



SYSTEMES DE CULTURE BANANIERS SANS PESTICIDES : CONCEPTION ET CONDITIONS D'ADOPTION AUX ANTILLES FRANÇAISES

BANANA CROPPING SYSTEMS WITHOUT
PESTICIDES: DESIGN AND CONDITIONS OF THEIR
ADOPTION IN THE FRENCH WEST INDIES

Programme Evaluation et réduction des risques
liés à l'utilisation des pesticides
Rapport de fin de contrat : rapport scientifique

CIRAD - Unité de recherche 26 :
Systèmes de culture bananiers,
plantains et ananas
BP 214 - 97285 Lamentin Cedex,
Martinique France

Dr Philippe TIXIER
CIRAD - UR26
Tel : 0596 42 30 17
Fax : 0596 42 30 01

Date : 20/12/2010

N° de contrat : CV070000779
Date du contrat : 25/07/2007

**SYBAN - SYSTEMES DE CULTURE BANANIERS SANS
PESTICIDES : CONCEPTION ET CONDITIONS D'ADOPTION
AUX ANTILLES FRANÇAISES**

**PROGRAMME EVALUATION ET REDUCTION DES RISQUES LIES
A L'UTILISATION DES PESTICIDES**

Nom du responsable scientifique du projet :

Philippe TIXIER, CIRAD UPR 26

Noms des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :

- Unité Propre de Recherche 26 (CIRAD), Systèmes de culture bananiers, plantains et ananas
- UMR System (AGRO-M ; CIRAD ; INRA), Fonctionnement et Conduite des Systèmes de Culture Méditerranéens et Tropicaux
- Unité de Recherche APC (INRA), Agropédoclimatique
- UMR RPB (IRD ; CIRAD ; Université Montpellier 2), Résistance des plantes aux bioagresseurs, IRD Montpellier
- Unité de Recherche AEMA (CEMAGREF), Agriculture et Espace Insulaire

Synthèse à destination du conseil scientifique : Articulation entre les différentes parties du projet et réalisation des actions prévues

Dans cette partie, nous présentons les réalisations de ce projet au travers d'une sélection des principales publications (numérotées de P1 à P 18, les autres publications issues du projet SYBAN sont présentées dans l'annexe 'texte des publications'). La sélection d'articles réalisée ici permet de bien illustrer les 4 tâches du projet, l'articulation qui a existé entre ces parties, et les faits marquants du projet en terme de réalisations scientifiques.

L'ambition du projet SYBAN était de développer des recherches sur l'étude des processus permettant de limiter l'usage des pesticides, de les intégrer dans des modèles de simulation, de concevoir des prototypes de systèmes de culture innovants et enfin d'évaluer leur adéquation avec le contexte des exploitations agricoles et des filières. Le *continuum* entre ces différentes activités, disciplines, outils et méthodes a représenté un enjeu de recherche particulièrement ambitieux. A chaque étape de la démarche de ce projet, des avancées significatives ont été faites. Que ce soit dans la compréhension des mécanismes biophysiques, de leur modélisation ou des liens entre ces processus et le fonctionnement de l'exploitation agricole. Le lien avec les réalités de terrains a permis de développer à chaque étape les solutions les plus pertinentes possibles : en termes technique, économique et social.

Le projet SYBAN était structuré en 4 tâches présentées dans le schéma ci-dessous (**Figure 1**). Les tâches 1 et 2 ont visé à produire des connaissances de bases nécessaires à la mise au point de techniques culturales. Nous avons étudié dans ces deux tâches les mécanismes biophysiques impliqués dans le développement des bioagresseurs ou des plantes adventices, les traits fonctionnels d'une large gamme de plantes de services, les mécanismes de compétition pour l'azote entre bananier et plante de service, et le rôle du silicium sur les capacités de défense de la plante. Dans la tâche 3, nous avons intégré ces connaissances dans des outils de modélisation afin d'aider à la définition de prototypes de systèmes de culture et à leur optimisation. Différents outils de simulation ont été développés, en réponse à des questions spécifiques (compétition bananier / plante de service ou dynamique d'un ravageur). Dans la tâche 4, nous avons utilisé des enquêtes et des sorties de modèles afin d'évaluer le potentiel d'adoption des systèmes innovants proposés. Cette évaluation et la modélisation de l'adoption de systèmes de culture innovants ont permis de définir de nouveaux critères pour sélectionner les systèmes de culture innovants.

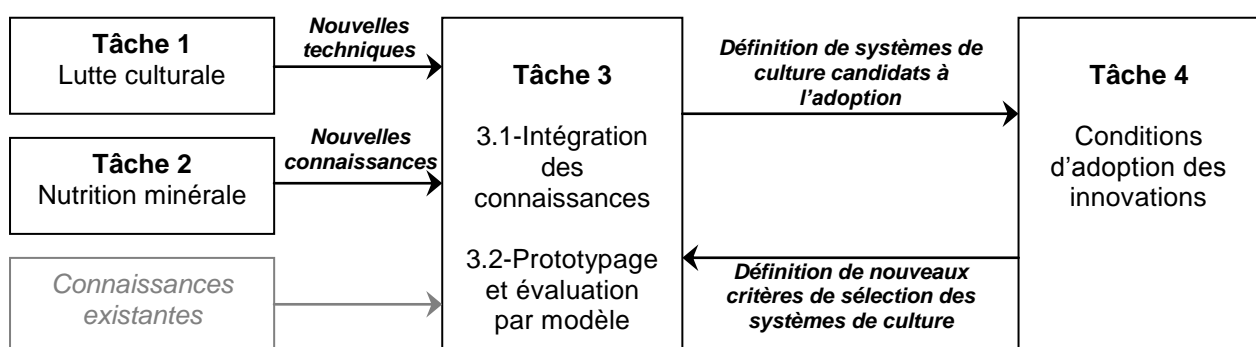


Figure 1. Récapitulatif des interactions entre les tâches du projet

Ce projet a été complété par des projets complémentaires, associant les partenaires de ce projet (projet FEDER Guadeloupe et Martinique, Réseau d'excellence ENDURE, bourses de thèse INRA et CIRAD) et de projets facilitant le lien avec les partenaires avuls de la filière concernée (Plan d'action Banane Durable). L'ensemble de ces projets ont été complémentaires, facilitant par exemple le transfert des systèmes de culture innovants développés dans le projet SYBAN vers les agriculteurs.

La **Tâche 1** a permis d'acquérir les connaissances de base sur le fonctionnement biophysique des agroécosystèmes bananiers, permettant ensuite de mettre au point des modèles de simulation (Tâche 3) et de développer des pratiques culturales innovantes, notamment pour contrôler les bioagresseurs. Les résultats de cette tâche concernent i) la sélection de plantes de services afin de limiter les plantes adventices, ii) la compréhension des facteurs (intrinsèques et extrinsèques) expliquant la dynamique des populations des nématodes phytoparasites, pour *in fine* les contrôler, et iii) la compréhension des facteurs expliquant la dynamique des populations du charançon du bananier.

L'activité de **sélection de plantes de service** a permis de balayer l'ensemble des critères d'évaluation des plantes de services : couvrir le sol, limiter les adventices, ne pas multiplier les bioagresseurs, ne pas provoquer de compétition pour les ressources minérales avec les bananiers, supporter l'ombrage des bananiers, être compatible au niveau technique. La première étape a consisté à évaluer le statut d'hôte de plantes de services vis-à-vis de *Radopholus similis* (**Tableau 1**). Les plantes ayant un taux de multiplication > 10 sont de très bons hôtes de ce nématode et vont augmenter l'inoculum, au contraire celles qui ont un taux < 1 vont participer à assainir les parcelles.

Tableau 1. Evaluation taux de multiplication de *Radopholus similis* pour différentes espèces de plantes de services.

Taux de multiplication > 10	Taux de multiplication 1 à 10	Taux de multiplication < 1
<ul style="list-style-type: none"> . Niébés (5 espèces) . Sarrazin . Sorgho (3 espèces) 	<ul style="list-style-type: none"> . Arachis P. . Dolichos L. . Macroptilium atr. . Macroptilium l. . Maïs . Mil (3 espèces) . Niébés (1 espèce) . Sésame . Sesbania ser. . Stylosanthes guia. 	<ul style="list-style-type: none"> . Brachiaria decumb. . Cajanus cajan . Cynodon dact. . Paspalum not. . Crotalaria (4 espèces) . Giricidia s. . Pueraria phas. . Ricin . Riz (5 espèces) . Sésame (2 espèces) . Tagetes

Nous avons également évalué le potentiel de fixation symbiotique de l'azote pour certaines espèces de plantes légumineuses. Nous avons cherché quelles étaient les conditions permettant à ces plantes d'exprimer leur potentiel de fixation de l'azote. Les analyses isotopiques de l'azote ¹⁵N montrent que les plantes légumineuses fixent l'azote atmosphérique uniquement lorsque le sol est très pauvre en azote (**Figure 2**). Ces résultats suggèrent qu'il serait intéressant d'organiser au sein des parcelles des zones non fertilisées permettant de favoriser la fixation

symbiotique de l'azote atmosphérique. Ce mécanisme est intégré au modèle de simulation SIMBA-IC présenté dans la tâche 3.

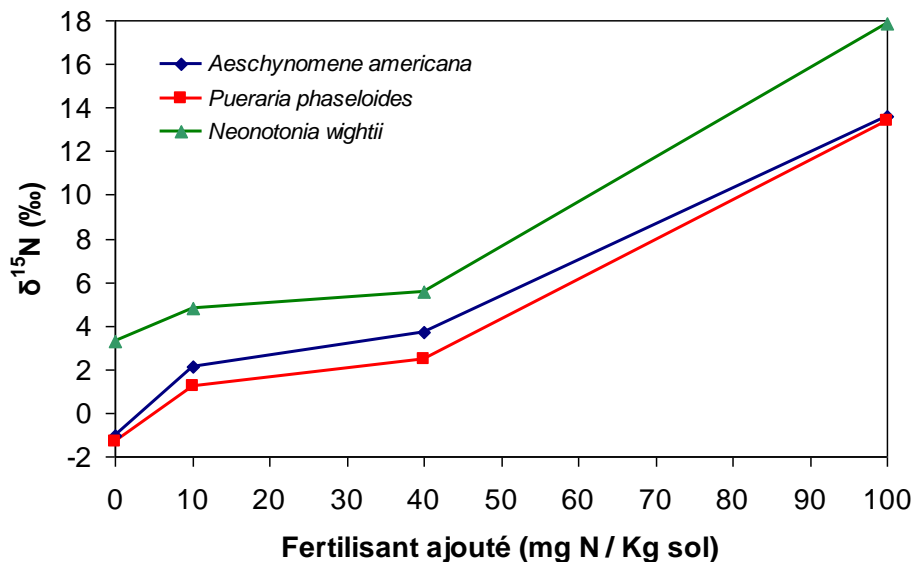


Figure 2. Signature isotopique en azote 15 pour trois espèces de plantes de couverture en fonction de la de la ressource azoté disponible dans le système. Les plantes *A. americana* et *P. phaseoloides* ont une singature qui montre qu'elle fixe l'azote atosphérique uniquement quand le système n'est pas enrichi en azote minéral (fertilisant) ; *N. wightii* semble moins fixer l'azote atmosphérique.

Ensuite, nous avons évalué l'adaptation d'une gamme d'espèce à être associé avec les bananiers. Pour cela, nous avons développé une approche de sélection de plante de couverture assistée par modèle. Cette méthode permet dévaluer de manière précoce (sur la base de mesures en collections de plantes de couverture) si la croissance des espèces évaluées dans une conditions d'association sera suffisante pour contrôler les adventice, durable sur le long terme, et ne pas faire trop de compétition pour les ressources en azote (**P1 - Tixier et al., 2011**). Cette méthode va continuer à être utilisée afin d'optimiser les efforts expérimentaux. A l'issue de cette sélection, nous avons mesuré en conditions d'association les performances agronomiques de l'association des bananiers et des plantes les plus prometteuses. Nous avons mis en évidence que la compétition pour l'azote entre le bananier et la plupart des plantes de couverture (*Cynodon dactylon* et *Neonotonia wightii*) provoque un retard compris en 3 et 8 semaines de l'apparition de la floraison (**Figure 3**). Par contre, il y a une compensation sur le poids du régime formé. Ces informations ont été intégrées dans le modèle de simulation SIMBA utilisé dans la tâche 3.

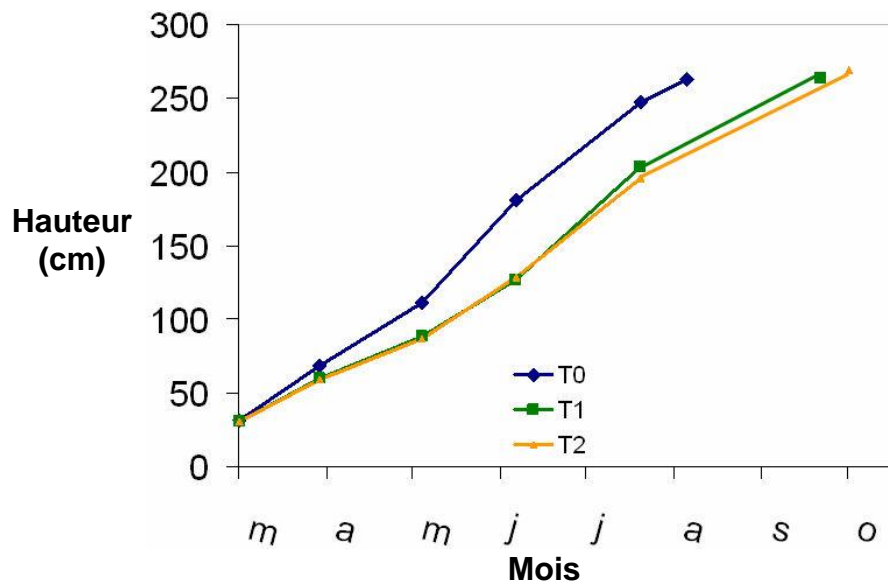


Figure 3. Evolution de la hauteur des bananiers entre la plantation et la floraison avec des bananiers cultivés seuls (T0) ou en association avec *Cynodon dactylon* (T1) ou *Brachiaria decumbens* (T2), montrant un retard de développement mais un rattrapage de la croissance des traitement en association par rapport au traitement en sol nu.

L'activité d'**étude des facteurs influençant la dynamique des populations de nématodes phytoparasites** a permis de comprendre i) les mécanismes de dissémination de ces nématodes et ii) les facteurs biotiques expliquant la structure des communautés de nématodes phytoparasites.

Les nématodes sont des organismes ayant une capacité de dispersion active très réduite, insuffisante pour expliquer la colonisation des parcelles assainies. Nous avons mis en évidence que les nématodes comme *Radopholus similis* utilisent les flux d'eaux pour se disséminer (**P2 – Chabrier et al., 2009**). Les études menées ont permis de mettre au point des pratiques culturales permettant de limiter la contamination des parcelles assainies ; en utilisant des fossés de ceinture qui empêche un flux d'eau contaminé par des nématodes de rentrer dans une parcelle saine. Les plantes de couverture, du fait de leur effet très important sur la limitation du ruissellement et de l'érosion, participent également à cette stratégie de limitation des contaminations au sein d'un réseau de parcelle.

Nous avons également mené une étude sur le rôle des plantes adventices associées aux bananiers sur la structuration de communautés de nématodes phytoparasites. L'objectif était d'établir dans quelle mesure il est possible d'orienter cette communauté avec le choix des plantes associées. Nous avons montré que la communauté des nématodes phytoparasites est structurée par les plantes présentes sur les parcelles (**P3 - Duyck et al. 2010**). Ceci confirme bien que la diversité végétale associée aux parcelles est un levier permettant aux agriculteurs d'orienter les populations de nématodes, permettant de favoriser des structures de communauté limitant le développement des espèces de nématodes les plus dommageables.

L'activité d'**étude des facteurs influençant la dynamique des populations du charançon du bananier** a permis de comprendre i) le rôle de l'organisation des

parcellaires sur la dynamique de colonisation du ravageur ii) le rôle de l'organisation intra-parcellaire sur la dispersion de ce ravageur, et iii) le rôle des plantes de couverture dans la modification du potentiel de régulation des prédateurs généralistes.

Le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) est un insecte marcheur avec une fécondité relativement faible (1 à 3 œufs par semaine par femelle) et une durée de vie pouvant dépasser 1 an. La colonisation des parcelles est lente et se fait par foyer d'infestation. Nous avons montré en suivant un réseau régulier de piège à phéromone que les jachères jouent un rôle prépondérant dans l'épidémiologie de ce ravageur à l'échelle du groupe de parcelles et de l'exploitation (**P4 - Rhino et al., 2010**). Nos résultats montrent que les jachères permettent d'assainir les parcelles (en supprimant la ressource nécessaire au charançon). Par contre, nous avons observé en 1 et 3 mois après la mise en jachère un pic de déplacement des charançons pouvant contaminer fortement les parcelles avoisinantes. Ces résultats suggèrent qu'il est nécessaire d'apporter une attention particulière au piégeage dans les jachères afin de limiter la contamination d'autres parcelles. Ces résultats ont déjà été intégrés par des acteurs privés qui réalisent le piégeage sur des exploitations.

Afin de comprendre précisément la dispersion du charançon au sein des parcelles, nous avons mis au point une méthode originale de suivi d'un insecte marcheur. Cette méthode nous a permis d'identifier les facteurs affectant la distribution spatiale des adultes de charançon. La méthode de radio-télémétrie mise au point (RFID) permet de multiples recaptures, un suivi individuel et ne perturbe pas les individus suivis. Nous avons identifié les facteurs responsables de la distribution spatiale des charançons et caractérisé les trajectoires individuelles (**P5 - Vinatier et al., 2010**). Les connaissances acquises nous ont permis de paramétrer un modèle de dispersion du charançon en milieu hétérogène. Ce modèle a ensuite été utilisé dans la Tâche 3.

Dans deux systèmes de culture, avec et sans plante de couverture, nous avons identifié les espèces présentes dans les communautés et caractérisé les liens trophiques entre ces différentes espèces, notamment celles qui impliquent le charançon du bananier. Nous avons étudié comment favoriser l'instauration de nouveaux équilibres entre communautés et comment favoriser le contrôle du charançon par des prédateurs généralistes. De manière plus précise, nous avons mis en évidence qu'avec l'ajout d'une plante de couverture, il y a une modification du régime alimentaire des prédateurs généralistes (augmentation du degré d'omnivorie) suggérant un potentiel accru de contrôle du charançon (**P6 - Duyck et al., 2011**).

La **Tâche 2** a permis d'acquérir les connaissances sur l'effet de la biodisponibilité du silicium dans le sol sur la tolérance du bananier aux bioagresseurs. L'objectif était d'évaluer des effets de la biodisponibilité en silicium du bananier sur l'impact des bioagresseurs tels que *Colletotricum Musae* (Anthracnose de la banane) et *Cylindrocladium* (maladie racinaire). Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la thèse de Céline Henriot. Le silicium est un élément important pour la nutrition des plantes qui renforce la tolérance aux stress biotiques et abiotiques. L'effet bénéfique d'une amélioration de la nutrition en silicium vis-à-vis de la tolérance aux bioagresseurs a notamment été largement démontré sur le riz (maladies fongiques). Nous avons étudié l'effet de la biodisponibilité du silicium pour le bananier sur l'impact d'autres maladies fongiques (anthracnose, nécroses racinaires générées par *Cylindrocladium*). Nous avons mis en évidence un effet net du type de sol sur la biodisponibilité du silicium pour le bananier. Les sols les plus évolués soumis à fortes

pluviométries (sols ferrallitiques, andosols perhydratés) présentent les plus faibles niveaux de silicium biodisponible tandis que les sols volcaniques les plus récents soumis à des pluviométries modérées (sol brun de la côte sous le vent) présentent les niveaux les plus élevés (**P7 – Henri et al., 2008**). Des dispositifs expérimentaux en conditions contrôlées (bananiers cultivés sous serre en conteneurs) ont montré que le développement de maladies (anthracnose, nécroses racinaires) est globalement diminué quand le niveau de nutrition en silicium est meilleur (voir publications soumises). La nutrition en silicium peut être améliorée avec des apports d'amendements riches en silicium (bagasse de canne à sucre, cendre de bagasse,...) de manière à réduire l'impact des bioagresseurs sur la culture sans utiliser de pesticides.

La **Tâche 3** a permis de développer les outils de modélisation permettant de représenter le fonctionnement de l'agroécosystème. Des avancées ont été réalisées au niveau méthodologique, par exemple dans la simulation des systèmes multi-espèces (associant une plante principale, ici le bananier, et des plantes de services). C'est également dans cette tâche que l'ensemble de connaissances a été intégré afin de concevoir des systèmes de culture innovant et réduisant l'usage des pesticides. Deux approches complémentaires ont été utilisées : le prototypage par expert et le prototypage par modèle de simulation.

La modélisation de la dynamique des bioagresseurs représente un enjeu important permettant de mieux comprendre comment les pratiques culturales influent sur ces populations. Dans le cadre du projet SYBAN, nous avons développé des modèles de simulation pour les nématodes phytoparasites et pour le charançon du bananier. Dans le cas des nématodes, nous avons adapté un modèle existant (SIMBA-NEM) afin de prendre en compte l'effet de la diversité variétale des bananiers sur la dynamique des nématodes phytoparasites (**P8 - Tixier et al., 2008a**). Nous avons montré qu'avec l'utilisation d'un autre cultivar de bananiers, le nématode dominant pouvait être différent (*Helicotylenchus multicinctus* avec l'hybride FB920). Ces modifications de dynamique des populations sont centrales dans les systèmes de culture innovants évalués dans la tâche 4. Dans le cas du charançon du bananier, nous avons développé un modèle de simulation (COSMOS), afin de tester l'effet de l'organisation spatiale des parcelles sur la dynamique spatiale de ce ravageur (**P9 - Vinatier et al., 2009**). Ce modèle a été implémenté à partir des données bibliographiques existantes et des données de radio-téléométrie acquises dans le cadre de la tâche 1. Ce modèle, de type 'individu-centré', intègre la dispersion et la démographie de ce ravageur, la dynamique de sa plante-hôte le bananier, et différents habitats (plantes, plante de couverture, sol nu, piège à phéromone, fossé) L'analyse de sensibilité des paramètres du modèle selon la méthode de Morris a révélé l'importance de la longévité et de la fécondité sur la variabilité et l'intensité des attaques. Nous avons utilisé ce modèle afin de définir des stratégies d'organisation des habitats (plante, résidus de culture) mais aussi pour optimiser les pratiques de piégeage.

La modélisation du fonctionnement sol-plante représente la seconde partie du fonctionnement de l'agroécosystème qui doit être prise en compte. Il s'agit de prendre en compte les cycles bio-géochimiques dans des systèmes de culture (azote) mais aussi comprendre les interactions au sein de couverts pluri-spécifiques. Nous avons développé un modèle de simulation permettant de simuler le cycle de l'azote dans les bananeraies (**P10 – Dorel et al., 2008**). Ce modèle prend en compte les spécificités des bananeraies, liées à la nature semi-pérenne de la plante, à la re-

mobilisation de l'azote entre les différents cycles de culture, et à la nature des sols de Guadeloupe et de Martinique. Ensuite nous avons développé un modèle (SIMBA-IC) qui zone ce fonctionnement azoté (4 zones horizontales sont prises en compte) permettant in fine de simuler des pratiques de gestion des plantes de couverture ou de fertilisation différentes entre ces zones. La **figure 4** illustre la dynamique contrastée de l'azote minérale du sol pour les différentes zones prise en compte. Nous avons également travaillé à la mise au point de formalismes de simulation génériques permettant de simuler des couverts pluri-spécifiques (*P11 - Malézieux et al., 2008*). Ces formalismes représentent la base des modèles développés au sein de nos équipes.

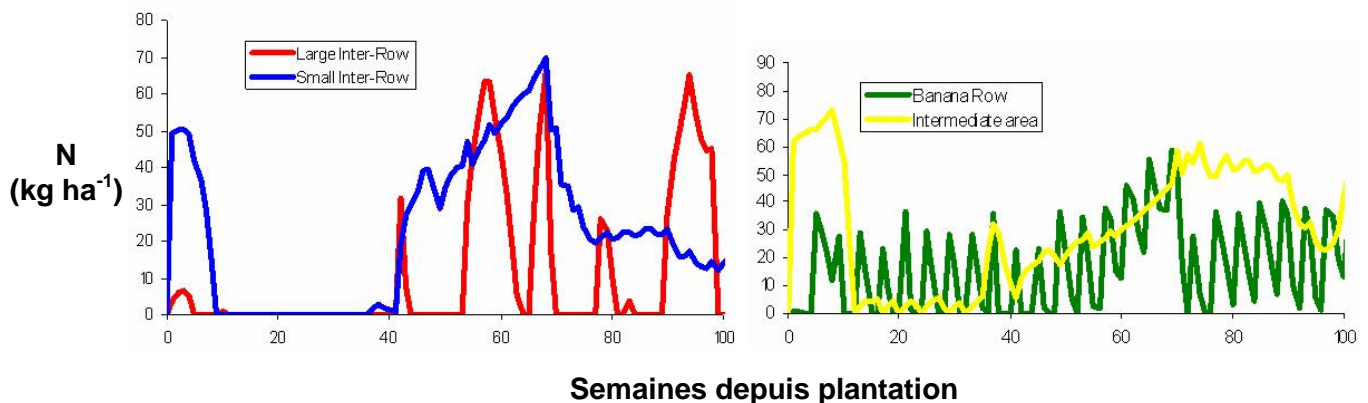


Figure 4. Dynamique de l'azote minéral du sol simulé avec le modèle SIMBA-IC pour 4 zones de la bananeraie.

A partir de la plateforme EPIC, nous avons développé un modèle générique monodimensionnel simplifié permettant de simuler les interactions pour la lumière, l'eau, l'azote, le phosphore et le potassium pour des systèmes multi-espèces (**Figure 5**). Ce modèle permet de prendre en compte une large gamme de critères spécifiques au milieu tropical et à la culture du bananier (i.e. module potassium important pour la nutrition du bananier, contrainte aluminique, restitutions organiques sous des formes différentes -lignine, cellulose, hémicellulose, fixation symbiotique, etc, ...), de même que la possibilité de cultiver plusieurs cultures et plusieurs arbres en même temps. Le modèle a fait l'objet d'une évaluation sur une série de données acquises à l'INRA sur 3 cycles de bananier en culture pure et associée avec du *Canavalia ensiformis* (stage M1 de C. Ivanoff en 2009).

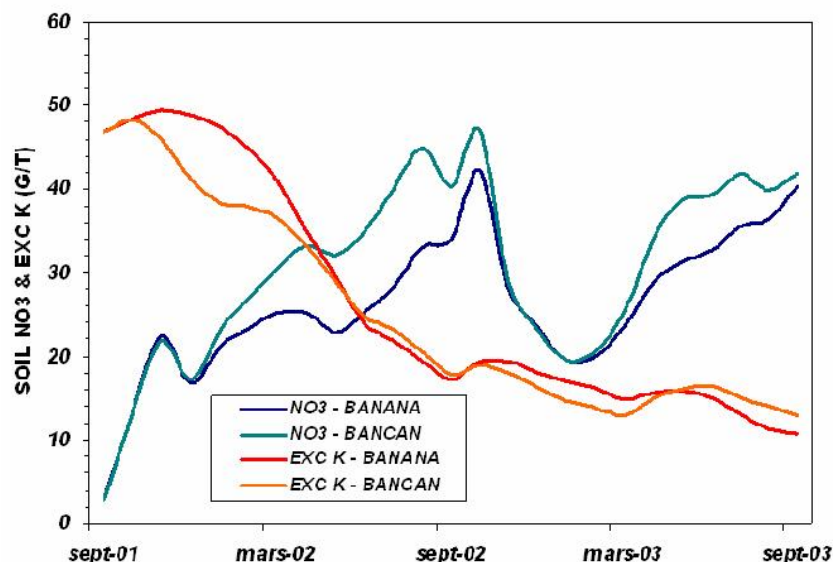


Figure 5. Dynamique de l'azote et du potassium en culture pure et associée, simulés avec le modèle EPIC sur 3 cycles de culture.

La conception de systèmes de culture par expert est la première étape d'intégration de l'ensemble des connaissances existante pour construire des prototypes de systèmes de culture innovants. Cette conception par expert vise à intégrer l'ensemble des pratiques de phytoprotection alternatives aux pesticides (**P12 – Risède et al., 2009**). Ensuite, nous avons défini par expertise des prototypes de systèmes de culture devant être testés. Cette activité s'est faite en interaction avec les acteurs techniques de la filière, notamment l'Institut Technique Tropical (IT²). Les prototypes qui sont actuellement en test sont présentés dans le **tableau 2**. Au cours du test de ces systèmes de culture une évaluation des différentes composantes de la durabilité ont été évalué, incluant la fertilité physique et chimique du sol (**P13 - Dorel et al., 2010**). Par exemple, nous avons montré que le système de culture où les bananiers sont plantés sur un mulch de plante de couverture améliore significativement la structure physique du sol, maintient une humidité plus constante à la surface du sol, et augmente le rendement des bananiers.

Tableau 2. Prototypes de systèmes de culture défini par expert, et évalué ensuite dans le cadre du plant banane durable.

Zones cibles	Prototypes de culture
Zone de plaine mécanisable	A Bananeraie sur couvert entretenu mécaniquement
	B Association bananier avec <i>Stylosanthes guianensis</i>
	C Plantation sur mulch de <i>Crotalaria spectabilis</i>
	D Apport de matière organique exogène
Zone d'altitude mécanisable ou non	E Cleome spontané en jeune plantation
	F Jachère <i>Stylosanthes</i> pour améliorer la fertilité des sols d'altitude

La conception de systèmes de culture par modèle permet d'explorer un grand nombre de systèmes de culture potentiels et de les évaluer ex-ante sur des critères agronomiques, économiques et environnementaux. Nous avons utilisé le modèle SIMBA (dans sa globalité) afin de tester des combinaisons de systèmes de culture innovant (**P14 – Tixier et al., 2008b**). Ce modèle a constamment été

amélioré afin de prendre en compte les connaissances acquises, notamment dans la tâche 1 de ce projet. Il s'agit de la prise en compte des plantes de services (interactions avec le cycle de l'azote), de la diversité variétale des bananiers (effet sur la croissance, le rendement, la dynamique des bioagresseurs), apports de matières organiques... Nous avons simulé des systèmes de culture innovants ; les sorties du modèle (performances agronomique, économique, environnementale) ont ensuite été utilisées dans la tâche 4.

La **Tâche 4** a permis d'évaluer quels seraient les impacts agronomiques, environnementaux, organisationnels et économiques des systèmes de culture innovants dans différents types d'exploitations bananières (**P15 – Blazy et al., 2009^a**). Pour ce faire, un modèle d'exploitation bananière a été développé. Le développement de ce modèle s'est appuyé sur une première étape de développement, paramétrage et évaluation du modèle de culture SIMBA qui a été utilisé pour simuler le fonctionnement biophysique des systèmes innovants dans les différents contextes de type d'exploitation rencontré aux Antilles (système de culture actuellement mis en œuvre, pression parasitaire, type de sol, climat) (**P16 – Blazy et al., 2009^b**). Dans un deuxième temps, un module original de simulation du fonctionnement de l'exploitation a été développé en langage SCILAB. Ce modèle a été évalué puis paramétré et utilisé pour évaluer 18 systèmes innovants sur 6 types d'exploitation (**P17 – Blazy et al., 2010**). La qualité prédictive du modèle s'est avérée satisfaisante pour les 4 critères d'évaluation utilisés (rendement, travail, revenu, utilisation de pesticides). Les résultats des simulations montrent que les impacts des systèmes innovants peuvent varier considérablement selon le type d'exploitation dans lequel ils s'insèrent. D'une manière générale, les systèmes innovants amènent à une substitution des intrants chimiques par du travail. Dans des cultures associées, cette substitution se fait au détriment du revenu des agriculteurs. Néanmoins, les cultures associées légumineuses semblent permettre une meilleure productivité de la bananeraie et conduisent à des niveaux de perte compatible avec les niveaux de subventions autorisés par les contrats agri-environnementaux. L'adoption de rotation semble préconisée pour les petites exploitations de plaine car celles-ci pourraient voir leur productivité largement augmenter. Cependant, l'analyse dynamique d'une adoption progressive de différentes cultures de rotation a montré que celles-ci induiraient une période transitoire de 1.5 à 2.5 ans au cours desquelles le revenu des exploitants pourrait baisser considérablement. Les systèmes impliquant de nouvelles variétés (FB920) et les systèmes intégrés sans pesticides sont moins productifs mais peuvent conduire à de meilleurs revenus moyennant des augmentations du prix de vente des fruits sur le marché.

Il s'est agi ensuite de construire un modèle économétrique d'adoption des systèmes innovants à partir d'une enquête réalisée auprès de 607 exploitations (**P18 – Blazy et al sous presse**). La construction du questionnaire s'est appuyée sur la définition préalable de scénarios d'adoption impliquant différentes options de politiques de soutien calibrée à partir des résultats des simulations d'impacts bio-économiques obtenus précédemment. Une abondante bibliographie sur l'adoption de l'innovation en agriculture a permis de définir un ensemble de questions visant à tester différents facteurs d'adoption. Un modèle d'adoption 'MIXED LOGIT' a été estimé sur 3 642 répétitions de choix de systèmes de culture et a révélé un taux moyen de prédiction de 70% avec une faible variabilité de ce taux selon les innovations (3%). Les taux

d'adoption observés varient de 39% pour les systèmes sans pesticides à 67% pour les cultures de rotation, ceci montre la nécessité d'étudier les facteurs d'adoption des innovations en dehors du seul revenu. L'analyse des paramètres du modèle et de leur significativité, ainsi que des calculs d'effets marginaux et d'élasticités a révélé l'existence d'une grande diversité de facteurs d'adoption relatifs aux performances des innovations (rendement, niveau de réduction des pesticides), aux caractéristiques des agriculteurs (objectifs, anticipations, attitudes, accès à l'information), aux contraintes des exploitations (contraintes trésorerie, main d'œuvre), et aux conditions de marché et de politiques de soutien (durée du contrat agro-environnemental, prix de vente des fruits, niveau de prime). L'étude a révélé l'importance de la prise en compte des interactions entre facteurs d'adoption qui peut complètement inverser le rôle d'un facteur. Le niveau de réduction des pesticides apparaît ainsi réhibitoire pour les planteurs averse au changement alors qu'il influence positivement l'adoption pour les planteurs anticipant une interdiction des molécules. Cette étude nous a permis de finalement formuler un ensemble de recommandations agronomiques et politiques en vue de favoriser le développement et l'adoption de pratiques durables économiquement, socialement, et respectueuses de l'environnement, en conformité avec les attentes des agriculteurs (*P18 – Blazy et al.*)....

Enfin, nous avons complété l'étude de l'adoption des innovations à l'échelle de l'exploitation avec l'étude de l'adéquation entre les systèmes de cultures innovants et la structure socio-économique des filières agricoles. Dans ce travail nous avons identifié les déterminants socio-économiques de l'innovation technique dans les systèmes de culture de banane en Martinique. L'intensification de l'agriculture en produits phytosanitaires qui s'est accéléré dans les années 1940, s'est accompagnée, en Martinique, sur la production de bananes par la monoculture monovariétale. Il s'ensuit aujourd'hui une diminution de la biodiversité, une augmentation de la pression phytosanitaire, et une pollution des ressources naturelles (terre et eau). Ces externalités négatives sur l'environnement interpellent les pouvoirs publics et la profession pour un changement de trajectoire technique. Cette interpellation s'est accrue avec la crise récente de pollution des sols par la molécule de chlordécone. Cette action a pour objet d'étudier en quoi les déterminants de l'innovation institutionnelle joue un rôle sur l'innovation technique.

Nos travaux montrent que le processus d'adoption des innovations visant à la réduction de l'utilisation des pesticides, est pour une grande partie déterminé par l'efficacité des interactions, des coopérations et des institutions qui intègrent l'ensemble des acteurs intervenant tout au long de la filière banane martiniquaise. Ces coordinations, fruits d'actions collectives, sont donc de véritables moteurs du changement technique dans le sens où elles définissent des possibilités d'innovation diverses pour les producteurs. Notre analyse fait également ressortir l'existence de blocages dans le processus d'émergence des innovations techniques, principalement reliés au problème du changement d'échelle, et à la présence de lacunes au niveau de la transmission de l'information aux agriculteurs. Nous mettons également en évidence la nécessité d'améliorer les compétences des diffuseurs de l'innovation, et d'optimiser les échanges d'information par une harmonisation méthodologique et la réalisation de projets communs aux différentes institutions.

SYBAN

Les perspectives du projet SYBAN s'inscrivent dans la valorisation des résultats déjà acquis. En effet, à partir des connaissances acquises il va être possible de concevoir des pratiques culturales (notamment de gestion des bioagresseurs : nématodes, charançons et adventices) qui pourront être transférées aux agriculteurs. Ensuite, des mécanismes devront également être approfondis (par exemple, le rôle des prédateurs généraliste dans le contrôle du charançon). Les méthodes développées afin de comprendre le fonctionnement des systèmes de cultures plurispécifiques ont montré un intérêt qui dépasse celui des systèmes bananiers. Nous avons montré que les systèmes bananiers sont un modèle biologique particulièrement adapté pour étudier ces interactions complexes (compétition pour les ressources ou interactions entre communautés aériennes ou souterraines). Les outils de modélisation développés dans le cadre du projet SYBAN vont continuer à être utilisés par les différentes équipes pour poursuivre l'activité de conception de systèmes de culture limitants l'usage des pesticides. Il va maintenant s'agir de construire, sur la base des connaissances acquises, des prototypes de systèmes de culture de seconde génération. Afin de poursuivre cette activité, l'ensemble des équipes du projet SYBAN vont soumettre des projets à différents appels d'offres.

ANNEXE : LISTE DES PUBLICATIONS PRESENTEES DANS LE RAPPORT SCIENTIFIQUE (P1 à P18)

- P1** - Tixier, P., Lavigne, C., Alvarez, S., Gauquier, A., Blanchard, M., Ripoche, A. and Achard, R., 2011. Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, In Press, Corrected Proof.
- P2** - Chabrier, C., Carles, C., Desrosiers, C., Quénéhervé, P. and Cabidoche, Y.M., 2009. Nematode dispersion by runoff water: Case study of *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on nitisol under humid tropical conditions. *Applied Soil Ecology*, 41:148-156.
- P3** - Duyck, P.F., Pavoine, S., Tixier, P., Chabrier, C. and Quénéhervé, P., 2009. Host range as an axis of niche partitioning in the plant-feeding nematode community of banana agroecosystems. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:1139-1145.
- P4** - Rhino, B., Dorel, M., Tixier, P. and Risede, J.M., 2010. Effect of fallows on population dynamics of *Cosmopolites sordidus*: toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. *Agricultural and Forest Entomology*, 12:195-202.
- P5** - Vinatier, F., Chailleux, A., Duyck, P.F., Salmon, F., Lescourret, F. and Tixier, P., 2010. Radiotelemetry unravels movements of a walking insect species in heterogeneous environments. *Animal Behaviour*, 80:221-229.
- P6** - Duyck, P.F., Lavigne, A., Vinatier, F., Achard, R., Okolle, J. and Tixier, P., 2011. Addition of a new resource in agroecosystems: do cover crops alter the trophic positions of generalist predators? *Basic and Applied Ecology*, in press.
- P7** - Henriët, C., Bodarwe, L., Dorel, M., Draye, X. and Delvaux, B., 2008. Leaf silicon content in banana (*Musa* spp.) reveals the weathering stage of volcanic ash soils in Guadeloupe. *Plant and Soil*, 313:71-82.
- P8** - Tixier, P., Salmon, F., Chabrier, C. and Quénéhervé, P., 2008b. Modelling pest dynamics of new crop cultivars: The FB920 banana with the *Helicotylenchus multicinctus*-*Radopholus similis* nematode complex in Martinique. *Crop Protection*, 27:1427-1431.
- P9** - Vinatier, F., Tixier, P., Le Page, C., Duyck, P.F. and Lescourret, F., 2009. COSMOS, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. *Ecological Modelling*, 220:2244-2254.

- P10** - Dorel, M., Achard, R. and Tixier, P., 2008. SIMBA-N: Modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate. Application to fertilization management in the Caribbean. *European Journal of Agronomy*, 29:38-45.
- P11** - Malezieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S. and Valantin-Morison, M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29:43-62.
- P12** - Risède, J.M., Chabrier, C., Dorel, M., Rhino, B., Lakhia, K., Jenny, C. Quénehervé, C., 2010. Recent and up-coming strategies to counter plant-parasitic nematodes in banana cropping systems. *Acta Horticulturae*, 828, 117-127.
- P13** - Dorel, M., Lakhia, S., Petetin, C., Bouamer, S. and Risede, J.M., 2010. No-till banana planting on crop residue mulch: effect on soil quality and crop functioning. *Fruits*, 65:55-68.
- P14** - Tixier, P., Malezieux, E., Dorel, M. and Wery, J., 2008a. SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems*, 97:139-150.
- P15** - Blazy, J.M., Ozier-Lafontaine, H., Dore, T., Thomas, A. and Wery, J., 2009a. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 101:30-41.
- P16** - Blazy, J.M., Dorel, M., Salmon, F., Ozier-Lafontaine, H., Wery, J. and Tixier, P., 2009b. Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, 31:10-19.
- P17** - Blazy, J.M., Tixier, P., Thomas, A., Ozier-Lafontaine, H., Salmon, F. and Wery, J., 2010. BANAD: A farm model for ex ante assessment of agro-ecological innovations and its application to banana farms in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 103:221-232.
- P18** - Blazy, J-M, Carpentier, A., Thomas, A. 2010. The Willingness to Adopt Agro-ecological Innovations: Application of Choice Modelling to Caribbean Banana Planters. *Ecological Economics*, *in press*

ANNEXE : LISTE DE TOUTES LES PUBLICATIONS DU PROJET SYBAN

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES ACL PARUES

1. Blazy, J-M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., Wery, J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems* 101, 30-41.
2. Blazy, J.M., Dorel, M., Salmon, F., Ozier-Lafontaine, H., Wery, J. and Tixier, P., 2009b. Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, 31:10-19.
3. Blazy, J.M., Tixier, P., Thomas, A., Ozier-Lafontaine, H., Salmon, F. and Wery, J., 2010. BANAD: A farm model for ex ante assessment of agro-ecological innovations and its application to banana farms in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 103:221-232.
4. Blazy, J-M, Carpentier, A., Thomas, A. 2010. The Willingness to Adopt Agro-ecological Innovations: Application of Choice Modelling to Caribbean Banana Planters. Submitted in *Ecological Economics*, in press
5. Chabrier, C. and Quénéhervé, P., 2008. Preventing nematodes from spreading: A case study with *Radopholus similis* (Cobb) Thorne in a banana field. *Crop Protection*, 27:1237-1243.
6. Chabrier, C., Carles, C., Desrosiers, C., Quénéhervé, P. and Cabidoche, Y.M., 2009. Nematode dispersion by runoff water: Case study of *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on nitisol under humid tropical conditions. *Applied Soil Ecology*, 41, 148-156.
7. Chabrier, C., Carles, C., Quénéhervé, P. and Cabidoche, Y.M., 2008b. Nematode dissemination by water leached in soil: Case study of *Radopholus similis* (Cobb) Thorne on nitisol under simulated rainfall. *Applied Soil Ecology*, 40, 299-308.
8. Chabrier, C., Tixier, P., Duyck, P.-F., Carles, C., Quénéhervé, P., 2010. Factors influencing the survivorship of the burrowing nematode, *Radopholus similis* (Cobb.) Thorne in two types of soil from banana plantations in Martinique. *Applied soil Ecology*, 44, 116-123.
9. Chabrier, C., Tixier, P., Duyck, P.-F., Quénéhervé, P., 2010. Survival of the burrowing nematode *Radopholus similis* (Cobb) Thorne without food: why do males survive so long? *Applied soil Ecology*, 45, 85-91.

10. de Barros, I., Blazy, J.M., Rodrigues, G.S., Tournebize, R., Cinna, J.P., 2009. Energy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, 437-449.
11. de Bellaire, L.D. and Risede, J.M., 2008. A laboratory method to evaluate *Pseudocercospora musae*'s (Teleomorph : *Mycosphaerella musicola*) sensitivity to fungicides. *Fruits*, 63:53-56.
12. Dorel, M., Achard, R., Tixier, P., 2008. SIMBA-N: modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate. Application to fertilization management in the Caribbean. *European Journal of Agronomy*, 29, 38-45.
13. Dorel, M., Lakhia, S., Petetin, C., Bouamer, S. and Risede, J.M., 2010. No-till banana planting on crop residue mulch: effect on soil quality and crop functioning. *Fruits*, 65, 55-68.
14. Duyck, P.-F., Pavoine, S., Tixier, P., Chabrier, C., Quénéhervé, P., 2009. Host-range as an axis of niche partitioning in plant-feeding nematode community of banana agroecosystems. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 1139-1145.
15. Henriot C., Bodarwé L., Dorel M., Draye X., Delvaux B. 2008. Leaf silicon content in banana (*Musa* spp.) reveals the weathering stage of volcanic ash soils in Guadeloupe. *Plant and Soil*, 313, 71-82.
16. Houdart, M., Tixier, P., Lassoudière, A., Saudubray, F., 2008. Assess potential risk of pesticide pollution: from field to watershed. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 321-327.
17. Lafont, A., Risède, J.-M., Loranger-Merciris, G., Clermont-Dauphin, C., Dorel, M., Rhino, B. and Lavelle, P., 2007. Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radopholus similis*. *Pedobiologia*, 51, 311-318.
18. Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., and Valantin-Morison, M. (2008). "Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review." *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62.
19. Quénéherve, P., Chabrier, C., Auwerkerken, A., Topart, P., Martiny, B. and Marie-Luce, S., 2006. Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. *Crop Protection*, 25, 860-867.
20. Quénéhervé, P., Salmon, F., Topart, P. and Horry, J.P., 2009a. Nematode resistance in bananas: Screening results on some new *Mycosphaerella* resistant banana hybrids. *Euphytica*, 165, 137-143.

21. Quénéhervé, P., Valette, C., Topart, P., Tezenas Du Montcel, H. and Salmon, F., 2009b. Nematode resistance in bananas: Screening results on some wild and cultivated accessions of *Musa* spp. *Euphytica*, 165, 123-136.
22. Rhino, B., Dorel, M., Tixier, P., Risède, J.M., 2010. Effect of fallows on population dynamics of *Cosmopolites sordidus*: toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. *Agricultural and forest entomology*. 12, 195-202.
23. Risède J-M., Chabrier Ch., Dorel M., Rhino B., Lakhia K., Jenny Ch., and Quénéhervé P., 2009. Recent and Up-coming Strategies to counter Plant-Parasitic Nematodes in Banana Cropping Systems of the French West Indies. *Acta Horticulturae*, 828, 117-128.
24. Risède, J.M., 2008. Isolation of *Cylindrocladium* spp. in roots and soils from banana cropping systems. *Fruits*, 63:57-61.
25. Risède, J.M. and Rhino, B., 2008. Long-term maintenance of *Cylindrocladium* strains and procedures for inoculum production. *Fruits*, 63:193-197.
26. Tixier, P., Chabrier, C., Malézieux, 2007. Pesticides residues in heterogeneous plant populations. A model based approach applied to nematicides in banana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 2504-2508.
27. Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., 2007. A Model-Based Approach to maximise Gross Income by Selection of Banana Planting Date. *Biosystems Engineering*, 6, 471-476.
28. Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Bockstaller, C., Girardin, P. 2007. Rpest a dynamic indicator to assess pesticide water pollution risk. Application to banana-based cropping systems in FWI. *European Journal of Agronomy*, 26, 71-81.
29. Tixier, P., Salmon, S., Chabrier, C., Quénéhervé, P., 2008. Modelling pest dynamics of new crop cultivars: The FB920 banana with the *Helicotylenchus multicinctus*–*Radopholus similis* nematode complex in Martinique. *Crop Protection*, 27, 1427-1431.
30. Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Wery, J., 2008. SIMBA: a comprehensive model for evaluation and prototyping of banana-based cropping systems. *Agricultural Systems*, 97, 139-150.
31. Tixier, P., Lavigne, C., Alvarez, S., Gauquiet, 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*, in press

32. Vinatier, F., Chailleux, A., Duyck, P.-F., Salmon, F., Lescourret, F., Tixier, P., 2010. Radio telemetry unravels movements of a walking insect species in heterogeneous environments. *Animal Behaviour*, 80, 221-229.
33. Vinatier, F., Tixier, P., Le Page, C., Duyck, P.F., Lescourret, F., 2009. COSMOS, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. *Ecological Modelling*, 220, 2244-2254.
34. Vinatier, F., Tixier, P., Duyck, P.-F., Lescourret, F., 2011. Factors and mechanisms explaining spatial heterogeneity: A review of methods for insect populations. *Methods in Ecology and Evolution*, *in press*

PUBLICATIONS ACL PREVUES

1. Achard, R., Tixier, P., SIMBA-IC a spatialized model of nitrogen balance in banana inter-cropping systems, *en préparation*
2. Achard, R., Tixier, P., Determination of the potential of atmospheric nitrogen of cover crops, a stable isotope study. *en preparation*
3. Ozier Lafontaine, H., Tixier P., de Barros I. Etude comparative de la simulation de l'association bananier - canavalia à partir des modèles SIMBA et EPIC, *en préparation*
4. Mollot, G., Tixier, P., Lescourret, F., Quilici, S., Duyck, P., Cover crop increases trophic level of *Solenopsis* and predation rate of *Cosmopolites sordidus*. *en preparation*
5. Quénéhervé, P., Barrière, V., Salmon, F., Houdin, F., Achard, R., Gertrude, J.-C., Marie-Luce, S., Chabrier, C., Duyck, P.-F., Tixier, P., Is mixture cultivation of *Musa* varieties a pertinent agroecological strategy for nematode population management? *en preparation*
6. Tixier, P., Côte, F.-X., Duyck, P.-F., Caron-Lormier, G., Malézieux, E., Toward Food-Web-Based Simulation in Agro-Ecology" *Soumis*
7. Tixier, P., Vinatier, F., Dagneau, D., Mollot, G., Duyck, P.-F., Food web structure of macrofauna in banana fields: stable isotopes reveal flexibility of generalist predators' diet. *en preparation*
8. Vinatier, F., Tixier, P., Duyck, P.-F., Senoussi, R., Martin, O., Lescourret, F., Should I stay or Should I go? Evaluation of alternative dispersal kernels on individual movements, *Soumis*
9. Vinatier, F., Lescourret, F., Duyck, P.-F., Tixier, P., à soumettre. From IBM to IPM: How to use individual-based models to design spatial arrangement of traps and crops. *en préparation*

CHAPITRE D'OUVRAGE

1. Adiku, S.G.K., Ahuja, L.R., Ozier-Lafontaine, H., Dunn, G.H., Garcia, L., 2010. Soil-root interactions in mixed plant systems. In Enhancing understanding and quantification of soil-root growth interactions, in the Advances in Modeling Agricultural Systems Series. Publisher : American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. 28p
2. Quénéhervé P. 2009. Integrated management of banana nematodes. In: Integrated management of fruit crops and forest nematodes, Ciancio, A.; Mukerji, K.G. (Eds.), Springer Serie: Integrated Management of Plant Pests and Diseases, Vol. 4, 3-61.

COMMUNICATIONS A COLLOQUES

1. Blazy, J-M., Peregrine, D., Diman, J.L., Causeret, F., 2008. Assessment of banana farmers' flexibility for adopting agro-ecological innovations in Guadeloupe: a typological approach. On: 8th european IFSA Symposium 2008, Dedieu, B., Zasser-Bedoya, S. Eds, Clermont-Ferrand (France), July 6-9, 2008, Proceedings, 457-468 (long paper).
2. Blazy, J.M., Carpentier, A., Ozier-Lafontaine, H., Thomas, A., Tixier, P., Wery, J., 2007. A new approach for integrated ex ante assessment of agro-management innovations by combining crop, farm, and adoption models. Farming System Design Congress, Catania, Italy, September 10-11, 2007, book of proceedings' Farm-regional scale design and improvement, 17-18.
3. Blazy, J-M., Carpentier, A., Ozier-Lafontaine, H., Thomas, A., Tixier, P., Wery, J., 2007. Integrated ex ante assessment of agro-management innovations by combining crop, farm, and adoption models. On: Farming Systems Design 2007, Int. Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems, Donatelli, M., Hatfield, J., Rizzoli, A., Eds., Catania (Italy), September 10-12, 2007, book 1 - Farm-regional scale design and improvement, 15-16 (short paper).
4. Blazy, J.-M., Ozier-Lafontaine, H., Thomas, A., Meynard, J.-M., Wery, J. A method combining simulation models and on farm surveys for ex ante assessment of agro-ecological innovations. Symposium Agro 2010, XIth ESA congress, August 29th – September 3rd 2010, Montpellier, France, book of proceedings, pp. 429-430.
5. Blazy, J-M., Ozier-Lafontaine, H., Thomas, A., Meynard, J-M., Wery, J., 2009. A method for ex ante modelling of adoption of alternative crop management systems. Communication orale présentée dans « Farming Systems Design 2009, an international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems”, August 23-26, 2009, Monterey, California, USA, book of proceedings, pp. 39-40.

6. Côte, F.X., Abadie-Fournier, C., Achard, R., Cattan, P., Chabrier, C., Dorel, M., de Lapeyre, L., Risède, J.M., Salmon, F., Tixier, P., 2007. How can pesticide use be reduced in banana culture? Approaches developed in the French West Indies: integrated production system development and cropping system design using modelling. In : ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods / ISHS, 2007/09/10-14, White River, South Africa.
7. de Barros, I., Blazy, J-M., Stachetti Rodrigues, G., Tournebize, R., Tournebize, R., Cinna, J-P., 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). Communication orale présentée dans « Farming Systems Design 2009, an international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems”, August 23-26, 2009, Monterey, California, USA, book of proceedings, pp. 79-80.
8. Gary, C., Barbier, J.M., Rio, P., Andrieux, P., Blazy, J.M., Louchart, X., Bonin, M., Diman, J.L., Causeret, F., Ozier-Lafontaine, H., 2009. How to design technical and organizational innovations to promote sustainable development in catchments with intensive use of pesticides, 2009. In: M. van Ittersum, J. Wolf, G. van Laar (eds) Proceedings of AgSAP Conference 2009 - Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development, Setting the Agenda for Science and Policy, Egmond aan Zee (The Netherlands), 294-295.
9. Quénéhervé, P., Achard, R., Tixier, P. 2009. New insights on nematode management on bananas in the Caribbean. In Second International Congress of Tropical Nematology, Maceio, Alagoas state, Brazil, October 4-9, 2009. Book of proceedings p 282.
10. Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Cote, F.X., Wery, J., 2007. How to design a model for prototyping cropping systems? Example of SIMBA for banana-based systems. Farming System Design Congress, Catania, Italy, September 10-11, 2007, book of proceedings' Field-farm scale design and improvement, 251-252.
11. Tixier, P., Malézieux, E., A Food web based model for cropping system simulation: a first application to banana systems. EcoSummit2007, Beijing, China, May 22-27, 2007, book of proceedings' 442p.247.
12. Tixier, P., 2008. Modelling nematode populations in horticultural systems. 5th International Congress of Nematology, 5ICN, Brisbane, Australia, July 13-18, 2008, book of proceedings' 350p.65.
13. Tixier, P., Salmon, F., Quénéhervé, P., 2008. Early assessment of pest dynamics on new crop varieties: a modelling approach applied to banana/nematode systems. 8th International Crop Science Congress, ICSC2008, Jeju, South Korea, April 13-18, 2008, book of proceedings' 296p.160.

14. Tixier, P., Duyck, P.-F., 2009. Linking cropping system and food web models to assess agroecosystem community stability. Example of litter macrofauna in banana systems. Congress of the International Society of Ecological Modelling. Laval University, Quebec City, PQ, Canada, 6-10, October, 2009. Book or proceedings, p 181.
15. Tixier, P., Quénéhervé, P. 2009. Intra-root system heterogeneity of *Radopholus similis* population dynamics on banana, a modelling approach. In Second International Congress of Tropical Nematology, Maceio, Alagoas state, Brazil, October 4-9, 2009. Book of proceedings p 425.
16. Tixier, P., 2009. Using the SIMBA model to prototype and to optimize banana cropping systems. 8th Australian Banana Industry Congress, Gold Coast, Australia, June 4-6, 2009.
17. Tixier, P., Alvarez, S., Blanchard, M., Ripoche, A., Achard, R. 2010. Evaluation of banana cover-cropping systems and model based selection of cover-crop species. Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA congress, Montpellier, August 29th – September 3rd , 2010, J. Wery, I. Shili-Touzi, A. Perrin (eds), Agropolis International Editions, Montpellier, France, p 157.
18. Vinatier, F., Tixier, P., Le Page, C., Bruchou, C., Duyck, P.-F., Lescourret, F., 2008. COSMOS, a spatially explicit model for epidemiology of banana weevil (*Cosmopolites sordidus*, Germar.). OILB congress, Avignon
19. Vinatier, F., Tixier, P., 2009. COSMOS, an individual-based model to improve spatial management of *Cosmopolites sordidus*. Congress of the International Society of Ecological Modelling. Laval University, Quebec City, PQ, Canada, 6-10, October, 2009. Book or proceedings, p 247.
20. Vinatier, F., Duyck, P.F., Mollot, G. and Tixier, P. 2010. Spatial ecology of *Cosmopolites sordidus* in banana field landscapes. In: J. Holland, M. van Helden, W. Rossing, M. Poehling, W. van der Werf, A. Ferguson and C. Lavigne (Editor), Landscape management for functional biodiversity. OIBC, Cambridge, England, pp. 139-142.
21. Vinatier, F., Tixier, P., 2010. Le mouvement d'un insect expliqué par les statistiques spatiales couplées à un modèle mécanistes. colloque d'écologie scientifique, 2-3 septembre 2010, Montpellier, France, p 394.

ARTICLES DE VALORISATION PARUS

1. Achard, R., Tixier, P., Thieuleux, L., Langlais, C., Lavigne, C., 2005. Du raisonné au biologique : convergence ou divergence ? Exemple des systèmes de culture bananiers, maraîchers et de l'arboriculture fruitière en Martinique. Les cahiers du PRAM, n°5: 55-60.
2. Achard, R., Lavigne, C., Alvarez, S., Gauguier, A., Duguet, R., Blanchard, M., 2010. Evaluation multicritère des plantes de couverture pour une utilisation

dans les vergers et les bananeraies de Martinique. Les cahiers du PRAM, n°8: 7-12.

3. Duyck, P.-F., Pavoine, S., Tixier, P., Chabrier, C., et al., 2010. Niche écologique des nématodes phytophages dans les agro-écosystèmes bananiers. Les cahiers du PRAM, n°8: 21-24.
4. Rhino, B. Vinatier, F., Thibaud, C., Amour, C. 2010. La dispersion des insectes, un paramètre important pour la dispersion des bioagresseurs. Les cahiers du PRAM, n°8: 13-20.
5. Tixier, P., 2006. Evaluation assistée par modèle des risques environnementaux à l'échelle de la parcelle : exemple des systèmes de culture à base de bananiers. Les cahiers du PRAM, n°6: 32-35.
6. Tixier, P., Salmon, F., Risède, J.-M., Chabrier, C., et al., 2010. Prévoir la dynamique des populations des nématodes phytoparasites. Les cahiers du PRAM, n°8: 31-34.
7. Risède, J.-M., Lescot, T., Cabrera Cabrera, J., Guillon, M., Tomekpé, K., Kema, G., Côte, F.-X., 2010., Challenging short and mid-term strategies to reduce pesticides in bananas. ENDURE leaflet.
8. Tixier, P., Vinatier, F., Cabrera Cabrera, J., Padilla Cubas, A., Okolle, J., Chabrier, C., Guillon, M., 2010.; Integrated Pest Management of black weevil in banana cropping systems. ENDURE leaflet.
9. Risède, J.-M., Chabrier, C., Dorel, M., Dambas, T., Achard, R., Quénéhervé, P., 2010. Integrated management of banana nematodes: Lessons from a case study in the French West Indies. ENDURE leaflet.

**ANNEXE : TIRES A PART DES PUBLICATIONS
PRESENTEES DANS LE RAPPORT SCIENTIFIQUE
(P1 à P18)**