ou d'eau sur le système racinaire de MD-2. LAM : laminarine ; MetJasm : methyl-jasmonate ; SA : acide salicylique. ('Total' signifie 'adultes + œufs').*

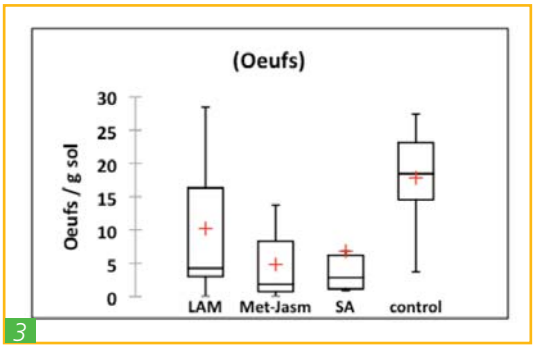
Figure 4 : Evolution de 3 activités enzymatiques impliquées dans le contrôle des espèces toxiques de l'oxygène dans les plantes après application d'éliciteurs ou d'eau. (CAT = Catalase, SOD = Super Oxide dismutase, APX =Ascorbate Peroxidase). Activités exprimées en : Unités / g Frais de racine, 1Unité = 1dDO/min à 240 nm et 290 nm respectivement pour CAT (consommation H_2O_2) et APX (ascorbate consommation) et pour la SOD,% inhibition de production de O^{2-} par la xanthine-oxidase sur xanthine. Standard deviations at α=0.05.

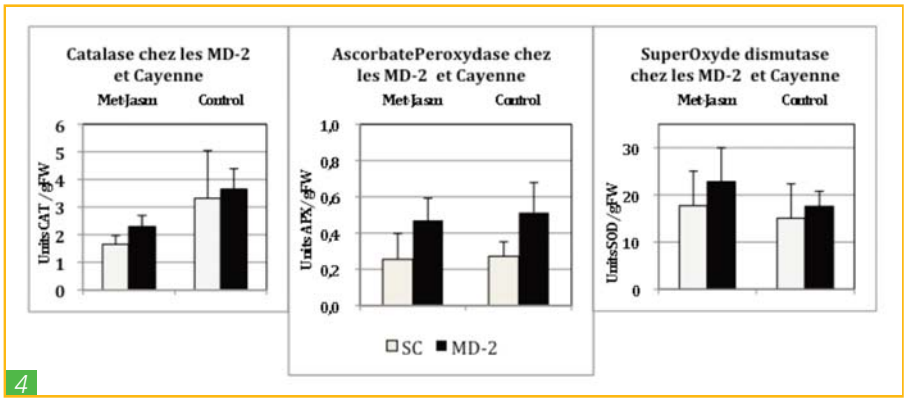
Figure 5: Activités LOX et PAL après application d'éliciteurs ou d'eau sur le système racinaire de MD-2 et de Cayenne lisse. Activités exprimées en : Unités / g Frais de racine, 1Unité = 1dDO/min à 234 nm pour LOX et 1Unité = 1dDO/h à 420 nm pour PAL.

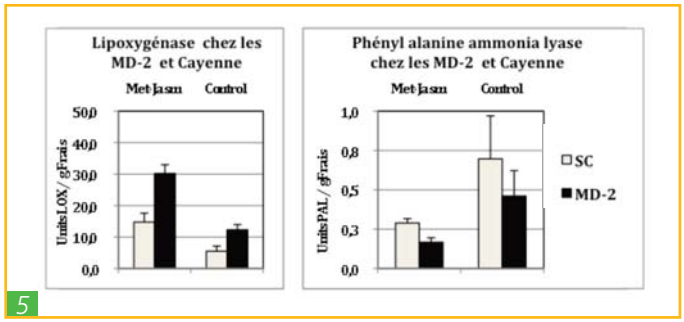
Figure 6: Activité PPO après application d'éliciteurs ou d'eau sur le système racinaire de MD-2 et de Cayenne lisse. Unités / g Frais de racines, 1Unité = 1dDO/min à 420 nm.

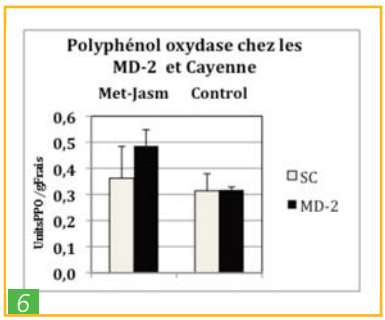
minarine ont induit des variations d'activités enzymatiques similaires et significatives ; le traitement à l'acide salicylique a eu un effet inverse. Seules ont été présentées ici les mesures effectuées après traitement au méthyl-jasmonate *(Fig 4, 5 et 6)*. Les variations les plus remarquables concernent la catalase et la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) qui diminuent alors que la lipoxygénase (LOX) augmente légèrement. Il en va de même pour la superoxyde dismutase (SOD) mais qui augmente plus faiblement.
Cette dernière enzyme constitue la première ligne de défense des cellules de la plante contre les espèces toxiques de l'oxygène générées par la plante elle-même en réponse à une agression par les nématodes. La catalase intervient normalement dans le processus de détoxification des cellules de la plante en détruisant les excès de H_2O_2 produits pour lutter contre les nématodes. La légère réduction d'activité catalase entraîne donc une légère augmentation de la teneur en H_2O_2. Juste après le traitement éliciteur, l'H_2O_2 peut être utilisé par la plante comme molécule signal pour propager la résistance systémique dans l'ensemble de la plante. La diminution de la PAL entraîne une diminution de la synthèse d'acide salicylique. Cette synthèse est plutôt caractéristique des résistances systémiques acquises. Dans le même temps, l'augmentation de la LOX permet d'accroître la synthèse d'acide jasmonique (caractéristique des résistances systémiques induites, les RIS. L'ensemble des variations observées pour PAL - LOX devrait donc favoriser la voie de signalisation dépendant du méthyl-jasmonate et la mise en place d'une résistance de type RIS (Beckers and Spoel, 2006).











Enfin, l'augmentation des polyphénol-oxydases et peroxydases reflète une augmentation de la synthèse de composés phénoliques oxydés qui participent directement à la défense des cellules soit par leur toxicité soit par leur implication dans le renforcement des parois cellulaires (Dixon and Paiva, 1995).
Sous l'action du traitement éliciteur la plante commence donc à se préparer à une attaque éventuelle par un bioagresseur. Ce traitement est perçu par la plante comme une agression mais produit une réaction modérée en l'absence de bioagresseurs. Cette réaction consiste en une augmentation globale et réversible des activités enzymatiques de type oxydatif (Alscher *et al.,* 2002 ; Imahori *et al.,* 2008 ; Parent *et al.,* 2008). Il s'en suit une augmentation des concentrations en espèces réactives de l'oxygène (Ions superoxydes, H^20^2, etc) toxiques pour les bioagresseurs mais aussi pour la plante. Les espèces réactives de l'oxygène entraînent à leur tour la production de peroxyde lipidiques (issus des membranes cellulaires) pouvant dégrader les protéines et même l'ADN des cellules (Apel and Hirt, 2004). La plante doit donc mettre en place un système de protection spécifique (SOD, Ascorbate peroxydase, etc) pour limiter ces effets toxiques et assurer un équilibre du niveau de concentration en espèces toxiques de l'oxygène dans ses propres cellules (Mittler, 2002).

CONCLUSION

En considérant à la fois l'impact des traitements sur les populations de nématodes et sur les activités enzymatiques mesurées, nous avons montré que l'ananas est capable de mettre en place un système de défenses naturelles partiellement efficace contre les nématodes. Cependant, il s'avère que toutes les variétés n'ont pas le même potentiel à mettre en place ces défenses naturelles efficaces. Seule la variété tolérante a pu le faire, même si du point de vue enzymatique les 2 variétés, tolérantes ou non, montrent un comportement assez similaire à ce stade du traitement.
En effet, une des caractéristiques des résistances systémiques induites est l'effet « priming » qui consiste en une préparation de la plante à produire une forte réaction de défense mais celle-ci n'est décelable au niveau enzymatique qu'après agression par un bioagresseur. Cette réaction est donc beaucoup plus forte avec un traitement éliciteur qu'en l'absence du traitement mais n'est mesurable qu'au début de l'attaque par le bioagresseur. On peut supposer que cet effet priming ne fonctionnera au sein d'une espèce que sur certaines variétés, pas sur d'autres, car il résulte de la mise en place d'une résistance systémique induite. Cette hypothèse est encours de vérification.

Les endophytes non pathogènes (rhizobactéries ou mycorhizes) peuvent induire ce type de résistance. Combinés aux effets promoteurs de la croissance qu'ils apportent, ces endophytes devraient induire des défenses naturelles contre les bioagresseurs probablement plus efficaces et plus durables que celles d'un éliciteur utilisé seul. Les endophytes pourraient ainsi valablement contribuer à la gestion alternative des bioagresseurs dans des systèmes de production agro-écologiques.

Boîte d'élevage du charançon du bananier.

Fourmis : Solenopsis geminata

Effet des plantes de couverture sur la régulation des ravageurs : cas des nématodes phytoparasites et du charançon du bananier

Gregory Mollot[1], Djibril Djigal[1], Pierre-François Duyck[1], Raphael Achard[1], Jean-Claude Gertrude[1], Serge Marie-Luce[2], Christiane Mauriol[1], Jules Hubervic[1], Patrick Quénéhervé[2], Philippe Tixier[1].

[1] CIRAD, UR Systèmes de culture bananiers, plantain et ananas, PRAM, BP 214, 97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique

[2] IRD, UMR Résistance des Plantes aux Bioagresseurs (IRD-CIRAD-UM2), PRAM, BP 214, 97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique

Les plantes de couvertures sont employées dans les bananeraies des Antilles Françaises pour lutter contre les adventices, et *in fine* limiter l'utilisation des herbicides. Cependant, ces plantes sont susceptibles de fournir de multiples services écosystémiques via les modifications du milieu qu'elles engendrent (structure physique et chimique du sol). L'ajout d'une plante de couverture modifie aussi le fonctionnement global du système au niveau des cycles de l'eau, des nutriments (Tixier *et al.*, 2011), et des interactions entre les communautés d'insectes et de microorganismes (Duyck *et al.*, 2009). L'ajout d'une nouvelle ressource dans le système peut avoir des effets positifs ou négatifs sur ces communautés et notamment les parasites et ravageurs. Parmi ces effets possibles, citons l'augmentation des herbivores et possiblement des ravageurs (si cette ressource peut être consommée par le ravageur), et l'augmentation des populations des prédateurs avec éventuellement une meilleure régulation des herbivores (incluant les ravageurs).

Afin de mieux comprendre comment l'ajout d'une plante de couverture dans une bananeraie modifie la régulation des populations de ravageurs, nous avons comparé les populations de ravageurs, de prédateurs et des autres herbivores dans des situations avec et sans plantes de couverture. Nous avons regardé l'effet de l'ajout d'une plante de couverture sur les réseaux trophiques (ensemble des relations alimentaires entre espèces au sein d'une communauté et par lesquelles l'énergie et la matière circulent) associés aux nématodes phytoparasites et associés aux charançons du bananier.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Effet des plantes de couverture sur les nématodes

Le dispositif expérimental était composé de six traitements comprenant un traitement avec le sol maintenu nu par l'application répétée d'herbicide et de cinq traitements comprenant une couverture spontanée de graminées naturelles et de quatre plantes de couverture : *Paspalum notatum, Neonotonia wightii, Pueraria phaseoloides, Stylosanthes guyanensis*. Chaque placette de 75 m² a été répétée trois fois. La bananeraie et les plantes de couvertures étaient en culture depuis deux ans au moment des mesures. Sur chaque placette, nous avons mesuré l'abondance des nématodes libres du sol (appartenant aux groupes des phytophages, prédateurs, omnivores et détritivores) et les nématodes phytoparasites des racines de bananiers.

Effet des plantes de couverture sur le charançon du bananier

Nous avons mesuré l'abondance des fourmis de l'espèce *Solenopsis geminata*, prédateur potentiel du charançon et plus particulièrement au stade œuf, sur deux sites comprenant chacun deux traitements. Ces fourmis ont été capturées par des pièges de type 'pitfall' disposés sur les parcelles. Un traitement avec le sol maintenu nu avec des applications régulières d'herbicides et un traitement avec la plante de couverture *Brachiaria decumbens*. Nous avons également mesuré le taux de prédation d'œufs de charançons (provenant d'un élevage réalisé au laboratoire) qui étaient déposés au niveau du collet des bananiers (reproduisant ainsi la ponte des femelles de charançons). Vingt bananiers par bloc ont été inoculés avec cinq œufs chacun. Le taux de prédation a été estimé une heure après le dépôt des œufs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

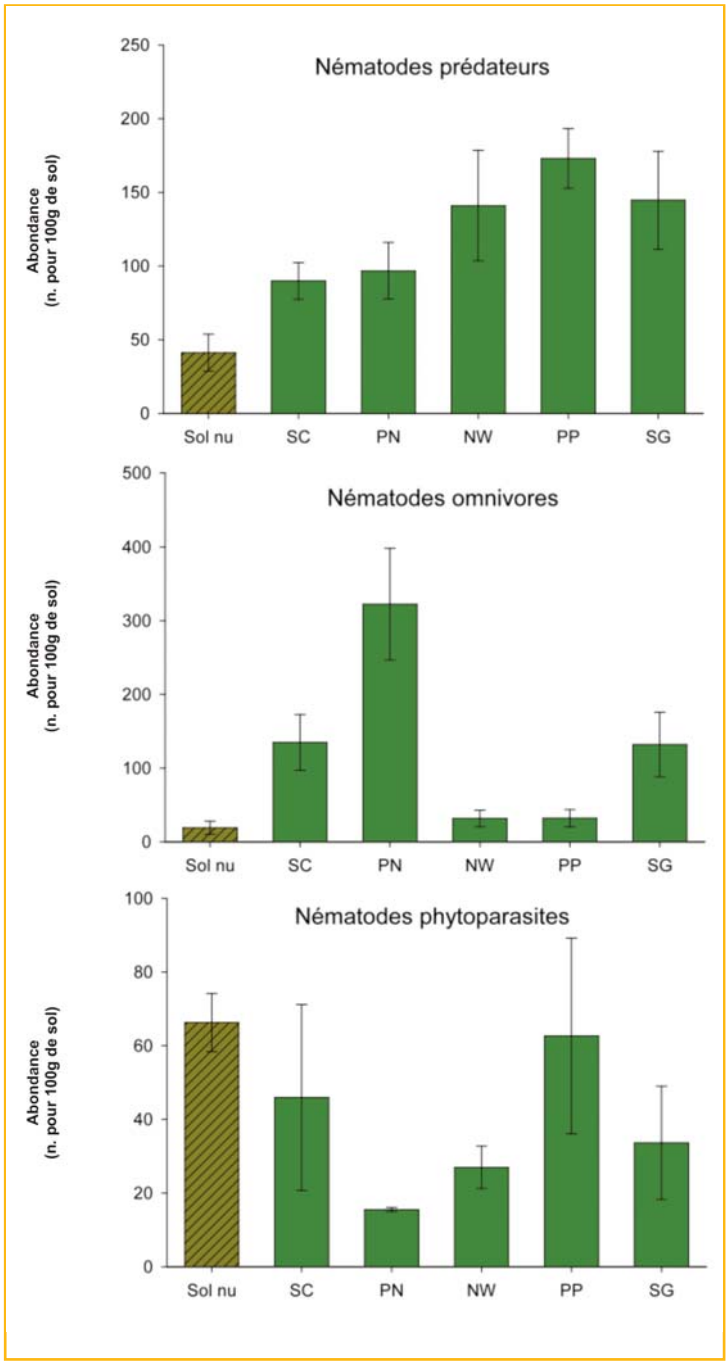
Effet des plantes de couverture sur les nématodes

Nous avons dénombré plus de nématodes prédateurs dans le sol sur les traitements avec plantes de couverture que pour le traitement avec le sol nu (Figure 1). Les nématodes prédateurs étaient plus abondants pour les couverture de *Neonotonia wightii, Pueraria phaseoloides et Stylosanthes guyanensis* (Djigal *et al.*, 2012). De manière similaire, nous avons dénombré plus de nématodes omnivores dans les traitements avec plante de couverture que dans le traitement avec sol nu. Par contre, ce sont la couverture spontanée et la plante de couverture *Paspalum notatum* qui ont permis le développement des populations les plus importantes de nématodes omnivores. Nous avons dénombré plus de nématodes phytoparasites dans les traitements avec les plantes de couverture *Pueraria phaseoloides et Stylosanthes guyanensis* que dans le traitement avec le sol nu. Inversement, nous avons dénombré moins de nématodes phytoparasites dans les traitements avec la couverture spontanée et la plante de couverture *Paspalum notatum* que dans le traitement avec le sol nu. Il

Figure 1. Abondance (moyenne ± erreur standard) des nématodes prédateurs, omnivores et des nématodes phytophages (ravageurs) dans des traitements sans plantes de couverture (sol nu) et avec plantes de couverture (SC : couverture spontanée, PN : Paspalum notatum, NW : Neonotonia wightii, PP : Pueraria phaseoloides, SG : Stylosanthes guyanensis).

n'y a pas eu de différence entre le traitement sol nu et le traitement avec la plante de couverture *Neonotonia wightii.*

Ces résultats nous montrent que l'ajout d'une plante de couverture enrichit le milieu et permet de soutenir un réseau trophique plus abondant (prédateurs et omnivores). Par contre, l'effet sur la régulation des nématodes phytoparasites dépend de l'espèce de la plante de couverture. En effet, la meilleure régulation a été obtenue pour la couverture spontanée et pour la plante de couverture *Paspalum notatum*. Nous pouvons supposer que la régulation ne dépend pas seulement de l'augmentation de l'abondance des nématodes prédateurs mais aussi de la structuration globale du réseau trophique, avec notamment un rôle important pour les nématodes omnivores. Nos résultats suggèrent que les plantes de la famille des graminées sont plus favorables à la régulation des nématodes phytoparasites que celles de la famille des légumineuses. Le rapport carbone/azote des tissus des plantes de couverture est peut être un facteur qui explique cette différence (ce rapport est plus élevé pour les graminées).



Effet des plantes de couverture sur le charançon du bananier

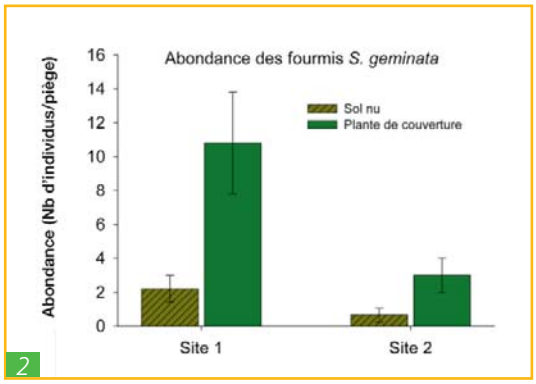
Nous avons mesuré, de manière similaire pour les deux sites, une abondance plus importante des fourmis de l'espèce *S. geminata* dans les parcelles avec la plante de couverture *Brachiaria decumbens* que dans les parcelles avec le sol nu (Mollot *et al.,* 2012) (Fig 2). Il y avait plus de fourmis dans le site 1 que dans le site 2, mais l'effet de la plante de couverture était du même ordre, avec cinq fois plus de fourmis dans le traitement avec plante de couverture. Le taux de prédation des œufs était plus important dans les parcelles avec plantes de couverture que dans le traitement avec du sol nu. Le taux de prédation des œufs était plus important dans le site 2 que dans le site 1, environ cinq fois plus grand pour le site 2 alors que l'augmentation était de environ 1.3 pour le site 1.

Ces résultats suggèrent que l'ajout d'une plante de couverture favorise l'augmentation d'abondance des prédateurs, en particulier des fourmis. L'augmentation d'abondance des prédateurs est liée à la consommation d'une nouvelle ressource associée à la plante de couverture. Nous avons identifié les cicadelles comme nouvelle ressource potentielle favorisée par l'ajout de *B. decumbens.* Les cicadelles sont des hémiptères produisant du miellat, qui représente un apport important de carbohydrates au régime alimentaire des fourmis et qui permet leur augmentation en abondance. Les cicadelles et les charançons partageant le même ennemi naturel, il semblerait qu'il y ait une relation de compétition apparente entre ces deux espèces d'herbivores. L'hypothèse de la compétition apparente permet d'expliquer l'augmentation de la prédation du charançon, dans la mesure où le charançon constitue la proie préférée.

En terme d'applications, il pourrait être intéressant de faire varier la disponibilité en ressource (la plante de couverture), afin de soutenir une population de prédateurs plus importante lorsque la plante de couverture est présente, puis de supprimer les proies alternatives en supprimant la plante de couverture (ou du moins en réduisant sa biomasse) afin que les prédateurs concentrent leur prédation sur le ravageur. Les modèles de simulation du fonctionnement du réseau trophique de la bananeraie que nous développons permettront de concevoir des modes de gestion des ressources basales de l'agroécosystème visant à maximiser le contrôle des ravageurs.

Conclusion et perspectives

Les résultats présentés ici montrent une tendance à l'augmentation de la régulation des ravageurs des bananiers lorsqu'une plante de couverture est ajoutée. Il reste à mieux comprendre l'influence de l'espèce de la plante de couverture sur cette régulation. En effet, nos résultats sur les nématodes phytoparasites montrent que ce facteur a une influence importante. Des modes de gestion intégrée des plantes de couverture restent encore à inventer afin de maximiser les services écosystémiques qu'elles permettent de fournir, tout en prenant en compte les contraintes techniques des agriculteurs.



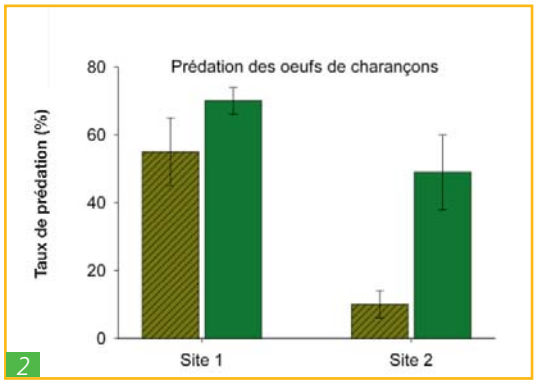


Figure 2. Abondance des fourmis S. geminata et taux de prédation des œufs de charançon (moyenne ± erreur standard) entre des parcelles avec et sans plante de couverture (Brachiaria decumbens) pour deux sites en Martinique.

Thierry Woignier [1], Juan Primera [2],

[1] IMBE(Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie) UMR CNRS7263 - UMR IRD 237, IRD-PRAM, Le Lamentin, Martinique, France

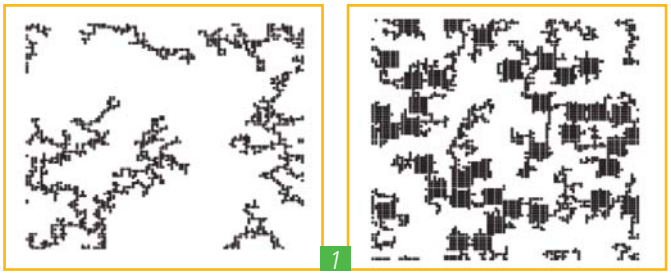
[2, 3] Departamento de fisica, FEC, LUZ. Maracaibo, Venezuela

Simulation numérique de la structure de sols volcaniques : application aux mécanismes de séquestration de la chlordécone

Les sols contaminés par la chlordécone (CHLD) sont les réserves de contamination ultérieure des eaux et des plantes de cultures. Cependant, tous les types de sols ne semblent pas réagir de la même manière avec la chlordécone et notamment la capacité à retenir la chlordécone dans la structure poreuse peut être très différente, en fonction du type de sol. Ainsi, des travaux en cours ont montré que les andosols sont des sols fortement pollués mais, paradoxalement, ils sont moins contaminants pour l'eau de ruissellement et les plantes qui y sont cultivées que d'autres sols (sols à halloysite par exemple). Les Andosols sont aussi appelés «sols à allophanes» car ils contiennent généralement une forte proportion de ces argiles. La littérature (Cabidoche *et al.*, 2009 , Brunet *et al.*, 2009) fait souvent l'hypothèse que l'aptitude à fixer la chlordécone dans les andosols est une simple conséquence directe de la forte concentration en matière organique dans ces sols. Cependant des travaux précédents ont montré que l'argile allophane présente des propriétés structurales particulières : c'est une argile amorphe caractérisée par un volume poreux important, une surface spécifique élevée ainsi qu'une porosité fortement tortueuse (Chevallier 2008, Wada 1985). Dans ce travail, nous nous intéresserons à l'influence de la structure poreuse de l'argile allophane sur la capacité de rétention de la chlordécone. Nous supposons que la microstructure des agrégats d'allophane à l'échelle du nanomètre influence sur les propriétés de transport (perméabilité) dans les agrégats d'allophane et donc sur leur aptitude à piéger des espèces chimiques. Nous modéliserons l'effet de ce type de structure sur les propriétés texturales (volume poreux, taille moyenne de pores, surface spécifique) et nous calculerons la perméabilité. Le but de cette modélisation est de proposer un éclairage simplifié mais utile de l'évolution des propriétés physiques de ces milieux extrêmement poreux que sont les sols à allophane.

SIMULATION NUMÉRIQUE

Il a été montré que le modèle " amas-amas limité par la diffusion » (DLCA- Diffusion-Limited Cluster-cluster Aggregation) (Meakin 1983) peut décrire la structure de différents milieux poreux issus des procédés gels (Hashmy, *et al.*, 1994). Ce modèle consiste en un algorithme qui construit de manière aléatoire des agrégats sur un réseau de sites. Initialement les particules sont dispersées de manière aléatoire sur les sites du réseau et toutes les particules peuvent se mouvoir au hasard selon les 6 directions possibles. Les particules se collent de manière irréversible quand elles rentrent en contact avec d'autres particules (ou agrégats). Les agrégats de particules sont aussi capables de bouger et de se coller aux particules et agrégats rencontrés; la procédure est répétée jusqu'à la formation d'un seul amas. Les agrégats d'allophane ont des propriétés physiques très proches de celles des gels synthétiques de silice (Denaix et al, 1999 ; Woignier *et al.*, 2005). En conséquence pour simuler numériquement la structure des agrégats d'allophane, nous avons utilisé le modèle DLCA (Primera et al, 2003) déjà utilisé pour les gels synthétiques. Dans un sol à allophane, il existe d'autres composés solides comme des minéraux et des éléments solides grossiers (ponces, cailloux). Une description de la phase matricielle des sols à allophane (Wallace, 1973) est celle d'une structure très ouverte formée de deux composants : des particules denses et un réseau de type gel d'allophane occupant l'espace entre les particules denses. Dans ce type de structure composite, chaque composant joue son rôle sur les propriétés globales du sol notamment en termes de volume poreux et de taille moyenne de pores ainsi que de perméabilité. Partant de l'hypothèse que la phase allophane est une phase gel, nous avons simulé numériquement la formation de tels gels naturels simples et celle de systèmes composites (Fig. 1). Dans le cas de gels composites, à côté des agrégats de gels, sont présentes



1

Figure 1 : structures simulées des gels simples et gels composites.

des particules denses.
Un algorithme permet alors de mesurer la distribution de taille de pores sur les structures simulés, à partir d'une procédure de mesure par triangulation dans l'espace des pores (Priméra et al, 2003). Pour cela la fréquence d'apparition des pores d'une taille donnée permet de quantifier la distribution en taille de pores (DTP) de la structure simulée. La taille moyenne de pores de la structure simulée (D_{mean}) est extraite de la DTP : $D_{mean} = \sum_i f_i D_i / \sum_i f_i$ où f_i est la fréquence d'apparition des pores de diamètre D_i. "La surface spécifique numérique" du milieu poreux simulé est calculée ainsi :

$$\sum = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{6} S_{ij}}{N}$$

où *j* est le nombre de voisins d'un site occupé et i correspond au différentes directions possibles (6 dans le réseau cubique) , S_{ij} = 1 si le site j est vide et S_{ij} = 0 dans le cas contraire. $\sum$ est normalisée, par rapport au nombre N de particules. Les grandeurs numériques calculées (D_{mean} et $\sum$) sont des grandeurs sans dimension. Afin de quantifier les grandeurs calculées et de les comparer aux valeurs expérimentales, le volume poreux spécifique, le diamètre hydraulique et la surface spécifique sont calculés ainsi :

$Vp = D_{mean} . \sum / 4ps$, $D_h = a\ D_{mean}$ et $S = \sum / ps\ a$

En utilisant *a* = 3nm (Wada *et al.,* 1985) and *ps* =2.5 (Bielders *et al.,* 1990) nous avons calculé les valeurs de *Vp, S* and *Dh*.
Les résultats montrent que le modèle traduit correctement les données expérimentales issues des caractérisations texturales mesurés sur les sols à allophanes, pour le volume poreux **(figure 2)** et la surface spécifique **(figure 3)**. Cependant l'accord est moins satisfaisant pour le diamètre hydraulique **(figure 4)**.

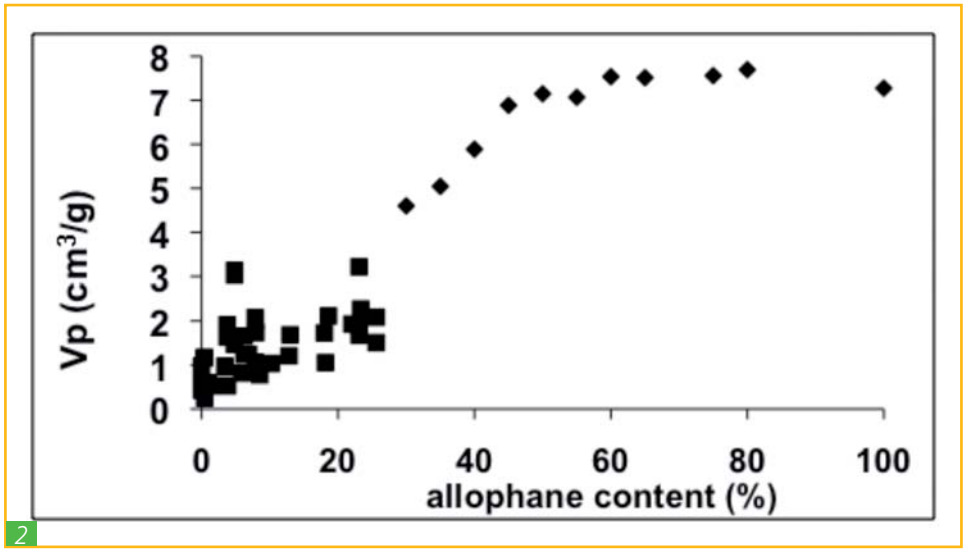


Figure 2 : volume poreux mesuré (carrés) et calculé par la simulation (losanges) en fonction de la teneur en allophane

Figure 3 : surface spécifique mesurée (carrés) et calculée par la simulation (losanges) en fonction de la teneur en allophane.

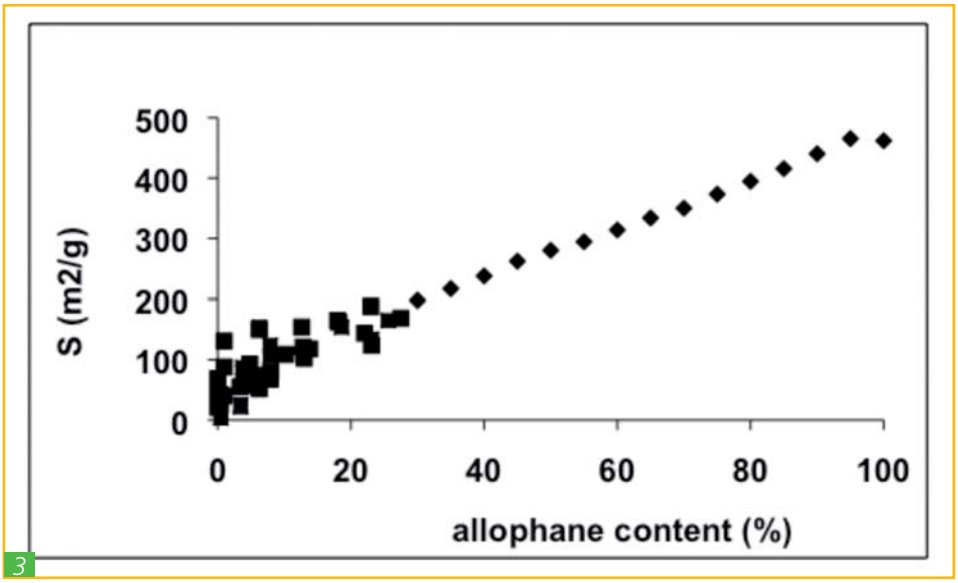
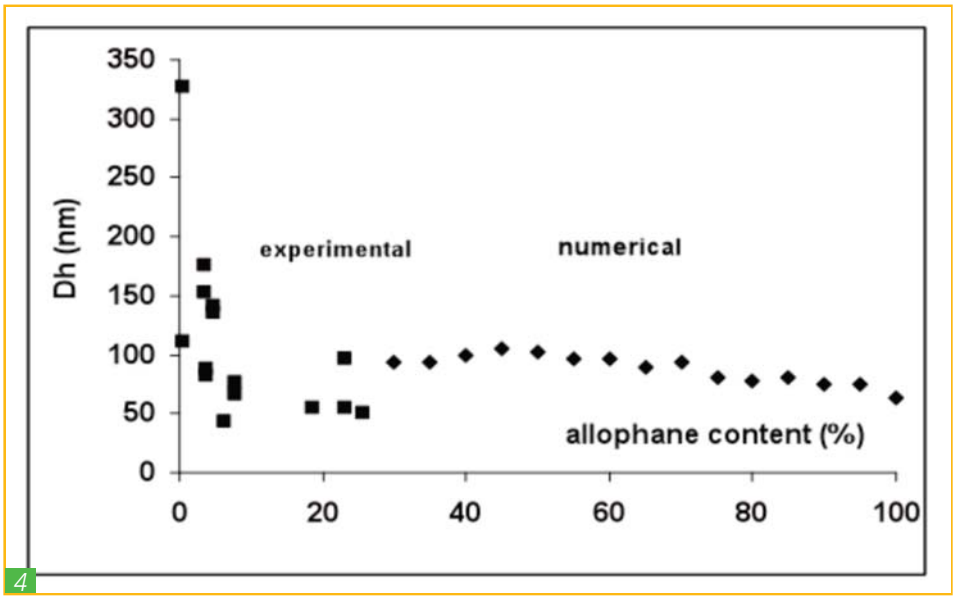


Figure 4 : diamètre moyen de pores mesuré (carrés) et calculé par la simulation (losanges) en fonction de la teneur en allophane

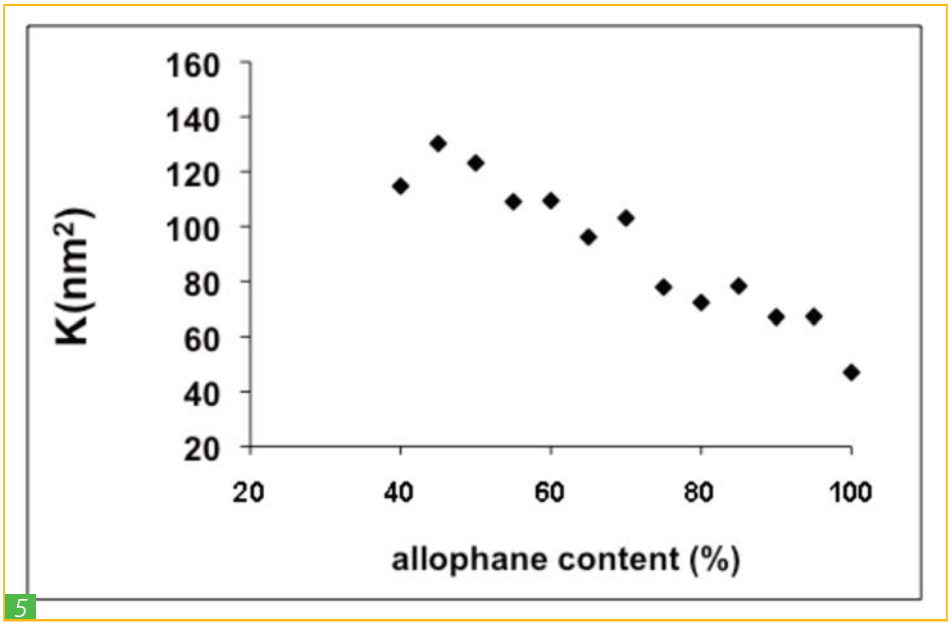


La figure 4 montre que les valeurs de Dh calculées sont plus élevées que les données expérimentales. Nous pouvons proposer une hypothèse pour expliquer le moins bon accord entre valeurs numériques et valeurs expérimentales. Il est probable que la méthode de détermination de la DTP par triangulation ne «voit» pas les pores de plus petite taille entrainant alors une surestimation de la taille moyenne de pores de la structure simulée (D_{mean}). Cependant même si l'accord quantitatif n'est pas excellent les valeurs simulées décrivent correctement la diminution de Dh lorsque la concentration en allophane augmente, ce qui malgré tout montre la robustesse de la simulation. En tout état de cause dans la suite du travail nous n'utiliserons pas les valeurs quantitatives de Dh pour calculer la propriété physique qui nous intéresse : la perméabilité.
La perméabilité constitue certainement un paramètre clé pour comprendre les mécanismes de transfert et de rétention de la chlordecone dans ces sols particuliers.

Grâce aux grandeurs simulées de Vp et S nous pouvons calculer la perméabilité en utilisant le relation de Carman Kozeni (Brinker *et al.*, 1990, Dullien 1979) :

$$K = ps\ Vp^3 / 5\ (Vp\ ps + 1)\ S^2.$$

Figure 5 : perméabilité simulée en fonction de la teneur en allophane



La figure 5 montre que K diminue fortement en fonction de la concentration en allophane. La perméabilité de plus en plus faible conduira à une faible accessibilité et disponibilité de la CHLD présente dans la porosité interne des agrégats d'allophane.

CONCLUSION

La structure réelle des sols volcaniques est bien plus complexe que celle des objets numériques construits et caractérisés dans ce travail. Cependant le but de la simulation n'est pas de décrire la complexité mais de donner une vision simplifiée de la structure tout en permettant le calcul de propriétés physiques qui ne sont pas accessibles à cette échelle. Grâce à la simulation numérique nous avons montré que la perméabilité à l'échelle des agrégats d'argile diminue sensiblement lorsque la concentration en argile allophane augmente. La simulation traduit la forte tortuosité existant dans les agrégats d'allophane ; ces agrégats sont très poreux mais faiblement perméables. Ce résultat est intéressant car il est utile pour comprendre pourquoi les sols à allophane semblent retenir la chlordecone de manière plus importante que les sols non allophaniques. La forte tortuosité de la phase solide conduit à une grande surface développée et de faibles propriétés de transport dans la porosité interne des agrégats d'allophane. Ces deux caractéristiques, grande surface développée et faible transfert sont certainement des paramètres importants expliquant pourquoi ces structures ont une grande capacité à fixer des espèces chimiques et une faible aptitude à les extraire. En effet, compte tenu du confinement interne des agrégats fractals d'allophane il sera difficile de faire se rencontrer la CHLD piégée dans les agrégats avec les espèces chimiques (et ou biologiques), susceptibles de les transformer. Comme il est précisé dans l'introduction, l'affinité chimique de la CHLD pour la matière organique est un point clé de la rétention de la CHLD mais notre étude par la simulation numérique montre que la structure physique tortueuse de l'argile allophane participe certainement aux mécanismes de piégeage.

Quelques faits marquants en images

Années 2011 à 2012

VISITES OFFICIELLES

9-10 juin 2011

Mission conjointe des Responsables nationaux des trois organismes constitutifs du PRAM :

- **M. Roger GENET, Directeur Général du Cemagref et Président de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (ALLENVI),**
- **M. Gérard MATHERON, Président du Cirad,**
- **M. Michel LAURENT, Président de l'IRD.**

Les DG des instituts en compagnie du Président de l'UAG, Pascal Saffache.

MM. Genet (Cemagref), Matheron (Cirad) et Laurent (IRD)

Quelques faits marquants en images

MANIFESTATIONS

11 janvier 2011
Restitution du projet OPTIBAN (Optimisation des traitements aériens contre la cercosporiose de la banane aux Antilles et recherche de méthodes alternatives terrestres)

28 février 2011
Participation à la Journée de l'Innovation Martinique organisée par la Préfecture et le Conseil Régional

18 mars 2011
Participation à l'inauguration de l'Expo Banane et Canne à sucre organisée par le Musée de la Banane

11-13 octobre 2011
Participation au Forum Bod' Lanmè co-organisé par le Cemagref, l'Ifremer, l'Agence des 50 pas géométriques de Martinique.

3-4 novembre 2011
1er Carrefour de l'innovation agronomique des Antilles et de la Guyane organisé par l'INRA et le CIRAD

17-19 novembre 2011
Participation à la 20e édition de la Fête de la Science

15 mars 2012
Participation à la 9e Journée technique de l'AMADEPA au Palais des Congrès (Madiana)

DIVERS

5 avril 2011
Sortie du n° 9/10 de la revue « Les Cahiers du PRAM » : *Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles*

1er octobre 2011
Patrick QUENEHERVE devient le nouveau Représentant de l'IRD à la Martinique

1eer novembre 2011
Sortie de la revue "Agronews Antilles-Caraïbe" du Cirad

29 novembre 2011
Le Cemagref adopte une nouvelle identité ; il devient l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea)

Projet OPTIBAN : Prototype

Fête de la science : animation stand PRAM

Références bibliograpiques

Article 1

Agroécologie des systèmes multi espèces : un pôle d'excellence scientifique aux Antilles

[1] Gliessman S.R., 2007. Agroecology: the ecology of sustainable food systems. CRC Press, Taylor & Francis, New York, 384 p.

[2] Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Titonnell P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. European Journal of Agronomy. 34 (4), 197-210. http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006

[3] Allen, P. 2008. "Sustainable Agriculture Movement." In the Encyclopedia of Rural America: The Land and People, vol. 2:N-Z. G. Gorham, ed. Millerton, NY: Grey House Publishing. Invited chapter.

Article 2

Suivre et évaluer les politiques territoriales de développement durable : exemple d'une méthode par indicateurs d'intégration et application au contrat de la Baie de Fort-de-France en Martinique

[1] Arts B., Leroy P., 2006, Institutional dynamics in environmental governance, Environment and Policy, Springer, 290 p.

[2] Ayong-Le-Kama A., (dir.) 2005, Horizon 2020 : l'État face aux enjeux du développement durable. Commissariat Général au Plan. Rapport Groupe de travail «ÉQUILIBRES », octobre 2005.

[3] Berthet T., 2008, « Les enjeux de l'évaluation territoriale des politiques publiques », Informations sociales, 6 (150), pp. 130-139.

[4] Blondiaux L., Sintomer Y., 2002, « L'impératif délibératif », Politix, 57 (15), pp. 17-35.

[5] Boussaguet L., Jacquot S., Ravinet P., (dir.), 2010, Dictionnaire des politiques publiques, Paris : Presses de SciencesPo, collection Références.

[6] CACEM, 2011. Contrat de la Baie de Fort-de-France, rapport 2010 : avancement du programme d'actions et proposition de programmation 2011.

[7] Ghiotti S., 2006, « Les Territoires de l'eau et la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou les limites d'une évidence », Développement durable et territoires, Dossier n°6 : Les territoires de l'eau [En ligne].

[8] Grandgirard A., 2007, De la gestion intégrée comme doctrine à l'intégration comme défi de gestion. Thèse de l'Ecole des Mines de Paris, spécialité sciences de gestion, Université Paris IX Dauphine.

[9] Hénocque Y., Billé R., 2005, « Gestion intégrée du littoral : analyse des processus à l'œuvre et mesure des progrès accomplis dans le cadre d'une approche incrémentielle de l'intégration ». Actes du colloque international Prospective du littoral - Prospective pour le littoral : un littoral pour les générations futures, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 1-2 mars 2005, Paris, France.

[10] Knoepfel P., Larrue C., Varone F., 2001, Analyse et pilotage des politiques publiques, Genève, Bâle, Münich, Helbing & Lichtenhahn.

[11] Lafitte A., 2010, Méthode d'élaboration d'indicateurs de suivi des opérations de gestion intégrée du littoral méditerranéen. IFREMER - Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse.

[12] Lascoumes P., Le Bourhis J-P., 1998, « Le bien commun comme construit territorial. Identités d'action et procédures », Politix, 42(11), pp. 37-66.

[13] Rey-Valette H., Roussel S., 2006. « L'évaluation des dimensions territoriale et institutionnelle du développement durable : le cas des politiques de Gestion Intégrée des Zones Côtières », Développement durable et territoires, Dossier n° 8 [En ligne].

[14] Rey-Valette H., Mathé S., 2009, « L'évaluation de la gouvernance ou l'évaluation pour la gouvernance ? De la recherche d'un référentiel à l'institutionnalisation d'un apprentissage collectif ». Actes du 46ème colloque de l'ASRDLF, 6-8 juillet 2009, Clermont-Ferrand, France.

[15] Rey-Valette H., Chia E., Soulard C., Mathé S., Michel L., Nougarèdes B., Jarrige F., Maurel P., Clément C., Martinand P. Guihéneuf P.-Y., Barbe E., 2010, « Innovations et gouvernance territoriale : une analyse par les dispositifs ». Communication au colloque Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food (ISDA), 28-30 juin 2010, Montpellier, France.

[16]Rocle N., Lafitte A., Denis J., Hénocque Y., 2011, « Mesurer l'intégration dans l'action publique territoriale. L'exemple de la gestion intégrée de la mer et du littoral ». Actes du 48ème colloque de l'ASRDLF Migrations et Territoires, 6-8 juillet 2011, Schœlcher, France.

[17] Salles D., 2009, « Environnement : la gouvernance par la responsabilité ? », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors série n°6 [En ligne].

Article 3

Des hybrides de banane issus de l'innovation variétale : quelles possibilités de diversification ?

[1] Bugaud C., Deverge E., Daribo M.O., Ribeyre F., Fils-Lycaon B., Mbéguié-A-Mbéguié D., 2011. Sensory characterisation enabled the first classification of dessert banana. Journal of the Science of Food and Agriculture 91, 992-1000.

[2] Daribo M.O., Paget B., Bugaud C., 2007. Simple methods to evaluate the saleable life and edible life of new varieties of banana. In: W.I. Lugo, W. Colon (Eds), Marketing Opportunities for Agriculture and Forestry Products in the Greater Caribbean – A Challenge for the 21st Century. Proceedings of the 43rd annual meeting Caribbean Food Crops Society, Caribbean Food Crops Society, San Juan, p 194-198.

Article 4

Des plantes assainissantes candidates pour le flétrissement bactérien de la tomate dans les conditions de la Martinique

[1] Alabouvette C., Backhouse D., et al. 2004. Microbial diversity in soil - effects on crop health. Managing soil quality : challenges in modern agriculture. Schjonning P., Elmholt S. and Christensen B.T. Wallingfors, Oxon, UK, CAB International: 121-138.

[2] Altieri, M.A. and C.I. Nicholls. 2002. Ecologically based pest Mangement: a key pathway to achieving Agroecosystem Health. Chapter 98. In: Managing for Healthy Ecosystems. D.J. Rapport et al. (eds). CRC Press, Boca Raton.

[3] Brussaard L., Kuyper T.W., et al. 2004. Biological soil quality from biomass to biodiversity - Importance and resilience to management stress and disturbance. Managing soil quality : challenges in modern agriculture. Schjonning P., Elmholt S. and C. B.T. Wallingford, Oxon, UK, CAB International: 139-161.

[4] Deberdt P., Perrin B., Coranson-Beaudu R., Duyck P.F., Wicker E. 2012. Effect of Allium fistulosum Extract on Ralstonia solanacearum Populations and Tomato Bacterial Wilt. Plant Disease (in press).

[5] Gianinazzi S., Golotte A., Binet M.N., Van Tuinen D., Redecker D., Wipf D. 2010. Agroecology: the key role of mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhiza. 20, 519-530

[6]Messiaen C.M. (1998) Le potager tropical. ACCT, Paris.

[7] Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., Habib R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. Agronomy for sustainable development 32, 273-303.

[8] Terblanche J. (2002). The use of a biologically active rotation crop for the suppression of Ralstonia solanacearum in soils used for tobacco production. Bacterial Wilt Newsletter 17, 8-9.

[9] Wicker, E., Grassart, L., Coranson-Beaudu R., Mian D., Guilbau C., Fegan M., and Prior P. 2007. Ralstonia solanacearum strains from Martinique (French west Indies) exhibiting a new pathogenic potential. Appl. Environ Applied and Environmental Microbiology 73, 6790-801.

[10] Wicker E., Grassart L., Coranson-Beaudu R., Mian D., Prior P. 2009. Epidemiological evidence for the emergence of a new pathogenic variant of Ralstonia solanacearum in Martinique (French West Indies). Plant Pathology 58, 853-61.

[11] Yu J.R. 1999. Allelopathic suppression of Pseudomonas solonacearum infection of tomato (Lycopersicon esculentum) in tomato-chinese chive (Allium tuberosum) intercropping system. J. Am. Chem. Soc. 69, 273.

[12] Zhu H.H., Yao Q., 2004. Localized and Systemic Increase of Phenols in Tomato Roots Induced by Glomus versiforme Inhibits Ralstonia solanacearum. J. Phytopathology 152: 537-542

Article 5

Les défenses naturelles des plantes contre les bioagresseurs : un nouvel atout dans la mise au point de systèmes de cultures plus écologiques

[1] Alscher, R.G., N. Erturk and L.S. Heath, 2002. <--role-sod-control-oxydative-stress.Pdf>role of super oxide dismutases (sods) i controlling oxidative stress in plants. Journal of experimental Botany, 53(372): 1331-1341.

[2] Apel, K. and H. Hirt, 2004. Ros, metabolism and signal transduction. Annual Review of Plant Biology, 55: 373_399.

[3] Beckers, G.J.M. and S.H. Spoel, 2006. Fine-tuning plant defence signalling: Salicylate versus jasmonate. Plant Biology, 8(1): 1-10. DOI 10.1055/s-2005-872705.

[4] Dixon, R.A. and N.L. Paiva, 1995. Stress-lnduced phenylpropanoid metabolism The Plant Cell 7: 1085-1097.

[5] Elsen, A., D. Gervacio, R. Swennen and D. De Waele, 2008. Amf-induced biocontrol against plant parasitic nematodes in <i>musa</i> sp.: A systemic effect. Mycorrhiza, 18(5): 251-256. Available from http://dx.doi.org/10.1007/s00572-008-0173-6. DOI 10.1007/s00572-008-0173-6.

[6] Imahori, Y., M. Takemura and J. Bai, 2008. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume (prunus mume) fruit during low temperature storage. Postharvest Biology and Technology, 49(1): 54-60.

[7] Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. TRENDS in Plant Science, 7(9).

[8] Parent, C., N. Capelli and J. Dat, 2008. Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. Comptes Rendus Biologies, 331(4): 255-261.

[9] Pozo, M.J. and C. Azcón-Aguilar, 2007. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. Current Opinion in Plant Biology, 10(4): 393-398. DOI 10.1016/j.pbi.2007.05.004.

[10] Soler, A., P.A. Marie-Alphonsine, P. Topart and P. Queneherve, 2009. How to evaluate the resistance or tolerance of pineapple varieties to nematodes ? . In: VIth IS on Pineapple D. H. R. C. Reinhardt (Ed.). Acta Horticulturae 822:191-198, Brésil: pp: 191-198.

[11] Vallad, G.E. and R.M. Goodman, 2004. Systemic acquired resistance and induced systemic resistancein conventional agriculture. Crop Science, 44: 1920-1934.

[12] Vos, C., D. Van Den Broucke, F.M. Lombi, D. De Waele and A. Elsen, 2012. Mycorrhiza-induced resistance in banana acts on nematode host location and penetration. Soil Biology and Biochemistry, 47(0): 60-66. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071711004512. DOI 10.1016/j.soilbio.2011.12.027.

[13] Zamioudis, C. and C.M.J. Pieterse, 2011. Modulation of host immunity by beneficial microbes. Molecular Plant-Microbe Interactions. Available from http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-06-11-0179 [Accessed 2011/11/13]. DOI 10.1094/mpmi-06-11-0179.

Article 6

Effet des plantes de couverture sur la régulation des ravageurs : cas des nématodes phytoparasites et du charançon du bananier

[1] Djigal, D., Chabrier, C., Duyck, P.-F., Achard, R., Quénéhervé, P. & Tixier, P. 2012. Cover crops alter the soil nematode food web in banana agroecosystems. Soil Biology and Biochemistry, 48, 142-150.

[2] Duyck, P. F., Pavoine, S., Tixier, P., Chabrier, C. & Quénéhervé, P. 2009. Host range as an axis of niche partitioning in the plant-feeding nematode community of banana agroecosystems. Soil Biology and Biochemistry, 41, 1139-1145.

[3] Mollot, G., Tixier, P., Lescourret, F., Quilici, S. & Duyck, P.-F. 2012. New primary resource increases predation on a pest in a banana agroecosystem. Agricultural and Forest Entomology, In press.

[4] Tixier, P., Lavigne, C., Alvarez, S., Gauquier, A., Blanchard, M., Ripoche, A. & Achard, R. 2011. Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. European Journal of Agronomy, 34, 53-61.

Article 7

Simulation numérique de la structure de sols volcaniques : application aux mécanismes de séquestration de la chlordécone

[1] Bielders, C.L., De Backer , L.W., Delvaux , B. 1990. Soils Sci. Soc. Am. J. 54, 822

[2] Brinker, C. J. And Scherer, G. 1990. Sol-Gel Science, Academic Press, New York.

[3] Brunet, D., Woignier, T., Lesueur- Jannoyer, M., Rangon, L., Achard R., Barthes, B., 2009. Environmental Pollution, 157, 3120.

[4] Cabidoche, Y-M., Achard, R., Cattan, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., Sansoulett, J., 2009, Environmental Pollution 157, 1697.

[5] Chevallier, T., Woignier T., Toucet, J., Blanchard, E., Dieudonne, P. 200. Soils J. Sol-Gel Sci. Techn .48, 231-238

[6] Denaix, L., Lamy, I., Bottero, J.Y., 1999, Colloids And Surfaces A : Physicochem. Eng. Aspects 158,P 315

[7] Dullien, F.A.L., 1979. Porous Media Fluid Transport And Pore Structure Acad. Press N.Y.

[8] Hasmy, A., Anglaret, E., Pelous, J., Jullien, R. 1998. Phys. Rev. B 50, 6006 (1994)

[9] Meakin, P., Jullien, R. 1988. J. Chem.Phys., 89 (1) (1988) 246.

[10] Primera , J., Hasmy, A., Woignier, T. , 2003, J. Sol-Gel Sci. Techn 26 671

[11] Wada, K.J. 1985. The Distinctive Properties Of Andosols,In "Advances In Soil Science" Stewart B.A. Eds Springer Verlag.

[12] Wallace, K.B. 1973, Geotechnique 23(4) 203.

[13] Woignier, T., Braudeau, E., Doumenc, H., Rangon, L. 2005. J. Sol-Gel Sci. Tech . 8(1) P61-68.
Simulation numérique de la structure de sols volcaniques : application aux mécanismes de séquestration de la chlordécone

Site Internet
www.pram-martinique.org

LES CAHIERS DU PRAM N° 11

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

Directeur de la publication : Patrick QUÉNÉHERVÉ, Président du PRAM
Coordination : Justine LORDINOT (IRD), Patrick QUÉNÉHERVÉ (IRD)
Comité de lecture : Christian CHABRIER (Cirad), Frédéric SAUDUBRAY (Irstea),
Patrick QUÉNÉHERVÉ (IRD), Justine LORDINOT (IRD)

Photographies : PRAM
Conception, photogravure, impression : Berger Bellepage 05 96 75 14 15
Tirage : 500 exemplaires - Mai 2012
N° ISSN : 1638 - 3974

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement

Institut de recherche pour le développement

Institut national de recherche en sciences et technologies
pour l'environnement et l'agriculture

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 42 30 00 - Fax 05 96 42 30 01

Courriel : pram@cirad.fr

Site internet : www.pram.martinique.org

Berger Bellepage IMPRIM'VERT

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