



## **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 : synthèse

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 ASTRO (INRA), Agrosystèmes Tropicaux (ex UR APC)
- UMR RPB (IRD ; CIRAD ; Université Montpellier 2), Résistance des plantes aux bioagresseurs, IRD Montpellier
- Unité de Recherche AEMA (CEMAGREF), Agriculture et Espace Insulaire

---

## CONTEXTE GENERAL

*Quelle situation, quels enjeux motivent ce projet ?*

La Guadeloupe et la Martinique sont des milieux insulaires fortement peuplés où l'habitat et les terres agricoles sont étroitement imbriqués, et où les problèmes de pollution par les pesticides se posent avec une acuité particulière. Un développement agricole durable y implique l'adoption par les agriculteurs de systèmes de culture préservant l'environnement et garantissant une production saine.

Une revue des moyens techniques permettant de réduire l'utilisation des pesticides et d'en limiter les impacts environnementaux a été effectuée lors de l'expertise « Pesticides, agriculture et environnement » réalisée par l'INRA et le CEMAGREF en 2005. On distingue en fonction de l'objectif recherché, les techniques visant à i) limiter la dispersion des pesticides, ii) raisonner l'application des pesticides, et enfin iii) réduire le recours systématique aux pesticides.

Nous nous sommes intéressé dans le cadre de ce projet aux actions techniques visant à réduire voire à supprimer le recours aux pesticides (« Zéro pesticide ») dans les systèmes de culture à base de bananiers. Dans le contexte de la production bananière antillaise fortement marqué par le problème de la pollution des sols par la molécule de chlordécone, il nous a semblé nécessaire d'orienter les activités de recherche de manière extrêmement volontariste vers la conception de systèmes de culture sans pesticides. Conscients de l'atout que pourrait constituer une production de type « Zéro pesticide » sur le marché européen, les producteurs de bananes des Antilles françaises, ont validé l'objectif « culture de bananes sans pesticides » dans le cadre du projet DOCUP 2000-2006 « Appui à la filière banane » conduit par le CIRAD et ses partenaires. Les voies identifiées pour atteindre cet objectif sont les suivantes :

- L'utilisation de variétés résistantes aux bioagresseurs (amélioration génétique),
- L'optimisation la nutrition minérale de la culture afin de renforcer la vigueur des plantes et leur tolérance aux bioagresseurs,
- La mise au point de techniques de lutte non chimique (lutte biologique, biotechnique, physique,...),
- Le développement de techniques culturales de conduite des peuplements végétaux permettant de réduire les risques liés à la présence des bioagresseurs (succession/association des cultures, organisation spatiale des cultures, gestion des résidus végétaux,...).

L'objectif « Zéro pesticide » implique une mutation profonde des systèmes conventionnels de culture bananière. Des alternatives à l'utilisation des pesticides mais permettant de réduire la pression et l'impact des bioagresseurs doivent être définies pour ensuite être adoptées par les producteurs. Cette mutation a débuté puisque les systèmes monoculturels conventionnels à forte consommation d'intrants chimiques sont peu à peu abandonnés au profit de systèmes basés sur des pratiques assainissantes associant matériel végétal sain issu de culture *in vitro*, jachères, et rotations culturales. Fruits d'une collaboration étroite entre les producteurs et la Recherche agronomique, ces systèmes ont montré leur efficacité

pour limiter la pression parasitaire tellurique sans recourir aux pesticides, tout en contribuant à la restauration de la fertilité des sols. En 1997, avec près de 8 kg de matières actives utilisés par ha et par an, les départements antillais étaient de très gros consommateurs de pesticides. Les trois principaux produits alors utilisés (aldicarbe, terbufos et cadusafos) étaient particulièrement toxiques. Le développement des systèmes de cultures associant sols assainis par rotation ou jachère et vitroplants sains a déjà permis une réduction de l'utilisation de nématicides dans les bananeraies martiniquaises de plus de 65 % (en surfaces développées traitées). De même, le contrôle des adventices par le paillage ou la mise en place de plantes de couverture font actuellement l'objet d'actions de recherche auxquelles les producteurs antillais de bananes participent activement.

### **OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET**

Ce projet a visé à produire des connaissances et à les intégrer afin de développer des systèmes de culture innovants (sans produits phytosanitaires) pour les cultures bananières de Guadeloupe et de Martinique. Ces cultures étaient jusque dans les années 1990 basées sur des monocultures fortement consommatrices de pesticides. La recherche en partenariat avec les professionnels a déjà permis de réduire les quantités de pesticides en introduisant des jachères, des rotations culturales, et l'utilisation de vitroplants sains. Cependant plusieurs innovations techniques restent à concevoir pour atteindre l'objectif de « Zéro pesticide ». Des propositions de stratégies innovantes adaptées au contexte insulaire tropical avec notamment le choix et l'assemblage dans le temps et dans l'espace des plantes cultivées et associées doivent être étudiées. Des moyens de lutte non chimiques contre les différents bioagresseurs ont également été développés. Dans ce projet nous avons axé notre travail sur la recherche de plantes assainissantes vis-à-vis des parasites telluriques et des adventices. Des modèles de simulation ont été construits et utilisés pour explorer des assemblages de pratiques définissant des systèmes de cultures durables.

En interactions avec ces travaux biophysiques, des travaux sur l'adoption des nouvelles techniques par les agriculteurs et par les filières ont été menés sur les deux îles. Au final, les prototypes de systèmes de culture proposés par la recherche ont été évalués selon leurs performances agronomiques et économiques, leurs bénéfices pour l'environnement mais aussi selon leur capacité à être adoptés par les agriculteurs.

### **QUELQUES ELEMENTS DE METHODOLOGIE (ET EVENTUELLES DIFFICULTES RENCONTREES)**

Ce projet a intégré des études des processus biophysiques et leur modélisation. Les modèles de simulation développés ont été utilisés pour assister la conception de systèmes de culture durables et pour faire le lien avec les études d'évaluation de l'adoption des innovations. Cette approche générale a structuré les 4 tâches du projet dont la structure est rappelée ci-dessous.

## Rappel de la structure du projet

Tâche 1 : Lutte culturale et prophylaxie pour le contrôle du parasitisme tellurique et la maîtrise des adventices  
 Sélection de plantes de service utilisables en association ou en rotation culturale  
 Etude des interactions entre plantes de service / culture principale / bioagresseurs  
 Gestion des résidus de culture pour réduire la pression des bioagresseurs (nématodes, charançons, adventices)  
 Optimisation des techniques de piégeage et de lutte biologique contre les charançons du bananier

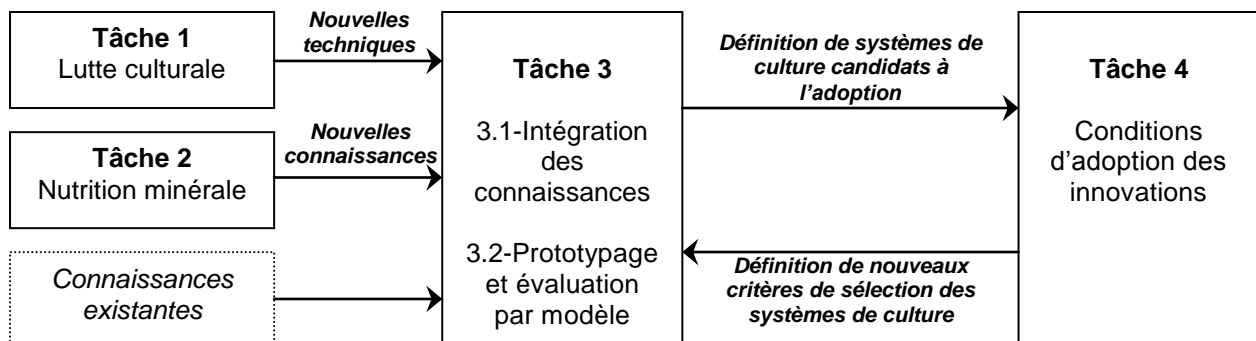
Tâche 2 : Nutrition minérale pour un renforcement de la vigueur de la plante et de sa tolérance aux pathogènes

Tâche 3 : Conception et évaluation de systèmes de cultures innovants  
 Calibration des outils de modélisation afin de prendre en compte toutes les techniques culturales possibles  
 Prototypage et Evaluation par modèle des performances agronomiques et des impacts environnementaux des systèmes de culture

Tâches 4 : Identification des conditions d'adoption des innovations  
 4.1 Etude des conditions d'adoption des innovations techniques dans les systèmes de culture  
 4.2 Evaluation de l'adéquation entre les systèmes de cultures innovants et la structure socio-économique des filières agricoles

Les interactions entre ces tâches ont été très importantes, permettant une constante alimentation de la partie conception et évaluation (tâche 3 et 4) par des nouvelles connaissances et techniques (tâches 1 et 2).

### Schéma récapitulatif des interactions entre les tâches du projet :



Ce projet n'a pas rencontré de difficultés particulières. Au contraire, il a reçu un appui enthousiaste des différents organismes de recherche impliqués mais aussi des partenaires aval des filières.

## RESULTATS OBTENUS

Les résultats obtenus lors du projet SYBAN sont présentés ci-dessous en suivant les 4 tâches qui structurent le projet.

### **Tâche 1. Lutte culturale et prophylaxie pour le contrôle du parasitisme tellurique et la maîtrise des adventices**

La sélection de plantes de service qui soient utilisables en association ou en rotation culturale représente une étape particulièrement importante de la conception de systèmes de culture limitant l'usage des pesticides. Ces plantes permettent de limiter les herbicides (la plante de couverture empêchant le développement des adventices) et/ou des bioagresseurs (en n'étant pas hôte des bioagresseurs ou en ayant un effet dépressif sur leurs populations).

Nous avons sélectionné une gamme de plantes de couvertures permettant de constituer une couverture vivante permanente pouvant être entretenue par fauchage. Les critères de sélection d'une couverture vivante destinée à une bananeraie comprennent la couverture rapide du sol afin de contrôler les adventices et la capacité à persister sur le long terme avec des ombrages variant rapidement au cours des cycles des bananiers. La compétition pour l'eau et les éléments minéraux entre les plantes de couverture et les bananiers représente une limite importante de leur intégration dans des systèmes de culture performants. Afin de réduire ces compétitions, nous avons étudié l'utilisation de plantes fixatrices de l'azote et/ou des modes de gestion permettant de limiter ces compétitions. Nous avons évalué les conditions d'installation de plantes de couverture et caractérisé les compétitions avec les bananiers. Nous avons également évalué les effets indirects des plantes de couvertures sur la culture et les adventices, impliquant des processus tels que l'allélopathie, la fertilité des sols, le parasitisme, la rétention de l'eau et des minéraux, l'infiltration de l'eau, ou stabilité structurale du sol. Nous avons ainsi caractérisé une cinquantaine de plantes potentielles et évalué 11 plantes de couvertures dans le détail sur leur capacité à couvrir le sol, à maintenir cette couverture à moyen terme (9 mois) et à tolérer un entretien par fauchage. Il apparaît qu'il y a un compromis entre capacité d'installation et tolérance à l'ombrage. Nous avons également évalué le niveau de concurrence pour les ressources minérales entre le bananier et ces plantes de couverture en intégrant la capacité de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pour les plantes légumineuses. Nous allons étudier les conditions favorisant la fixation symbiotique des légumineuses (statut azoté du sol).

Pour les plantes de services qui ont été sélectionnées en début de projet, nous avons réalisé leur évaluation en conditions d'association sur plusieurs cycles de culture et de manière multilocale. Ainsi, nous avons évalué un système de culture bananier reposant sur l'utilisation du soja pérenne comme plante de couverture. Nous avons particulièrement étudié les effets sur la qualité des sols et les performances de la culture. Un dispositif expérimental a été mis en place afin de

comparer les systèmes de culture conventionnels et intégrant le soja pérenne. Nous avons mesuré que les bananiers sont de taille plus importante avec des régimes plus gros (+23 fruits par régime) dans le traitement associant bananiers et soja pérenne par rapport à un système avec du sol nu. La floraison des bananiers est par contre plus tardive que dans le traitement d'association par rapport au traitement avec sol nu, pouvant s'expliquer par un effet thermique (la plante de couverture abaisse la température du microclimat et ralentit le développement des bananiers). Nos résultats suggèrent que le soja pérenne remonte en surface des éléments minéraux prélevés dans les horizons profonds du sol. La nutrition en magnésium apparaît ainsi meilleure dans le traitement Banane/Soja. Par contre, bien que le soja soit une légumineuse potentiellement fixatrice d'azote atmosphérique, un effet de facilitation au niveau de la nutrition azotée du bananier semble faible. Le système de culture proposé permet de contrôler le développement des nématodes et de la flore adventices sans utiliser de pesticides tout en maintenant des niveaux de production élevés. Il reste à optimiser l'itinéraire technique de manière à réduire les coûts de production. Les coûts de mise en place de la couverture végétale peuvent notamment être fortement réduits en utilisant du matériel adapté (semoir de semis direct) et en optimisant la densité de semis.

Enfin, nous avons développé une approche de sélection de plante de couverture assistée par modèle. Cette méthode permet d'évaluer 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 adventices, durable sur le long terme, et ne pas faire trop de compétition pour les ressources en azote. Cette méthode sera utilisée dans le futur afin d'optimiser les efforts expérimentaux.

Le second critère de criblage de plantes de services concerne leur statut d'hôte envers deux bioagresseurs majeurs en bananeraie : les nématodes *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*. Le développement des populations de nématodes, particulièrement des nématodes endoparasites migrants comme *R. similis* et *P. coffeae* occasionnent de sévères dommages aux plantations de bananiers desserts de type Cavendish dans les Antilles Françaises comme dans le monde. Le choix du type de jachère et sa durée (immobilisation du sol) sont des facteurs déterminants de la réussite de l'assainissement du sol vis-à-vis des nématodes. Notre étude a porté sur le criblage de ces plantes, graminées ou légumineuses, susceptibles d'être utilisées en guise de couvre-sol et/ou en interculture tout en assainissant le sol. Cette évaluation a été réalisée à travers des expérimentations en conditions contrôlées (cellules climatiques) en Martinique sur andosol. *R. similis* ne s'est multiplié sur aucune des plantes testées et ne s'est maintenu que sous forme de trace (taux de multiplication <1) sur 5 plantes. En fonction de l'utilisation (couvre-sol et/ou interculture) toutes ces plantes sont utilisables sans le risque de voir se développer ou se maintenir une population de *R. similis* dans le sol. L'autre genre de nématode, *P. coffeae*, s'est lui multiplié fortement sur la légumineuse *Mucuna pruriens*, très faiblement sur le soja *Néonotonia*, *Cynodon* et *Paspalum* et s'est maintenue sur les autres plantes. Seules les 2 espèces de Crotalaires ont été indemnes de nématodes.

Nous avons complété ces études précises par une étude visant à évaluer l'importance des plantes associées aux bananiers sur la structuration de communautés de nématodes phytoparasites. Nous avons montré que la communauté des nématodes phytoparasites est structurée par les plantes présentes sur les parcelles. 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 communautés limitant le développement des espèces de nématodes les plus dommageables.

Nous avons également évalué si l'ajout d'une plante de couverture au sein de l'agroécosystème modifie la régulation biologique de *Cosmopolites sordidus* le charançon du bananier, second ravageur majeur des bananeraies. Nous avons mené une étude descriptive et qualitative afin d'identifier d'autres voies de régulation biologique du charançon du bananier, notamment via des communautés de la méso et macrofaune du sol pouvant être favorisées dans des systèmes intégrant de nouveaux éléments de biodiversité, comme les plantes de couverture. 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 au sein de la chaîne trophique. Nous avons mis en évidence une régulation potentielle du charançon accrue par les prédateurs généralistes avec l'ajout d'une plante de couverture.

## **Tache 2. Nutrition minérale pour un renforcement de la vigueur de la plante et de sa tolérance aux pathogènes**

Nous avons mesuré l'effet de la biodisponibilité du silicium dans le sol et son incidence 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 entrepris en collaboration avec l'Université Catholique de Louvain (thèse Céline Henriët). Le silicium est un élément important pour la nutrition des plantes qui renforce la résistance 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 bio-disponible 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. Cependant, à conditions pédo-climatiques équivalentes, la biodisponibilité du silicium peut être augmentée par certaines pratiques culturales comme la rotation canne à sucre/banane ou l'apport de cendres de bagasse sur les parcelles de banane. La canne à sucre est en effet une plante qui prélève des quantités importantes de silicium dans le sol et ses restitutions, sous forme de résidus de culture ou de cendre de bagasse, augmentent la teneur des sols en silicium bio-disponible. Des dispositifs expérimentaux en conditions contrôlées (bananiers cultivés sous serre en conteneurs) ont été mis en place pour observer le développement de maladies (anthracnose, nécroses racinaires) suite à des inoculations calibrées des agents pathogènes sur des bananiers présentant des niveaux de nutrition en silicium contrastés. Nos résultats



suggèrent un renforcement de la tolérance du bananier aux bioagresseurs en améliorant sa nutrition en silicium.

### **Tache 3. Conception et évaluation de systèmes de cultures innovants**

Dans cette tâche, nous avons dans un premier temps calibré des outils de modélisation afin de prendre en compte toutes les techniques culturales possibles. Ensuite, nous avons utilisé ces outils afin de concevoir des prototypes de systèmes de culture.

Nous avons développé des concepts de modélisation innovants permettant de simuler le fonctionnement de l'association bananier – plante de services. Nous nous sommes appuyé sur la base d'outils existants (modèle EPIC). Les formalismes développés permettent de simuler de manière réaliste l'association bananier – *Canavalia ensiformis*. Nous avons également développé des outils de simulation permettant de prendre en compte des spécificités des systèmes bananiers, notamment le fait que les flux d'eau et d'azote dans ces systèmes sont spatialisés. *In fine*, il s'agit de pouvoir concevoir des assemblages spatialisés de pratiques culturales, comme par exemple le lieu et le moment de gestion de la plante de couverture ou de fertilisation du système. Une expérimentation sur trois cycles de culture de bananiers, nous a permis de mesurer la dynamique de l'azote dans le sol pour quatre zones (sous le bananier, petit rang, grand rang, zone de transition), les biomasses et la teneur en azote des plantes de couverture dans ces zones, et l'effet des plantes de couverture sur la croissance des bananiers par rapport à un traitement témoins sans plante de couverture.

Le modèle de simulation du bilan azoté des bananeraies SIMBA-N, a été spatialisé en prenant en compte quatre zones de la bananeraie ayant des fonctionnements hydrique et minéral bien tranchés. Ce travail a permis de définir la structure de ce modèle spatialisé SIMBA-IC qui intègre également pour chaque zone simulée : la croissance de la plante de couverture, le bilan hydrique (qui prend en compte la redistribution de l'eau par le bananier), et les prélèvements d'azote minéral différent selon les zones. Le modèle SIMBA complet a permis la définition de prototypes de systèmes de culture qui sont actuellement en évaluation dans le cadre du plan banane durable qui associe partenaires de recherche et techniques.

Nous avons complété les approches de conception de prototypes de systèmes de culture d'association bananiers – plante de service par la conception de stratégies intégrées de gestion du charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), notamment en organisant dans le temps et dans l'espace les pièges 'pitfall' associés avec une phéromone d'agrégation. Il ressort que les aspects spatiaux de l'épidémiologie de cet insecte sont centraux pour son contrôle et pour maximiser l'efficacité des différentes techniques de lutte. Nous avons utilisé un modèle spatial (COSMOS) afin de rechercher à concevoir des assemblages spatio-temporels de pratiques culturales et de systèmes de culture limitant le développement des populations de ce bioagresseur. Ce travail a permis, au-delà de la réponse à des questions de protection intégrée des cultures, d'apporter des éléments de portée générique au niveau de l'épidémiologie spatiale des bioagresseurs des cultures.

#### **Tache 4. Identification des conditions d'adoption des innovations**

Afin d'évaluer les impacts agronomiques, environnementaux, organisationnels et économiques des systèmes innovants dans les exploitations bananières, 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 types d'exploitation rencontrés aux Antilles (système de culture actuellement mis en œuvre, pression parasitaire, type de sol, climat). 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 afin d'évaluer 18 systèmes innovants sur 6 types d'exploitation. 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 de la main d'œuvre. Dans le cas des cultures associées cette substitution se fait au détriment du revenu des planteurs. Néanmoins les cultures associées de légumineuses semblent permettre une meilleure productivité de la bananeraie et conduisent à des niveaux de perte compatible avec les niveaux de subventions autorisées par les contrats agri-environnementaux (de 400 à 800 €/ha). L'adoption de rotations semble préconisée pour les petites exploitations de plaine car celles-ci pourraient voir augmenter leur productivité. 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 les 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 de la banane sur le marché. Les résultats de ces simulations ont été utilisés pour construire un questionnaire d'enquête visant à identifier les conditions d'adoption de ces systèmes innovants.

Ensuite, nous avons étudié les conditions d'adoption des systèmes de culture innovants. Nous avons construit un modèle économétrique d'adoption des systèmes innovants à partir d'une enquête réalisée auprès de 607 exploitations. La construction du questionnaire s'est appuyée sur la définition préalable de scénarios d'adoption impliquant différentes options de politiques de soutien calibrées à partir des résultats des simulations d'impacts obtenus dans l'action précédente. 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. Le modèle MIXED LOGIT estimé sur 3642 répétitions de choix de systèmes de culture a révélé un taux moyen de prédiction de 70% avec une faible variabilité de ce taux selon les innovations (70% +/-3%). Les taux d'adoption observés varient de 39% pour les systèmes sans pesticide à 67% pour les cultures de rotations ce qui montre la nécessité d'étudier les facteurs d'adoption des innovations en dehors du revenu seul. L'analyse des paramètres du modèle et de leur significativité, ainsi que des calculs d'effets marginaux et d'élasticité 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 planteurs (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 agri-environnemental, prix de vente de la banane, 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 de pesticides apparaît ainsi rédhibitoire pour certains planteurs alors qu'il influence positivement l'adoption pour les planteurs anticipant une interdiction des molécules. Cette étude nous a permis finalement de formuler un ensemble de recommandations agronomiques et politiques en vue de favoriser le développement et l'adoption de pratiques économiquement et socialement plus durables, respectueuses de l'environnement et en conformité avec les attentes des planteurs.

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 intensive 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 la 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.

**IMPLICATIONS PRATIQUES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES, VALORISATION**

• **Implications pratiques :**

L'ensemble de nos travaux montre qu'il est possible de développer des systèmes de culture qui limitent très fortement l'usage des pesticides. Ce projet a permis d'établir les bases des pratiques culturales permettant la réduction des pesticides et de les intégrer dans des systèmes de culture. La prise en compte du niveau potentiel d'adoption de ces systèmes permet de guider quels sont ceux qui sont plus adaptés en fonction du type d'exploitation considéré. Cependant, même si certains systèmes ont été évalués sur plusieurs années et sur plusieurs sites (voire même ont commencé à être adoptés, par exemple association bananier – soja pérenne), des ajustements techniques permettant de les optimiser (notamment au niveau économique) restent nécessaires. Cela va passer par l'utilisation des modèles de simulations développés dans ce projet et par le relais pris par les partenaires techniques (Institut Technique Tropical - IT<sup>2</sup>).

• **Recommandations et limites éventuelles :**

La poursuite de la réduction des pesticides dans les systèmes de culture bananiers va être possible sur la base des connaissances acquises dans le projet SYBAN. L'étude de certains mécanismes devra être encore approfondie afin de pouvoir optimiser les systèmes proposés.

• **Réalisations pratiques et valorisation :**

- Modèles de simulation permettant de simuler les systèmes d'association bananiers/plantes de services (SIMBA-IC et EPIC)
- Modèle de simulation de l'épidémiologie spatiale du charançon du bananier (COSMOS)
- Evaluation multicritère d'une cinquantaine d'espèces potentielles de plantes de services
- Test au champ de 6 prototypes de systèmes de culture
- Test par modèle de 18 prototypes de systèmes de culture dans 6 types d'exploitation agricoles
- Modèle de fonctionnement des exploitations (BANAD) et de prévision de l'adoption de systèmes de culture innovants
- Fiches techniques en association avec le Plan Banane Durable

**PARTENARIATS MIS EN PLACE, PROJETS, ENVISAGES**

- Construction du Plan Banane Durable en partenariat avec l'Institut Technique Tropical (IT<sup>2</sup>)
- Construction de partenariats scientifique autour des outils de modélisation (INRA Avignon UR PSH)

SYBAN

- En construction : partenariat sur les plantes de couverture (Wageningen University Research - Pays-Bas)

**POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)**

- Intégration des pratiques de gestion des nématodes phytoparasites : Risède *et al.*, 2009 (Voir P6 de la partie scientifique de ce rapport)
- 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.
- Gestion spatialisée du charançon du bananier : thèse de Fabrice Vinatier (soutenue le 18 novembre 2010 à Montpellier)
- Evaluation et prévision de l'adoption des systèmes de culture innovants : thèse de Jean-Marc Blazy (soutenue le 17 décembre 2008 à Montpellier)

**LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION ISSUES DU CONTRAT (ARTICLES DE VALORISATION, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES, ENSEIGNEMENT ET FORMATION, COMMUNICATION, EXPERTISES...)**

<b>PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES</b>	
Publications scientifiques parues	<b>34</b> publications ACL dont 15 avec au moins 2 des partenaires du projet
Publications scientifiques prévues	<b>2</b> chapitres d'ouvrages <b>&gt; 9</b>
<b>COLLOQUES</b>	
Participations passées à des colloques	<b>21</b>
Participations futures à des colloques	<b>&gt; 3</b>
<b>THESES</b>	
Thèses passées	<b>4</b> (Chabrier 2007, Blazy 2008, Henriët 2009, Vinatier 2010)
Thèses en cours	<b>1</b> (Mollet 2009-2012)
<b>ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION</b>	
Articles de valorisation parus	<b>9</b>
<b>AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS</b>	
Actions vers les médias (interviews...) effectuées	
Actions vers les médias prévues	
<b>ENSEIGNEMENT - FORMATION</b>	
Enseignements/formations dispensés	Enseignement dans les Masters ECOTROP de l'Université Antilles Guyane et HORTIMET de SupAgro-Montpellier
Enseignements/formations prévus	Suite des enseignements déjà dispensés
<b>EXPERTISES</b>	
Expertises menées	Expertise de conception de prototype de systèmes de culture dans le cadre du plan banane durable
<b>METHODOLOGIES (GUIDES...)</b>	
méthodologies produites	Méthodes de sélection des plantes de couverture  Modèles de simulation du fonctionnement de l'agroécosystème bananier (SIMBA, COSMOS, BANAD...)

# RESUMES

---

## RÉSUMÉ

Le projet SYBAN a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur le fonctionnement agro-écologique des bananeraies. L'accent a été mis sur les plantes de services utilisées pour lutter contre les adventices, améliorer la fertilité du sol et lutter contre les bioagresseurs. Nous avons caractérisé les compétitions pour l'eau et pour l'azote entre les bananiers et les plantes de services, et identifié des traits fonctionnels des plantes de services permettant d'optimiser le compromis compétition / lutte contre les adventices et les bioagresseurs. Ces nouvelles connaissances ont été intégrées dans des modèles de simulation, afin notamment de proposer des organisations spatiales de ces plantes de service, des résidus de culture, et des zones fertilisées dans les bananeraies. Nous avons également mesuré l'impact de ces plantes de service i) sur la dynamique des nématodes phytoparasites et ii) sur le potentiel de régulation du charançon du bananier. Une étude d'épidémiologie spatiale du charançon du bananier a permis proposer de nouveaux modes de gestion de ce ravageur, par l'organisation spatiale des parcelles et du piégeage. Des modèles de simulation des systèmes de culture ont permis d'intégrer l'ensemble de ces connaissances, et de nouveaux formalismes de simulation ont été définis. Enfin, une étude *ex-ante* sur le potentiel d'adoption des innovations a établi les bases permettant de mieux définir des systèmes de culture adaptés à chaque type d'exploitation agricole. Les principaux freins à l'adoption de systèmes de culture innovant ont été identifiés à l'échelle de la filière et des acteurs impliqués. Des prototypes de systèmes de culture ont été testés et commencent à être adoptés par les agriculteurs. Les résultats de ce projet ont bénéficié d'un transfert facilité par l'organisation de la filière de production sous forme d'un institut technique.

## MOTS CLÉS

Système de culture, réduction des pesticides, orientation des processus écologiques, modélisation, adoption des innovations

---

**ABSTRACT**

The SYBAN project led to new knowledge on the agro-ecological functioning of banana fields. We focussed on cover crops used to control weeds, to improve soil fertility, and to control pests. We characterized the competitions for water and nitrogen between banana plants and cover crops. Then, we identified functional traits of cover crops that optimize competition / weed and pests control trade-offs. This news knowledge was integrated inside simulation models, allowing proposing innovative spatial organisations of cover crops, crop residues, and fertilisation of banana fields. We also measured the impact of cover crops on i) dynamics of plant parasitic nematodes populations and ii) on the potential of natural control of the banana weevil. A study on the spatial ecology of the banana weevil allowed designing new strategies of mass trapping and spatial organizations of banana fields. Simulation models of cropping system functioning allowed the integration of all this knowledge; new formalisms of simulation were defined. An *ex-ante* study of the potential of adoption of innovations was carried out; establishing general characteristics of cropping systems that fit various farm's conditions. We pinpointed the main limitations in the adoption of innovative cropping systems, both at farm and commodity chain scale. Cropping system prototypes were tested and some are actually transferred to farmer and begin to be adopted. The transfer of the SYBAN project results was facilitated by farmer organization and by technical institute.

**KEY WORDS**

Cropping systems, pesticide reduction, steering ecological processes, modelling, adoption of innovations



## **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., Ripoché, 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.