



**HAL**  
open science

**Économie de l'innovation : conditions d'adoption de systèmes de cultures innovants en substitution d'intrants chimiques dans les exploitations bananières en Guadeloupe. Rapport final du programme de recherche financé par le Ministère de l'Outre Mer**

Jean-Marc Blazy, Jean-Louis Diman

► **To cite this version:**

Jean-Marc Blazy, Jean-Louis Diman. Économie de l'innovation : conditions d'adoption de systèmes de cultures innovants en substitution d'intrants chimiques dans les exploitations bananières en Guadeloupe. Rapport final du programme de recherche financé par le Ministère de l'Outre Mer. [Contrat] 2009. hal-02811584

**HAL Id: hal-02811584**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02811584v1>**

Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Unité de Recherche AgroPédoClimatique de la zone Caraïbe  
Domaine Duclos, Prise d'eau, 97170 Petit-Bourg

## **Rapport final du programme de recherche**

**« Économie de l'innovation : conditions d'adoption de systèmes de cultures innovants en substitution d'intrants chimiques dans les exploitations bananières en Guadeloupe. »**

**Mars 2009**

**Jean-Marc Blazy – Jean-Louis Diman**

[jean-marc.blazy@antilles.inra.fr](mailto:jean-marc.blazy@antilles.inra.fr), [jean-louis.diman@antilles.inra.fr](mailto:jean-louis.diman@antilles.inra.fr)

**Période couverte : janvier 2007 – décembre 2008**

*Ce projet a été présenté en réponse à l'appel à proposition du Ministère de l'Outre-mer pour l'année 2005. D'une durée de deux ans, il n'a pu être mis en œuvre dès 2006 comme prévu initialement (signature de la convention en date du 30 novembre 2006). Les deux années de mise en œuvre sont donc 2007 et 2008 (la dépense était imputable sur les crédits du chapitre 68-01, article 10 du budget du ministère de l'outre-mer ; elle intervient dans l'aménagement du territoire).*



Œuvre mise à disposition sous licence Attribution - Pas d'Utilisation  
Commerciale - Pas de Modification - 3.0 France  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr>)

## Sommaire :

<i>Rapport sur les travaux de recherche effectués</i> .....	4
<b>1. Rappel des enjeux et objectifs du programme de recherche</b> .....	4
1.1. Enjeux socio-économiques .....	4
1.2. Enjeux scientifiques .....	5
1.3. Objectifs du programme de recherche .....	6
<b>2. Travaux effectués : méthode employées et principaux résultats</b> .....	6
2.1. Démarche générale .....	6
2.2. Etape 1 : Modélisation de la diversité des exploitations et prototypage de systèmes de cultures innovants à bas niveau d'intrants chimiques .....	8
2.3. Etape 2 : Modélisation bio-économique des impacts de l'adoption des systèmes de culture ..	12
2.4. Etape 3 : Modélisation ex ante de l'adoption des systèmes de culture innovants .....	16
<b>3. Bilan et conclusions</b> .....	18
3.1. Résultats de recherche à caractère générique .....	18
3.2. Valorisations des résultats du programme de recherche .....	20
3.3. Recherches complémentaires .....	20
3.4. Conclusions opérationnelles .....	21
<i>Références bibliographiques</i> .....	26
<i>Liste des publications produites dans le cadre du projet</i> .....	28

# Rapport sur les travaux de recherche effectués

L'objectif de ce rapport est de présenter les travaux effectués dans le cadre du programme de recherche « Économie de l'innovation : conditions d'adoption de systèmes de cultures innovants en substitution d'intrants chimiques dans les exploitations bananières en Guadeloupe ». Nous commencerons par rappeler les objectifs et enjeux scientifiques et socio-économiques du projet, puis présenterons les travaux réalisés en précisant pour chaque étape du programme, les enjeux scientifiques, les méthodes employées et les principaux résultats obtenus. Nous concluons en dressant un bilan du programme, en synthétisant les résultats opérationnels et scientifiques obtenus, en présentant les valorisations sur lesquelles le projet a débouché et en recensant les points restant à approfondir.

## **1. Rappel des enjeux et objectifs du programme de recherche**

### **1.1. Enjeux socio-économiques**

La culture de la banane est d'une importance économique et sociale considérable aux Antilles. Dans un contexte où le taux de chômage est de l'ordre de 25%, cette culture représente environ 5000 emplois directs ou indirects. Par ailleurs alors que la balance commerciale de la Guadeloupe est largement déficitaire (taux de couverture de 7%), l'exportation de banane représentait en 2006 40 millions d'euros sur les 164 millions d'euros de la totalité des exportations de marchandises (INSEE, 2007). En ce qui concerne la Martinique la dépendance à la banane est encore plus marquée.

Cette culture traverse actuellement une crise économique et environnementale sévère depuis le début des années 90. La crise économique est due d'une part à la libéralisation du marché qui a entraîné une baisse du prix de vente sur le marché mondial, et d'autre part à la faible compétitivité de la production antillaise face aux pays producteurs d'Amérique latine et d'Afrique où les coûts de main d'œuvre sont de 5 à 10 fois plus bas, et les structures d'exploitation beaucoup plus grandes (surface médiane de 4 ha aux Antilles). Parallèlement à la baisse du prix de vente, les coûts de production ont augmenté avec la systématisation de l'usage du labour en zone mécanisable et de pesticides coûteux pour contrôler le développement parasitaire en charançons et en nématodes. Par ailleurs, les Antilles ont été touchés par de nombreux cyclones destructeurs avec Hugo en 1989, Luis et Marilyn en 1995, Lenny en 1999 et Dean en 2007. La grève des dockers du port de Pointe à Pitre en 2004 a empêché toutes exportations pendant 2 mois et a contribué à fragiliser des exploitations déjà déprimées économiquement. Cette crise économique s'est traduite par une érosion du revenu (Bonin and Cattan, 2006), un manque de trésorerie chronique pour financer la production (Dulcire and Cattan, 2002), et une diminution du nombre d'exploitations qui était de 1400 en 1980 alors qu'il est de 200 aujourd'hui. Les pratiques intensives ont eu pour conséquence une baisse de la fertilité physique, biologique et chimique des sols (Clermont Dauphin et al., 2004) et une contamination des sols, des eaux de surface, et des écosystèmes terrestres et marins en composés organochlorés et organophosphorés (Bonan and Prime., 2001; Bocquene et al., 2005, Cabidoche et al., 2009). La contamination des sols et des eaux de surface à la chlordécone – un insecticide utilisé autrefois en bananeraie – a amené les pouvoirs publics à prendre diverses mesures comme l'installation systématique de filtres à charbon actif sur grain dans tous les captages d'eau potable, et l'obligation d'analyse des productions issues des sols contaminés préalablement à la commercialisation (DAF, 2003; 2005).

Face à cette crise, l'unité de recherche agropédologique de l'INRA (UR APC) développe en partenariat avec le CIRAD et les organisations de producteurs un programme de conception de

systèmes de cultures bananiers innovants. Ce programme vise à développer et promouvoir des systèmes de culture utilisant moins d'intrants chimiques – en particulier, moins de pesticides – et plus performant économiquement. Afin de maximiser l'appropriation de ces innovations par les agriculteurs, le programme de conception de systèmes de culture innovants développé au sein de l'UR APC comprend un volet portant sur l'étude et la modélisation des conditions d'adoptions.

## **1.2. Enjeux scientifiques**

La situation de crise de la banane aux Antilles n'est pas un cas isolé. L'agriculture mondiale se trouve en effet aujourd'hui confrontée à de nombreux enjeux en terme de production, de revenus et d'impacts environnementaux, qui remettent fortement en question les modes de productions actuels (Grenelle, 2008 ; Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Pour répondre à ces enjeux, de nombreux instituts de recherche portent une attention accrue aux recherches génériques sur les méthodes de conception et d'évaluation de systèmes agricoles innovants (Hatfield *et al.*, 2007 ; Meynard *et al.*, 2006). Cette tendance peut être expliquée par la multiplicité des échelles, contraintes et critères à prendre en compte qui rend la conception et l'évaluation de l'innovation complexe. Il s'agit en effet de dépasser une approche purement technologique de l'innovation pour développer de nouvelles approches systémiques dans lesquelles on s'efforce d'acquérir une vision globale, organisée et hiérarchisée des interactions entre les innovations technologiques et les systèmes agricoles dans lesquels elles doivent s'insérer, et de leurs conséquences agronomiques, économiques, écologiques, sociales et territoriales (Meynard *et al.*, 2006).

La plupart des travaux de conception et d'évaluation de systèmes de culture innovants sont conduits par des agronomes. Un des domaines de recherche très actif en agronomie concerne l'utilisation de la modélisation mathématique et de la simulation numérique en vue d'expérimenter *in silico* et d'évaluer *ex ante* les performances et conséquences de différentes alternatives de systèmes innovants (Loyce and Wery, 2006). Ces approches de modélisation présentent l'avantage de pouvoir contourner les inconvénients des approches uniquement expérimentales, trop longues et trop coûteuses pour répondre aux attentes de la société. De nombreux travaux de conception et évaluation d'innovation à l'aide de modèles informatiques ont été publiés (Tixier *et al.*, 2008 ; Dogliotti *et al.*, 2004 ; Loyce *et al.*, 2002). Cependant ces travaux sont principalement limités à l'échelle de la parcelle et prennent peu en compte la diversité des contextes d'exploitations (Sterk *et al.*, 2007). Qui plus est, ces approches ne permettent pas d'évaluer *ex ante* l'acceptabilité des innovations. Ce dernier point est pourtant crucial à prendre en compte car des innovations très prometteuses à la parcelle sur le plan des performances agronomiques, environnementales et économiques, ne pourront effectivement améliorer la durabilité des systèmes actuels que si elles sont adoptées par les agriculteurs auxquels elles sont destinées. Or on peut faire l'hypothèse – très probablement vraie mais difficilement vérifiable à court terme – que si l'on évalue précocement les déterminants de l'adoption des systèmes innovants on pourra alors réorienter le contenu de l'innovation de sorte à ce qu'elle soit plus largement adoptée.

L'adoption de l'innovation en agriculture a fait l'objet de nombreuses recherches en économie et en sociologie depuis plus de 50 ans (Griliches, 1957). Il s'agit d'un processus complexe impliquant de nombreux déterminants relatifs aux caractéristiques des innovations, aux ressources des exploitations, et aux préférences personnelles des agriculteurs dont l'hétérogénéité peut être expliquée par différents facteurs d'ordre biophysique, socio-économique, psychologique et culturel (Marra *et al.*, 2003; Abadi Ghadim and Pannell, 1999 ; Feder and Umali, 1993). Malgré le très grand nombre de références sur l'adoption de l'innovation, très peu de recherches ont été conduites sur la modélisation *ex ante* du processus d'adoption de système de culture innovant. En effet, d'une part la plupart des modèles d'adoption sont construits *ex post* (e.g. Adesina, 2002), et d'autre part les rares études réalisées *ex ante* portent principalement sur l'adoption d'innovations mineures ayant un faible impact sur l'exploitation, par ailleurs peu renseignées sur leurs performances agronomiques supposées dans les exploitations. Elles ne sont donc pas adaptées à des évaluations de systèmes innovants, dans la conception desquels le nombre de systèmes candidats peut être considérable et le niveau d'innovation très important.

Cet état de l'art sommaire fait ressortir un fort cloisonnement disciplinaire entre agronomie systémique et économie de l'innovation. D'un côté des travaux d'agronomie permettent de concevoir des systèmes de culture innovants et d'évaluer précisément leurs conséquences agronomiques et environnementales à l'échelle de la parcelle mais avec une faible prise en compte de leur conformité avec les attentes et préférences des agriculteurs. D'un autre côté des travaux d'économie portent sur l'évaluation économique des innovations et de leur acceptabilité par les agriculteurs mais ils s'appuient sur des scénarios agronomiques très simplifiés. Face à ce constat, il semblait opportun de conduire des travaux interdisciplinaires de modélisation à l'interface entre l'agronomie systémique et l'économie de l'innovation pour porter le regard croisé de ces deux disciplines sur le processus d'adoption des systèmes de cultures, au cours de leur conception.

### **1.3. Objectifs du programme de recherche**

Le principal objectif du projet était de concevoir et de modéliser l'adoption de systèmes de culture innovants bananiers plus durables économiquement et d'un point de vue environnemental. Cet objectif général peut se décliner en trois sous-objectifs :

- (i) Dresser un état des lieux et caractériser la diversité des exploitations, et mettre en cohérence les éléments d'innovations en cours de développement pour en faire des systèmes de cultures innovants a priori adaptés aux problèmes et contraintes des planteurs,
- (ii) Evaluer ex ante et à l'échelle des différents types d'exploitations quels seraient les impacts économiques, techniques, agronomiques, environnementaux de l'adoption des systèmes innovants,
- (iii) Evaluer quelles sont les probabilités et conditions d'adoption des systèmes par les planteurs (chapitre 5), et formuler des propositions d'action à destination des agronomes concepteurs, économistes de l'innovation, et acteurs et décideurs de la filière (DAF, ministère de l'agriculture, groupements de planteurs) en vue d'éclairer leur choix en vue de favoriser le développement et l'adoption de systèmes de cultures plus durables.

## **2. Travaux effectués : méthode employées et principaux résultats**

### **2.1. Démarche générale**

Nous avons développé une méthode en trois étapes, basée sur le couplage d'outils aussi variés qu'une typologie d'exploitation, un modèle bio-économique d'exploitation et un modèle économétrique d'adoption (**Figure 1**). La première étape vise à caractériser la diversité des exploitations à l'échelle régionale et à définir sur la base de ce diagnostic un ensemble de systèmes de culture innovants candidats censés améliorer la durabilité des exploitations et adaptés à chaque contexte. La deuxième étape vise à développer un modèle bio-économique d'exploitation pour évaluer quels seraient les impacts de l'adoption des systèmes innovants dans les différents types d'exploitation caractérisés dans l'étape 1. En utilisant les résultats de ces simulations, la troisième étape vise à identifier les conditions d'adoption des systèmes de culture innovants en construisant un modèle économétrique d'adoption. Ce modèle est nourri par une enquête sur un large échantillon d'exploitations portant sur les comportements d'adoption des agriculteurs vis-à-vis des systèmes innovants candidats et de leurs impacts supposés. L'ensemble des résultats obtenus permet alors de formuler un ensemble de propositions d'action pour optimiser le contenu des innovations et des politiques d'accompagnement de sorte à s'assurer que les systèmes innovants soient en conformité avec les préférences et contraintes particulières de chaque type d'agriculteur.

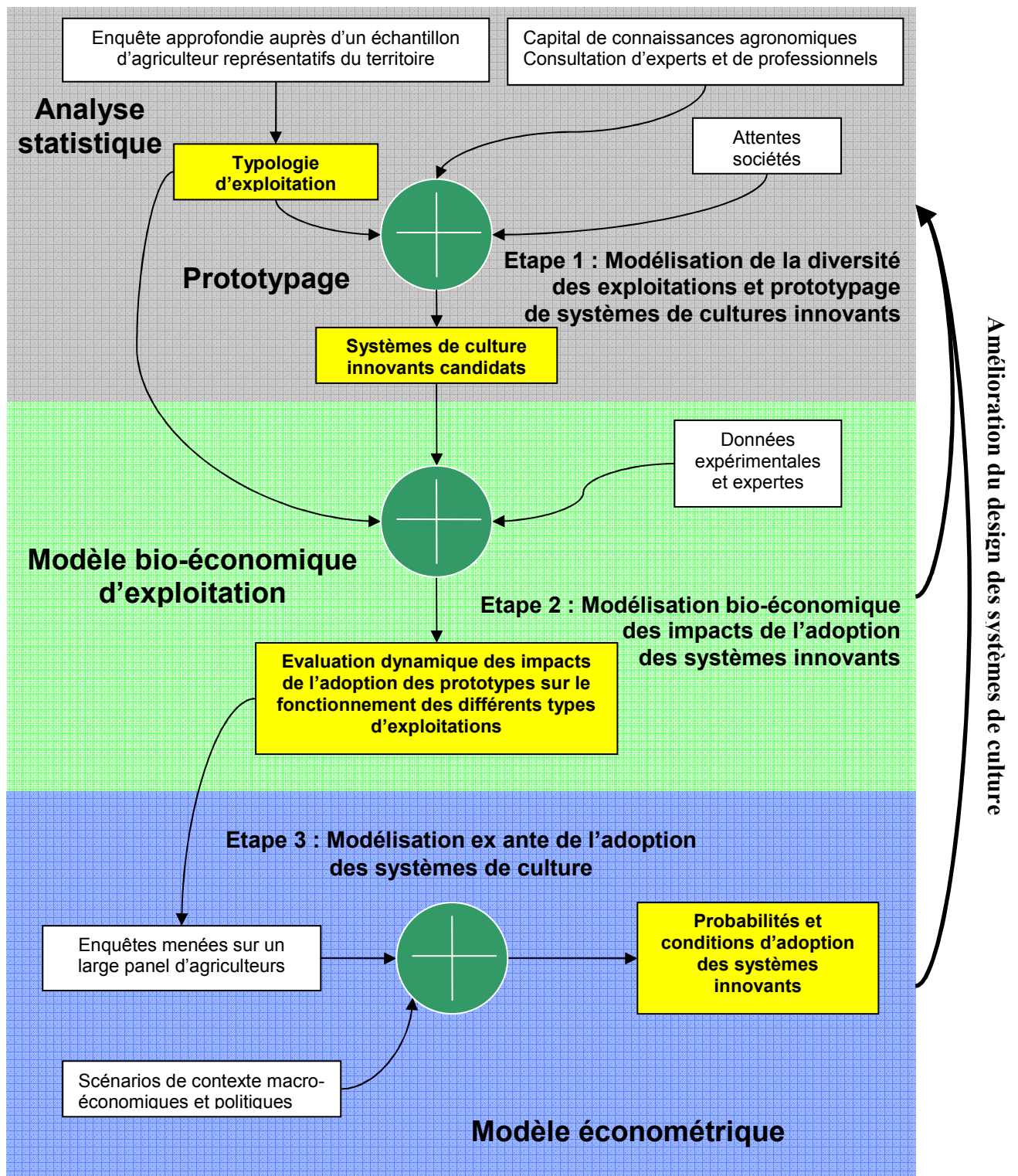


Figure 1. Démarche générale suivie dans la mise en oeuvre du projet.



## **2.2. Etape 1 : Modélisation de la diversité des exploitations et prototypage de systèmes de cultures innovants à bas niveau d'intrants chimiques**

### Objet et finalités de la recherche :

L'objectif de cette première étape de la méthode était de caractériser et modéliser la diversité des exploitations bananières, puis d'utiliser cette caractérisation dans un processus de prototypage de systèmes de culture innovants avec des experts locaux. La diversité des exploitations a été représentée selon trois dimensions : i) l'ossature technique des systèmes de culture bananier actuellement pratiqués, ii) les caractéristiques économiques, environnementales et sociales des exploitations, et iii) les performances actuelles des exploitations. Dans un processus de conception et d'évaluation d'innovations une telle caractérisation de la diversité est nécessaire pour deux raisons. D'une part, elle servira à guider la construction de systèmes innovants cohérents avec les problèmes et situations particulières de chaque type d'exploitation. D'autre part, elle permettra de renseigner les paramètres techniques, pédoclimatiques et économiques des modèles utilisées pour l'évaluation des systèmes au cours de la deuxième étape de la méthode.

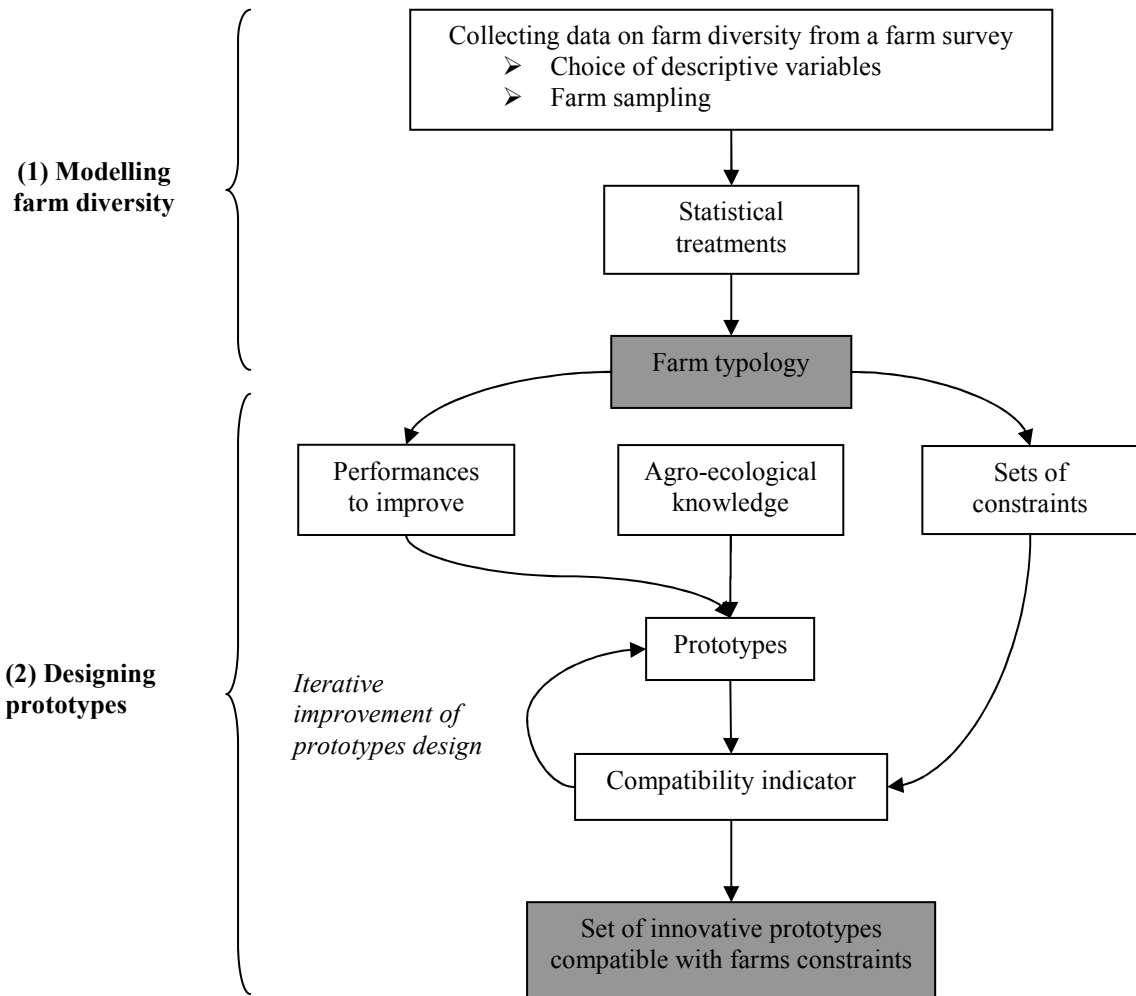
### Intérêt scientifique :

La prise en compte de la diversité des exploitations et leur hétérogénéité spatiale à l'échelle du territoire est une étape clé de l'évaluation des systèmes agricoles (van Ittersum et al., 2008 ; Antle and Stoorvogel, 2006). Au sein d'un territoire, les exploitations peuvent en effet avoir des conditions pédoclimatiques et des capacités ou contraintes techniques différentes, de sorte qu'une innovation se comportera très certainement différemment selon le type d'exploitation. Ainsi, pour pouvoir évaluer avec précision les conséquences de l'adoption d'innovations, il faut commencer par caractériser la diversité des exploitations au sein de la région où la durabilité des systèmes de culture est à améliorer. Les typologies d'exploitation sont des outils appropriés pour caractériser et modéliser la diversité régionale des exploitations (Landais, 1998). Cependant elles ont été principalement développées à des fins de facilitation du conseil agricole en matière de choix des productions sur l'exploitation, et dans l'état, n'étaient donc pas forcément adaptées à des utilisations dans le cadre de programme de conception et d'évaluation de systèmes de cultures innovants.

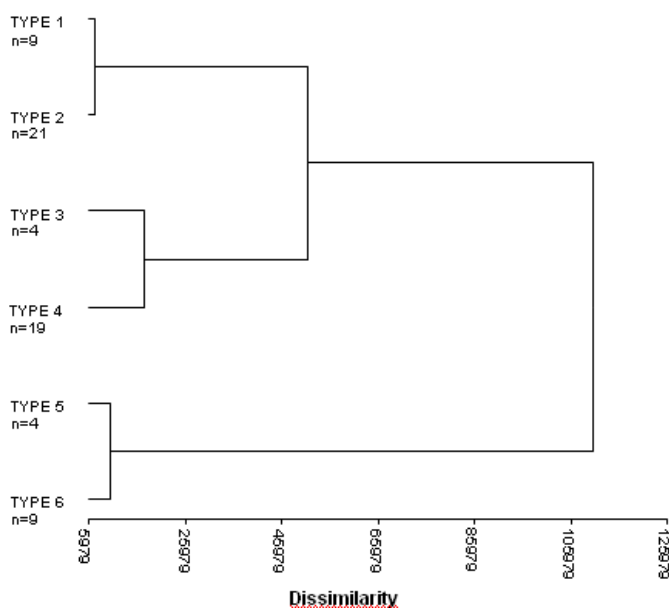
Le deuxième intérêt scientifique de ces travaux réside dans la formalisation d'une méthode permettant de croiser des savoirs experts et une typologie d'exploitation servant à identifier la diversité des contraintes pesant sur les exploitations. En effet la plupart des approches de prototypages publiées font appel à des savoirs experts mais ne prennent pas en compte la diversité des exploitations (e.g. Lançon, 2007). L'intérêt d'une telle méthode est d'une part qu'elle permet de faciliter l'intégration des diverses connaissances des experts dans un seul corpus systémique, et d'autre part qu'elle permet de s'assurer que les systèmes que l'on veut développer répondent bien à la diversité des problèmes et sont a priori compatibles avec la diversité des contraintes rencontrées au sein du territoire.

### Programme de travail et méthodes :

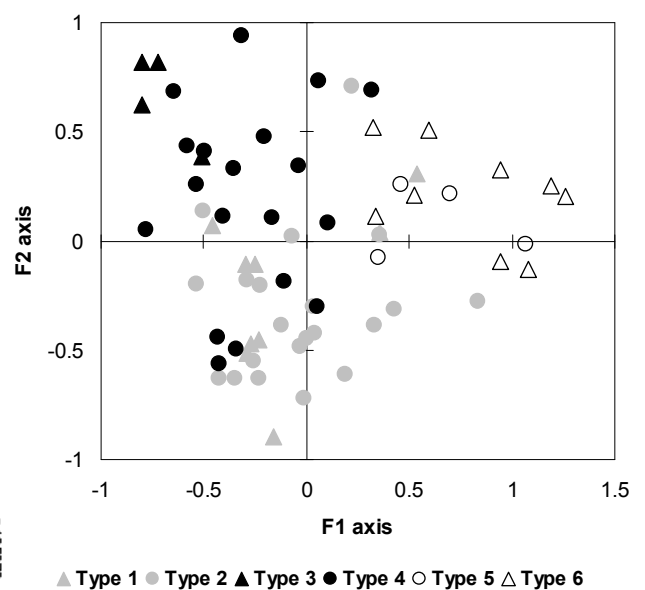
L'approche développée se décompose en deux étapes (**Figure 2**). La première étape consiste à construire une typologie d'exploitation selon les 3 dimensions présentées ci-dessus. Des variables de descriptions sont définies et collectées à travers une enquête en deux passages auprès d'un échantillon d'exploitations représentatif de la diversité spatiale des exploitations. La construction de la typologie est ensuite réalisée en appliquant une combinaison d'outils statistiques impliquant un algorithme de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des individus dont la ressemblance est mesurée avec un indice de dissimilarité. Cette méthode permet d'obtenir des groupes d'exploitations homogènes dont la caractérisation est faite en calculant la valeur moyenne (pour les variables quantitatives) ou modale (pour les variables qualitatives) des variables dans chaque groupe. La typologie ainsi obtenue peut alors servir de base de travail à un groupe d'experts locaux constitués de scientifiques et de professionnels. Quatre réunions permettent de définir successivement i) les objectifs à atteindre pour chaque type d'exploitation à partir d'une analyse de leur performances actuelles, ii) un jeu de contraintes spécifique pour chaque type d'exploitation, iii) un ensemble de prototypes de systèmes de culture pour atteindre les objectifs définis, et enfin iv) un ensemble de prototypes de systèmes de culture compatibles avec les exploitations grâce à l'utilisation d'un indicateur de compatibilité qui permet l'amélioration itérative du design des innovations.



**Figure 2.** Méthode de prototypage de systèmes de culture innovants permettant de caractériser et prendre en compte la diversité des exploitations.



**Figure 3.** Arbre de classification en 6 classes obtenu par classification ascendante hiérarchique des 66 exploitations.



**Figure 4.** Représentation des groupes d'exploitations dans le plan des deux premiers facteurs d'une ACM.

### Résultats obtenus :

L'application de la méthode à un échantillon de soixante-six exploitations bananières de Guadeloupe décrites par quarante-six variables a permis d'obtenir une typologie d'exploitations en six types présentant une faible variabilité intra-groupe (**Figures 3 et 4**). Trois grands types de systèmes de cultures ont pu être caractérisés : des systèmes de monoculture de banane avec replantation régulière tous les 4 à 6 ans (type 1 et 2); des systèmes où la bananeraie est régulièrement replantée tous les 4 ans et en rotation avec de la canne à sucre où une jachère de 12 mois (type 3 et 4) ; des systèmes de plantation pérenne où la bananeraie n'est jamais replantée (type 5 et 6). Les performances des exploitations varient considérablement entre des exploitations ayant un impact très faible sur l'environnement mais de mauvaises performances agronomiques et économiques (type 5) et des exploitations présentant à l'inverse de bons résultats agronomiques et économiques mais avec des niveaux d'utilisation d'intrants chimiques importants, en particuliers en pesticides (type 3). L'analyse des performances des exploitations et de la nature technique des systèmes de culture a permis à un panel d'experts de différentes disciplines agro-écologiques de définir six objectifs (**Tableau 1**). Ceux-ci sont relatifs à la réduction de l'usage des pesticides, à la régulation biophysique des populations de ravageurs et à l'amélioration de la nutrition des plantes.

Agro-ecological objectives		TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4	TYPE 5	TYPE 6
<b>O1: reducing pesticides use</b>	<i>Reduce nematicide</i>	0	1	1	0	0	0
	<i>Reduce herbicide</i>	1	1	1	1	0	1
	<i>Natural control of nematodes</i>	1	1	0	0	1	1
<b>O2: improving natural control of pests and/or mineral nutrition</b>	<i>Improving crop tolerance to nematodes and fungi</i>	1	1	0	0	1	1
	<i>Natural control of weeds</i>	1	1	1	1	1	1
	<i>Improving nitrogen nutrition</i>	0	1	0	0	1	1

**Tableau 1.** Objectifs définis pour chaque type d'exploitation.

L'analyse des caractéristiques économiques, environnementales et sociales de chaque exploitation a permis de définir un jeu de contraintes spécifique pour chaque type (**Tableau 2**). Les exploitations du type 1 et 2 sont soumises au risque de stress hydrique car elles sont situées à une altitude où le bilan hydrique peut être déficitaire du fait d'une moindre pluviométrie et de l'absence d'accès à l'irrigation. Les exploitations du type 1 et 6 sont toutes les deux très contraintes économiquement car disposant d'une faible superficie d'exploitation (moins de 5 hectares) et de contraintes de trésorerie chroniques. La situation du type 3 est radicalement différente car ces exploitations ne sont pas contraintes économiquement mais sont contraintes par la moindre flexibilité de leur main d'œuvre qui est extérieure à l'exploitation et employée à temps plein. Les exploitations des types 5 et 6 sont localisées en altitude dans des zones où le niveau de pente, la pierrosité et le type de sol interdit toute mécanisation.

Nature	Constraints	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4	TYPE 5	TYPE 6
Physical	<i>Risk of water deficit</i>	1	1	0	0	0	0
	<i>Non-mechanisable land</i>	0	0	0	0	1	1
Social	<i>Impossibility to reduce manpower</i>	0	0	1	0	0	0
	<i>Impossibility to increase work arduousness</i>	0	0	1	0	0	0
Economic	<i>Limited land availability</i>	1	0	0	0	0	1
	<i>Financial limitations</i>	1	1	0	1	1	1

**Tableau 2.** Jeux de contraintes définis pour chaque type d'exploitation.

Le **Tableau 3** présente les seize prototypes définis par les experts et leur niveau de compatibilité avec les différents types d'exploitation. Ces prototypes font appel à une grande gamme d'innovation allant de la simple réduction de l'usage de pesticides à des systèmes sans pesticides très innovants impliquant l'adoption d'une nouvelle variété de bananier tolérante aux ravageurs, l'utilisation de plantes de services cultivés en association, et la pratique de rotation avec des plantes de couverture.

Category of innovation	Technical nature of prototype	Prototype code	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4	TYPE 5	TYPE 6
A. Total withdrawal of pesticide use	<i>Total withdrawal of nematicide use</i>	A1	0.7	0.5	<b>1.0</b>	0.0	0.5	0.7
	<i>Total withdrawal of herbicide use and replacement by mechanical weeding</i>	A2	0.7	0.5	<b>1.0</b>	0.0	0.5	0.7
	<i>Total withdrawal of nematicide and herbicide use and replacement by mechanical weeding</i>	A3	0.7	0.5	<b>1.0</b>	0.0	0.5	0.7
B. Rotation or improved fallow and withdrawal of nematicide use for two years after banana planting	<i>8 months of improved fallow with <i>Crotalaria juncea</i> before replanting + withdrawal of nematicide use for two years</i>	B1	0.7	0.5	<b>1.0</b>	0.0	0.0	0.3
	<i>12 months of chemically controlled fallow before replanting + withdrawal of nematicide use for two years</i>	B2	0.7	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.7
	<i>18 months of rotation with pineapple + withdrawal of nematicide use for two years</i>	B3	0.7	<b>1.0</b>	0.0	<b>1.0</b>	0.5	0.3
C. Intercropping banana and total withdrawal of herbicide use	<i>Intercropping with <i>Canavalia ensiformis</i> and mulching at flowering + total withdrawal of herbicide use</i>	C1	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.5	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
	<i>Intercropping with <i>Brachiaria decumbens</i> + mechanical mowing + total withdrawal of herbicide use</i>	C2	0.3	0.0	<b>1.0</b>	0.0	0.0	0.3
	<i>Intercropping with <i>Impatiens sp</i> and total withdrawal of herbicide use</i>	C3	0.7	0.5	0.5	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
D. Controlling chemical input application	<i>Nematicide treatment as a function of nematode pressure</i>	D1	0.7	0.5	<b>1.0</b>	0.0	0.5	0.7
	<i>Herbicide treatment as a function of soil cover</i>	D2	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
E. Hybrid tolerant cultivars and total withdrawal of nematicide	<i>Cultivar type 1 + total withdrawal of nematicide and fungicide use</i>	E1	0.7	0.5	0.0	0.0	0.5	0.7
	<i>Cultivar type 2 + total withdrawal of nematicide and fungicide use</i>	E2	0.7	0.5	<b>1.0</b>	0.0	0.5	0.7
F. Integrated systems with partial (F1 and F2) or total (F3) withdrawal of pesticide use	<i>12 months of improved fallow with <i>B. decumbens</i> before replanting + no tillage + intercropping with <i>B. decumbens</i></i>	F1	0.0	0.0	<b>1.0</b>	0.0	0.0	0.0
	<i>12 months of natural chemically controlled fallow before replanting + Intercropping with <i>Impatiens sp.</i></i>	F2	0.3	0.5	0.5	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	0.7
	<i>Cultivar type 2 + 8 months of improved fallow with <i>C. juncea</i> before replanting + Intercropping with <i>C. ensiformis</i> and mulching at flowering + organic fertilisation</i>	F3	0.7	0.5	0.5	0.0	0.0	0.3
<b>Total number of prototypes fully compatible</b>			<b>2</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

**Tableau 3.** Prototypes définis par les experts et valeurs de l'indice de compatibilité entre les prototypes proposés et les types d'exploitation.

**Nota :** 1 signifie que le prototype est compatible avec toutes les contraintes présentes dans le type d'exploitation, 0 le contraire.

### **2.3. Etape 2 : Modélisation bio-économique des impacts de l'adoption des systèmes de culture**

#### Objet et finalités de la recherche :

L'objectif de cette deuxième étape du travail de thèse était d'évaluer quelles seraient les conséquences agronomiques, environnementales et économiques de l'adoption des prototypes de systèmes de culture innovants, pour les différents types d'exploitations. Ici l'adoption de l'innovation n'est pas vue comme un processus décisionnel à modéliser mais comme un processus d'intégration d'innovations dans différents types de système de culture, dont on évalue par modélisation les conséquences sur le fonctionnement et les performances des exploitations.

#### Intérêt scientifique :

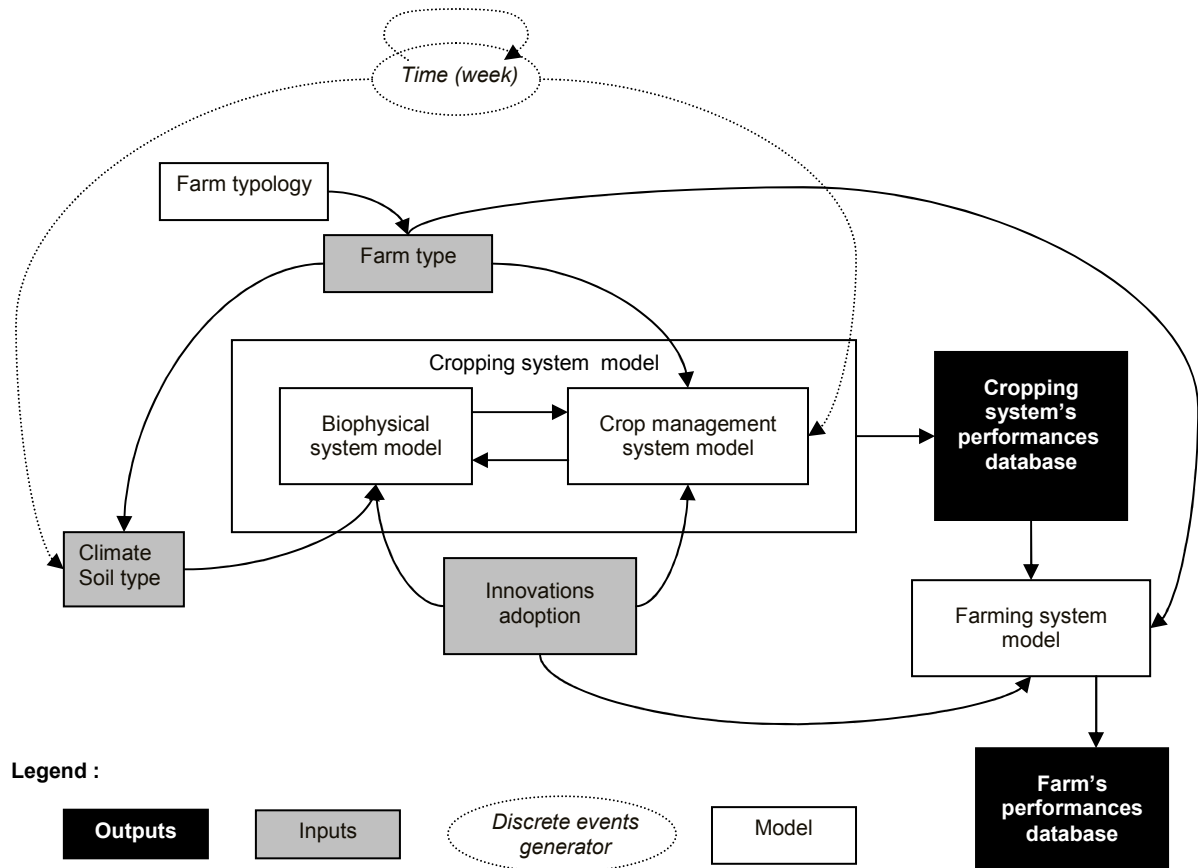
Dans le cadre de ces travaux nous avons développé un modèle bio-économique d'exploitation original que nous avons baptisé BANAD. L'approche de modélisation proposée présente trois intérêts scientifiques :

- Elle permet de simuler conjointement et de manière dynamique les processus biophysiques, biotechniques et économiques d'une exploitation passant d'un système conventionnel à un système innovant.
- A travers des jeux de paramètres différenciés, elle permet de tenir compte de la diversité environnementale, technique, et économique des exploitations.
- Elle permet de simuler des systèmes très innovants qui sont la résultante des systèmes de cultures actuels dans lesquels le modèle introduit de nouvelles composantes biophysiques (e.g. culture intercalaire, nouvelle variété, etc.), adapte les règles de décisions des actes gestionnaires, et adapte les valeurs des paramètres technico-économiques qui sont affectés par l'adoption de l'innovation (temps de travaux, prix de vente, etc.)

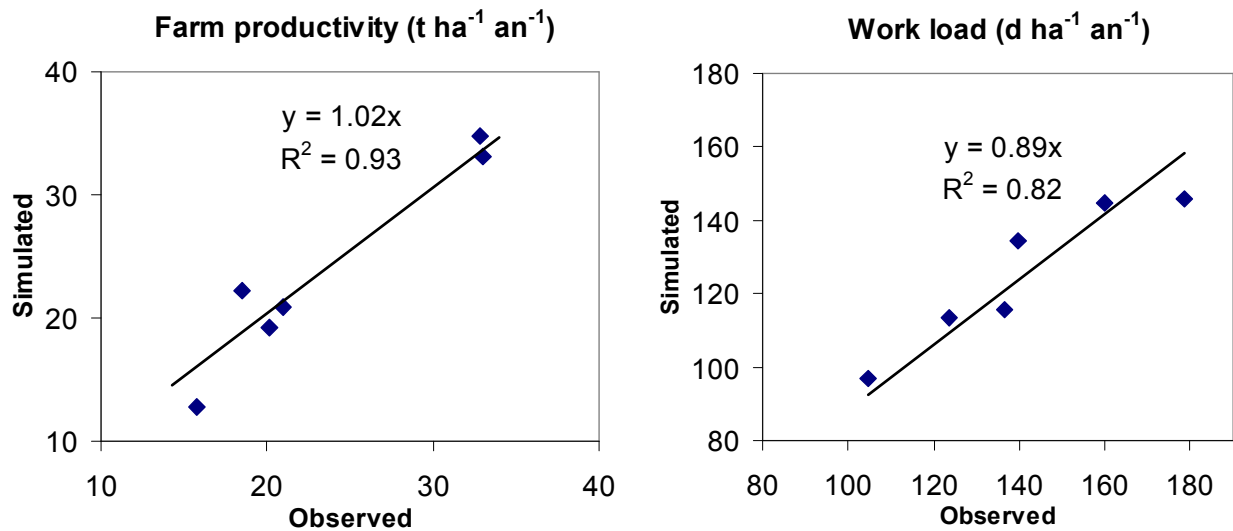
#### Programme de travail et méthodes :

La structure du modèle qui a été développé est présentée dans la **Figure 5**. Le modèle est composé de deux sous-modèles qui ont été couplés informatiquement : un modèle de système de culture fonctionnant à la parcelle (cropping system model) et un modèle micro-économique d'exploitation (farming system model). Le modèle de système de culture permet de simuler les processus biophysiques en interaction avec la conduite technique des cultures et le modèle d'exploitation permet de simuler l'assolement de l'exploitation et de quantifier les flux d'intrants et d'extrants à l'échelle de l'exploitation. Les performances simulées sont relatives à la production, au niveau d'utilisation de matières actives pesticides et à leurs impacts environnementaux, aux coûts de mise en œuvre de l'innovation, au revenu net de l'agriculteur, au délai de retour sur investissement, et à la charge de travail. Les sorties du modèle peuvent être calculées à un pas de temps allant de la semaine à la dizaine d'année (échelle de la transition d'un système de culture à un autre), ce qui permet de visualiser l'évolution dynamique des performances ou bien d'analyser des sorties moyennées ou cumulées.

Pour simuler le fonctionnement des systèmes de culture nous avons utilisé le modèle SIMBA (Tixier et al., 2008) qui a été spécifiquement adapté, calibré et évalué pour le besoin de cette étude. Dans ce modèle le système de culture est représenté comme étant composé de deux sous-systèmes en interaction, un sous-système biophysique et un sous-système technique (Rapidel et al., 2006). Le modèle simule de manière dynamique les processus biophysiques agissant sur le fonctionnement du sol, des parasites, et du peuplement végétal sous l'effet des techniques appliquées par l'agriculteur qui sont décrites par un ensemble de règles de décisions. L'exploitation est représentée comme étant la combinaison de plusieurs blocs de parcelles dont la proportion est définie à l'aide d'un module d'assolement. A l'aide de matrices de transition (Castellazzi et al., 2008) ce module est capable de simuler le passage progressif d'un système de culture conventionnel à un système de culture innovant.



**Figure 5.** Vue d'ensemble de la structure du modèle BANAD (Bio-economic farm model for Assessment of impacts of iNnovations ADoption).



**Figure 6.** Comparaison entre valeurs observées et valeurs simulées pour la production de banane et la charge de travail pour les six types d'exploitation.

Un module intègre alors les sorties du modèle de système de culture et du module d'assolement pour calculer les valeurs des différents critères d'évaluation à l'échelle de l'exploitation entière.

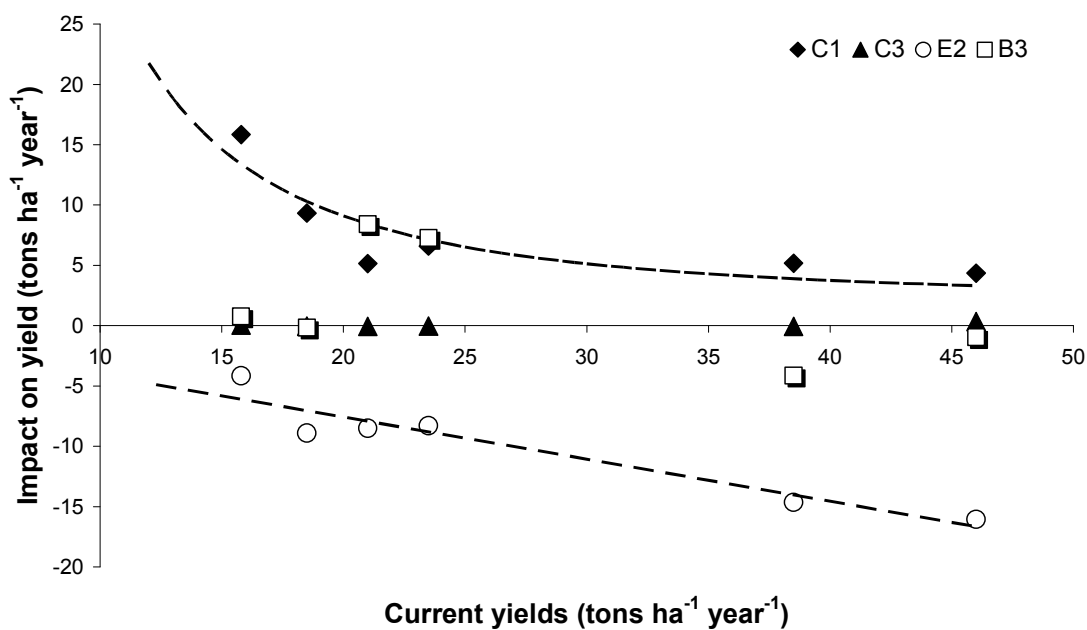
Les paramètres d'entrées sont relatifs aux conditions environnementales des exploitations (pluviométrie, température, rayonnement, pente), aux états initiaux du sol et des populations de parasites, aux règles de décision pour la conduite des cultures, aux temps de travaux, aux coûts de main d'œuvre, et au prix de vente des produits. Les valeurs de ces paramètres sont contrôlées par un module de paramétrage qui adapte le jeu de paramètres en fonction du type d'exploitation et du système de culture simulés, ce dernier pouvant être conventionnel ou innovant. Ce module comporte des fonctions de prototypage qui permettent de reconstituer automatiquement un nouveau système de culture cohérent après intégration d'une ou plusieurs innovations dans les systèmes de culture conventionnels. Le modèle a été paramétré pour les six types d'exploitations et les seize systèmes innovants définis dans l'étape 1. Le modèle a été évalué en comparant pour six types d'exploitations des valeurs observées de production, de revenu et de charge de travail à des valeurs simulées avec le modèle. Cette évaluation s'est avérée globalement satisfaisante pour chacun des critères car le modèle arrive à discriminer correctement une large gamme de situations (**Figure 6**). Le paramétrage et l'évaluation du modèle ont été réalisés à partir de données issues d'expérimentations, de la typologie d'exploitation, d'un réseau de stations agro-météorologiques, d'experts, et de la bibliographie.

La structure informatique du modèle est modulaire, les sorties du modèle de système de culture étant stockées dans une base de données et sont ensuite utilisées en entrée dans le modèle micro-économique d'exploitation. Le modèle SIMBA fonctionne sous Stella <sup>®</sup>, le modèle micro-économique d'exploitation a été développé avec le langage de programmation Scilab <sup>®</sup> et les modules de paramétrage et de stockage des sorties des modèles ont été développés sous Excel et Visual Basic <sup>®</sup>.

#### Résultats obtenus :

Les résultats des simulations montrent que les impacts des systèmes innovants peuvent varier considérablement selon le type d'exploitation dans lequel ils s'insèrent. La **Figure 7** illustre les 4 types d'impacts que peut avoir l'adoption d'une innovation sur le rendement pour les six types d'exploitations. L'impact de l'innovation C1 (culture intercalaire avec *Canavalia ensiformis*) est positif sur le rendement pour les six types d'exploitations mais il décroît de manière hyperbolique avec le niveau du rendement actuel. L'innovation C3 (culture intercalaire avec *Impatiens sp*) a un impact constant nul sur le rendement quel que soit le type d'exploitation. L'innovation E2 (nouvelle variété FB920) a un impact négatif sur le rendement pour les six types et cet impact décroît de manière linéaire avec le niveau de rendement actuel. Enfin l'innovation B3 (rotation avec ananas) a un impact totalement indépendant du niveau de rendement actuel : elle peut accroître le rendement des types 5 et 6, diminuer celui des types 1 et 2 et être indifférente sur celui des types 3 et 4.

D'une manière générale les systèmes innovants amènent à une substitution des intrants chimiques par du travail. Dans le cas des cultures associées cette substitution se fait généralement au détriment du revenu des planteurs. Ceci peut s'expliquer par le surcoût dû au rallongement des temps de travaux qu'induit l'adoption de cette innovation, surcoût qui n'est pas compensé par les économies d'herbicides. Néanmoins, comme le montre le **Tableau 4**, la légumineuse *Canavalia ensiformis* peut permettre d'obtenir un meilleur revenu que le système conventionnel dans certaines situations (type 5) où elle entraîne un gain de rendement important. Dans d'autres situations elle entraîne une baisse du revenu, mais d'après les simulations ces niveaux de perte de l'ordre de 400 à 800€/ha seraient compatibles avec les niveaux de subventions autorisés dans le cadre de mesures agro-environnementales qui pourraient permettre une réduction de l'usage d'herbicides. Les prototypes impliquant l'adoption des nouvelles variétés et les systèmes intégrés sans aucun usage de pesticides sont moins productifs que les systèmes conventionnels mais peuvent conduire à de meilleurs revenus que ces derniers moyennant des augmentations du prix de vente de la banane sur le marché. Pour le type 1 qui représente les petites exploitations semi-intensives situées en zone mécanisable, l'adoption des rotations de culture semble être l'innovation la plus prometteuse tant sur le plan agronomique qu'économique. Cependant l'analyse de la dynamique des impacts induits par l'adoption progressive de cette innovation montre qu'elle entraînerait une baisse considérable du revenu au cours d'une période transitoire durant de 1,5 à 2,5 années après l'adoption (**Figure 8**). Ces résultats montrent que les innovations sont porteuses d'ambivalence puisque en fonction du critère d'évaluation retenu ou du pas de temps auquel on se place, l'innovation pourra avoir des impacts opposés.

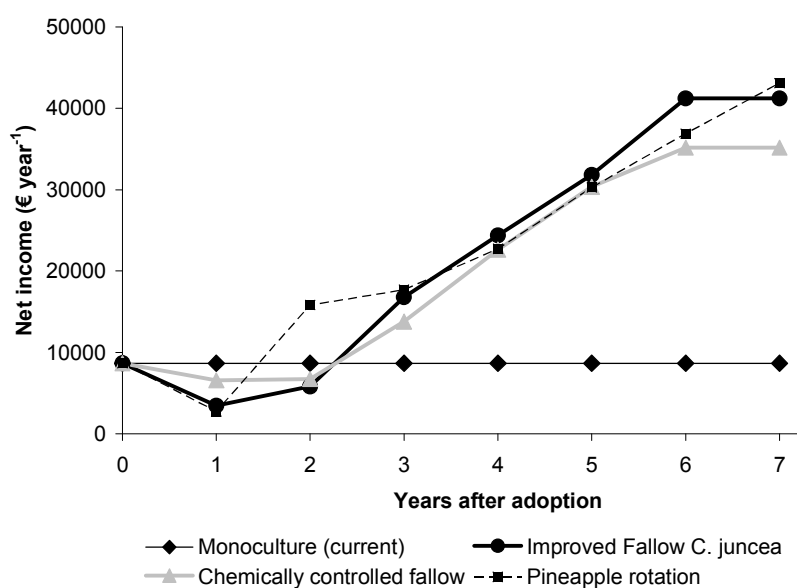


**Figure 7.** Comparaison des gains en rendement pour les systèmes innovants C1, C3, E2 et B3 avec les rendements des systèmes actuels pour les 6 types d'exploitation.

**Nota:** les régressions pour C1 et E2 sont en pointillées. C1:  $Y = 1.97 + 2850/X^2$ ;  $r^2 = 0.78$  et E2:  $Y = -0.3494x - 0.5827$ ;  $r^2 = 0.91$

Farm Type	Banana production (10 <sup>3</sup> kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Work load (d ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Net income (€ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Pesticides use (kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
Type 1	+5	+96	-412	-8
Type 3	+4	+42	-831	-7
Type 5	+16	+75	+3472	0

**Tableau 4.** Impacts absolus de l'adoption de *Canavalia ensiformis* cultivée en association avec la banane en référence aux systèmes de culture conventionnels.



**Figure 8.** Simulations de l'évolution du revenu agricole annuel du planteur consécutive au passage d'une monoculture à un système de rotation pour le type 1.



## **2.4. Etape 3 : Modélisation ex ante de l'adoption des systèmes de culture innovants**

### Objet et finalités de la recherche :

L'objectif de cette dernière étape du travail de thèse était de construire un modèle d'adoption de systèmes de culture innovants. Cette modélisation *ex ante* doit permettre d'une part d'avoir accès aux taux d'adoption probables des systèmes innovants et d'autre part d'identifier leurs conditions d'adoption, c'est-à-dire les facteurs influençant significativement la décision d'adoption, le signe de cette influence et son poids.

### Intérêt scientifique :

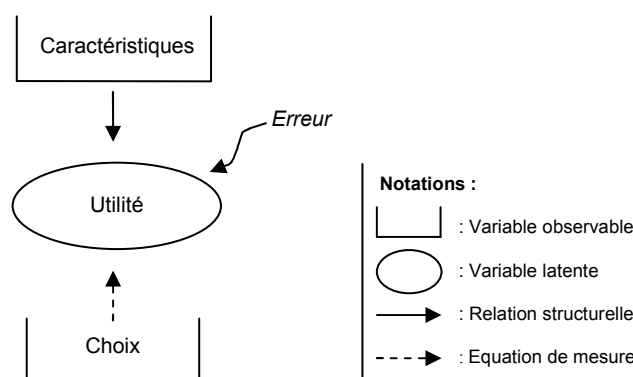
A la différence des modèles d'adoption construits par optimisation avec programmation linéaire, qui ne permettent pas de quantifier de manière endogène le poids des contraintes et objectifs dans la décision d'adoption (i.e. du point de vue de l'agriculteur), les modèles économétriques de choix discret permettent de contourner cette difficulté. Ils permettent en effet d'identifier de manière quantitative des profils de préférences pour l'innovation à partir des comportements d'adoption des planteurs. Très peu d'approches de modélisation économétrique *ex ante* de l'adoption ont été publiées (Breustedt et al., 2008 ; Batz et al., 2007). L'intérêt scientifique de l'approche économétrique que nous avons développée est multiple :

- La structure du modèle d'adoption est très générique car elle permet de modéliser conjointement l'adoption de plusieurs systèmes de culture innovants, de nature très différente, et permet de prendre en compte de nombreux facteurs d'adoption, sans privilégier certains types de déterminants.
- Les caractéristiques des innovations et politiques de soutien testées (appelées « attributs » en économétrie) ont été calibrés à partir de simulations avec un modèle bio-économique, permettant ainsi de décrire avec précision les impacts supposés des adoptions d'innovation.
- Le plan d'expérience utilisé permet de tenir compte de la diversité spatiale des exploitations puisque les attributs des innovations sont différenciés par type d'exploitation.

### Programme de travail et méthodes :

L'approche de modélisation repose sur l'analyse économétrique des préférences individuelles des agriculteurs confrontées à des épreuves de choix d'adoption de systèmes de cultures innovants. Cette approche vise à mesurer et analyser la variabilité existant dans les déterminants des choix, en essayant d'utiliser le maximum d'informations sur l'hétérogénéité de ces choix (Lecocq et Simioni, 2005). Pour cela nous nous basons sur un cadre conceptuel qui nous permet d'identifier les déterminants des choix individuels. Ce cadre est fourni par l'économie en supposant que les individus agissent de telle sorte que leur choix est celui qui leur procure la plus grande utilité parmi l'ensemble des alternatives auxquelles ils sont confrontés. La **Figure 9** illustre cette démarche et donne la structure de base des modélisations de choix discrets. Cette représentation montre que les caractéristiques (des innovations et des agriculteurs par exemple) sont reliées de manière structurelle à l'utilité (considérée comme une variable latente, car non observable directement) à travers une fonction, et que ce sont les choix observés qui permettent de mesurer les paramètres de cette fonction. Ces modèles comportent un terme d'erreur permettant de mesurer la part non expliquée des déterminants de choix.

Le modèle économétrique d'adoption des systèmes innovants a été estimé à partir d'une enquête réalisée auprès de 607 exploitations bananières de Guadeloupe et de Martinique. Le questionnaire d'enquête était composé de deux parties. La première partie visait à demander à l'agriculteur s'il accepterait d'adopter des systèmes de cultures innovants préalablement décrits par leurs caractéristiques techniques et leurs performances, dans le type d'exploitation auquel il appartient. Chaque « épreuve » d'adoption était présentée à l'agriculteur sous la forme d'un contrat agro-environnemental pour lequel il doit dire s'il serait prêt à l'adopter ou non. L'adoption du contrat implique l'adoption d'un nouveau système de culture avec réduction de l'usage de pesticides en l'échange de compensations financières. Chaque agriculteur a ainsi fait l'objet de cinq « épreuves » d'adoption portant sur cinq systèmes innovants qui correspondent aux cinq grands types d'innovations évaluées dans la méthode : jachère avec plante de couverture, nouvelle variété hybride, cultures associées, système intégré impliquant jachère et cultures associées, et un système de culture de banane « biologique ».



**Figure 9.** Structure générale des modèles économétriques de choix (d'après Lecoq et Simioni, 2005)

Innovation	Island	Adoption rate
I1: Intercropping banana with leguminous crops	Guadeloupe	76%
	Martinique	55%
	<b>Total</b>	<b>61%</b>
I2 : New hybrids	Guadeloupe	59%
	Martinique	51%
	<b>Total</b>	<b>53%</b>
I3 : Improved fallow	Guadeloupe	72%
	Martinique	65%
	<b>Total</b>	<b>67%</b>
I4: Intercropping and improved fallow	Guadeloupe	66%
	Martinique	56%
	<b>Total</b>	<b>59%</b>
I5 : Organic banana production	Guadeloupe	30%
	Martinique	43%
	<b>Total</b>	<b>39%</b>

**Tableau 5.** Taux d'adoption par île (Guadeloupe n=168, Martinique n=439).

Les valeurs de performances des systèmes innovants et les caractéristiques des politiques de soutien (montant des primes et durée du contrat) ont été calibrés à partir des résultats des simulations bioéconomiques réalisées dans l'étape 2. La deuxième partie du questionnaire visait à collecter un ensemble de variables de description de facteurs d'adoption potentiels, identifiés à partir d'une abondante bibliographie sur l'adoption de l'innovation en agriculture. Le modèle binaire Logit Conditionnel comportait cinq catégories de variables, i) les caractéristiques socio-démographiques des planteurs, leurs objectifs, leurs comportements d'anticipation et leurs attitudes personnelles face à l'innovation et au risque ; ii) les ressources et les contraintes de l'exploitation ; iii) l'environnement physique, social et institutionnel de l'exploitation, iv) les attributs techniques et économiques des systèmes de culture, v) les attributs des politiques de soutien. En s'appuyant sur le cadre conceptuel présenté ci-dessus et l'écriture de la fonction d'utilité, les paramètres du modèle ont été estimés à travers une procédure de maximisation de la vraisemblance à partir des données d'enquête. Le modèle binaire Logit conditionnel a été estimé avec le logiciel SAS 9.1.

#### Résultats obtenus :

Les taux d'adoption des innovations d'après l'enquête sont présentés dans le **Tableau 5**. Ces taux varient de 39% pour les systèmes « biologiques » sans pesticides à 67% pour les cultures de rotations. Les taux d'adoption sont généralement inférieurs en Martinique excepté pour le système de culture « biologique ». Le faible taux d'adoption de ce dernier dans les deux îles montre la nécessité d'étudier d'autres déterminants de l'adoption en dehors du revenu seul. Le modèle Logit Conditionnel a révélé un taux de prédiction correcte moyen de 70% avec une faible variabilité de ce taux selon les innovations (70% +/-3%).

L'analyse des paramètres du modèle et de leur significativité a révélé l'existence d'une grande diversité de facteurs d'adoption puisque des paramètres significatifs ont été trouvés dans les 5 catégories de facteurs (**Tableau 6**). Parmi les attributs des innovations, seul le niveau de réduction de l'usage des pesticides a un effet significatif. Le signe de cet effet montre que les planteurs sont généralement peu enclins à réduire l'usage de pesticides. En ce qui concerne les attributs des politiques de soutien, la durée du contrat et le prix de vente de la banane jouent négativement sur la décision d'adoption. En revanche les effets de ces facteurs peuvent être inversés lorsque ceux-ci sont combinés à des variables d'anticipations. Le niveau de réduction de pesticides apparaît ainsi réhibitoire pour certains planteurs alors qu'il influence positivement l'adoption pour les planteurs anticipant une interdiction des molécules. Le niveau de subventions joue positivement sur l'adoption, mais uniquement pour les planteurs qui anticipent une suppression des aides à la production. Ces résultats montrent l'importance des effets d'interaction entre anticipations des planteurs et les attributs des politiques et innovations. Certaines variables dont nous supposons un effet significatif se sont révélées avoir un effet non significatif (niveau d'étude, surface de l'exploitation). L'accès à l'information s'est révélé avoir un rôle particulièrement important sur la décision d'adoption (effet marginal de 12% sur le taux d'adoption pour les planteurs ayant accès à du conseil technique sur les pratiques innovantes), tout comme l'accès au crédit (effet marginal de 9% sur la probabilité d'adoption), et l'aversion au changement (effet marginal de -21%).

### **3. Bilan et conclusions**

#### **3.1. Résultats de recherche à caractère générique**

Les principaux résultats de recherche dégagés de l'application de la méthode aux cas des systèmes de culture bananiers des Antilles montrent que :

- i) les impacts des innovations sont fortement dépendants des conditions économiques et biophysiques des exploitations dans lesquelles elles s'insèrent,
- ii) l'adoption de l'innovation comprend une phase transitoire au cours de laquelle les performances des exploitations peuvent être affectées de manière critique, ce qui montre que la dynamique de ce processus doit être prise en compte,

Category	Parameter	Estimate	t-statistic
Innovations' attributes : nature and performances	INCOME	-6.386 E-6	-0.21
	PESTICIDE	0.0257**	2.63
	PRODUCTIVITY	-0.0116	-1.40
	WORK	0.1052	0.47
Policy and market attributes	BANANA'S PRICE	-0.1447**	-2.46
	DURATION	-0.3166***	-5.23
	SUBSIDY	1.22E-4	1.08
Interaction terms	BAN_PRICE*ANTICIP_FUT_ECO_MARK	0.1702***	4.27
	DUR*ANTICIP_PRICE	-0.0759***	-5.00
	SUBSIDY*ANTICIP_FUT_SUBS_DEC	1.11E-4*	1.70
	WORK*NONFLEXIBLE_MANPOWER	-0.2455	-1.26
	INCOME*GOOD_BAN_INCOME	4.31 E-5*	1.80
	PESTICIDE*ANTICIP_REGULATION	-0.0326***	-3.68
	PRODUCTIVITY*OBJ_TON_INCREASE	0.0114	1.58
	I1*MARTINIQUE	-0.9788	-4.74
	I2*MARTINIQUE	0.0054	0.03
	I3*MARTINIQUE	0.4966***	2.68
I4*MARTINIQUE	0.0237	0.14	
I5*MARTINIQUE	0.8017***	3.74	
Farmers socio-demographic characteristics and personal attitudes	AGE	-0.0068*	-1.66
	ATTITUDE_EARLY_ADOPTER	1.4912***	6.29
	ATTITUDE_FOLLOWER_ADOPTER	1.0289***	4.34
	ATTITUDE_LAGGARD_ADOPTER	0.9488***	3.83
	AVERSION_CHANGE	-0.8675***	-9.77
	HIGHER_EDUC	0.1105	0.93
	OBJ_DIVERSIFICATION	0.4711***	5.15
	OBJ_LAND_INCREASE	-0.3514***	-3.29
	OBJ_STABILIZATION	-0.0696	-0.74
	SEX	0.1339	1.01
Farm constraints and structure	CASHFLOW_LIMIT OftEN	0.2697**	2.39
	CASHFLOW_LIMIT PERMANENT	0.5883***	3.29
	CASHFLOW_LIMIT SELDOM	-0.1164	-0.95
	CREDIT_ACCESS	0.3762***	3.97
	DEBT	-0.3230***	-3.41
	DEPENDENCE_BANANA	0.9445***	4.51
	FAMILY_WORK	-0.1626	-1.24
	IRRIGATION	-0.4618***	-3.86
	LAND	-0.0034	-1.20
OFF_FARM_WORK	-0.1495	-0.93	
Geographical, institutional, social and economic context	SLOPE	-0.3436***	-3.00
	TEMPORARY_WORK	0.2984**	2.19
	INFORM_FARMER	-0.2500***	-2.78
	INFORM_RESEARCH	0.4771***	3.35
	INFORM_UNION	0.5048**	2.49

**Tableau 6.** Estimation du modèle d'adoption binaire Logit.

Nota. 607 observations, 5 innovations. Likelihood Ratio test statistic  $\chi^2(44) = 676.57$  (p-value=0.0000). Log likelihood = -1671.8403. Pseudo-R<sup>2</sup> = 0.1683. \*, \*\* et \*\*\* traduisent respectivement un niveau de significativité à 10, 5 et 1%.

- iii) un système très prometteur sur le plan agronomique, environnemental et économique peut avoir un faible taux d'adoption, ce qui montre que les conditions d'adoption des innovations sont cruciales à prendre en compte,
- iv) il existe un certain nombre de leviers d'action agronomiques et économiques sur lesquels on peut agir en amont du processus afin d'optimiser les chances d'adoption de systèmes plus durables.

Nos travaux confirment que les innovations et leur adoption sont potentiellement porteuses d'un certain nombre d'ambivalences, ce qui rend leur évaluation complexe, renforçant ainsi l'intérêt de conduire des recherches sur les méthodes d'évaluation *ex ante* de systèmes innovants. A ce titre notre apport a été à la fois méthodologique - en proposant une modalité de couplage d'outils très variés tels que typologie d'exploitation, savoirs experts, modèles biophysique, biotechnique, micro-économique et économétrique - mais aussi conceptuel, de par la manière de modéliser l'adoption d'une innovation tant du point de vue des impacts opérationnels qu'elle occasionnera que du processus décisionnel qui en sera à l'origine.

En matière d'articulation de modèles biophysiques et socio-économiques et de prise en compte de plusieurs échelles d'analyse, ces travaux s'inscrivent comme étant des travaux pionniers avec les travaux réalisées dans le cadre du projet européen SEAMLESS (van Ittersum et al., 2008). Bien que de par sa dimension méthodologique importante notre approche comporte un caractère générique fort, la recherche proposée est néanmoins finalisée car l'application de la méthode permet de définir un ensemble de recommandations à destination des agronomes concepteurs et des décideurs publics afin de maximiser les chances d'adoption de systèmes de culture innovants plus durables, en conformité avec les attentes de la société et des agriculteurs.

### **3.2. Valorisations des résultats du programme de recherche**

Les travaux conduits dans le cadre du projet de recherche ont été valorisés à travers :

- 5 publications dans des revues scientifiques internationales à fort niveau d'impact facteur,
- 2 communications orales dans des congrès internationaux de recherche,
- 1 thèse de doctorat,
- 1 mémoire de stage de master 1,
- 1 expertise pour le ministère de l'agriculture et de la pêche,
- 2 posters présentés dans des congrès internationaux de professionnels de l'agriculture et de l'alimentation de la Caraïbe.

La liste détaillée avec les références complètes de ces publications est présentée en pages 28 et 29 de ce document.

### **3.3. Recherches complémentaires**

La méthodologie proposée comporte plusieurs limites et pourrait être améliorée. Nous ne les discuterons pas en détail ici, mais citons les points d'amélioration suivants :

- i) évaluation plus poussée de la qualité prédictive du modèle biophysique et étude de sensibilité sous des scénarios climatiques extrêmes,
- ii) amélioration des modalités de représentation des décisions techniques, en collaborant avec les sciences de gestion et l'ergonomie cognitive,
- iii) impliquer plus les agriculteurs dans le processus de définition des innovations et de modélisation,

- iv) élargir la gamme d'attributs d'innovations qui sont testés dans le modèle, et v) aborder les processus ayant une inscription spatiale comme les interactions entre types d'exploitations au cours du processus de diffusion d'innovation.

Un certains nombres d'actions de recherche complémentaires doivent être entreprises désormais. En premier lieu il conviendrait d'exploiter la totalité des données collectées à partir de l'enquête portant sur 607 exploitations (80% de la population totale de planteurs), puisque seule une partie des données a pu être traitée dans le temps du projet. Une première modélisation pourrait porter sur la modélisation *ex post* de l'adoption des vitro-plants et des jachères, modélisation qui pourrait être spatialisée et dynamique puisque nous possédons des données d'adoption rétrospectives et géoréférencables. En abordant le phénomène de diffusion spatiale de l'innovation, cette modélisation permettrait de compléter l'étude des déterminants de l'adoption, en prenant mieux en compte les processus sociaux de diffusion de l'innovation. Une deuxième modélisation complémentaire pourrait porter sur des comportements d'adoption de cultures associées et de cultures de rotations, pour lesquelles nous avons réalisé des expériences de choix entre plusieurs types de plantes de services. Ce deuxième modèle pourrait être couplé au modèle d'adoption développé dans le cadre du projet à travers un modèle logit emboîté. Enfin parallèlement à ces travaux de modélisation économétrique, des tests ciblés d'innovations en situation réelle pourraient être réalisés chez les producteurs. Ces essais pourraient s'inspirer des protocoles « d'expérimentation système ». Cela permettrait d'une part de compléter le test de la validité des simulations réalisées avec le modèle SIMBA et de compléter le modèle BANAD, en particulier au niveau de la formalisation des règles de décision pour la gestion technique. Enfin ces essais *on farm* devraient également permettre de tester la validité des résultats issus du modèle d'adoption et de mieux intégrer les représentations des agriculteurs dans le processus de modélisation et d'évaluation de systèmes de culture innovants.

Ces travaux pourraient s'appuyer sur le réseau de partenaires locaux et métropolitains développés lors du projet (recherche : CIRAD Guadeloupe et Martinique, UMRs LERNA, SMART, Agronomie et SYSTEM en métropole ; groupements de planteurs : LPG, BANAMART, BANALLIANCE). Une analyse transversale de ces modèles et de ces expérimentations permettrait de mieux préciser les recommandations agronomiques et économiques pour favoriser l'adoption effective de systèmes de cultures bananiers plus durables.

### **3.4. Conclusions opérationnelles**

L'analyse transversale des résultats nous a permis de formuler un ensemble de recommandations à destinations des agronomes concepteurs et des décideurs publics en vue de maximiser les chances d'adoption des systèmes de culture innovants. Le **Tableau 7** récapitule par type d'innovation l'ensemble des propositions que nous formulons auprès des différents acteurs de la filière banane aux Antilles (planteurs, agronomes concepteurs, économistes des filières et de l'aide à la décision publique, groupements de planteurs, décideurs).

Concernant l'usage des nématicides la modélisation biophysique a révélé qu'une suppression de l'usage de ces produits n'affecterait quasiment pas les rendements, permettant ainsi d'économiser des produits coûteux et nocifs pour la santé de l'homme et les biocénoses des écosystèmes naturels et cultivés (diminution de la fertilité biologique des sols par diminution de la diversité de la macrofaune du sol, voir les travaux de Clermont Dauphin et al., 2004). En effet les types 1, 2 et 6 qui pratiquent la monoculture, utilisent trop peu de traitements nématicides pour que ceux-ci soient efficaces. Les types 3 et 4 qui pratiquent des rotations assainissantes continuent d'utiliser ces produits alors qu'ils ne semblent pas nécessaires. Cela pourrait être expliqué par plusieurs hypothèses : les produits actuels autorisés étant mixtes (nématicide et insecticide à la fois), leur usage correspond en fait à une volonté de contrôler uniquement les insectes, et il faudrait alors utiliser des produits insecticides seulement. Il pourrait aussi être intéressant d'étudier les déterminants de cet usage à travers une analyse sociologique ou de psychologie comportementale.

Objectifs	Planteurs	Agronomes concepteurs	Economistes des filières et de l'aide à la décision publique:	Groupements de planteurs	Décideurs (politiques de soutien)
<b>Arrêt des traitements nématicides</b>	➤ Nématicides inutiles (types 3 et 4) et inefficaces (types 1, 2, 6)	-----	➤ Etudier les déterminants de l'usage des nématicides du point de vue de la psychologie ou de la sociologie comportementale	-----	➤ Interdire tous nématicides?
<b>Cultures associées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Quelques recherches complémentaires requises mais <i>Canavalia ensiformis</i> très prometteuse pour types extensifs de montagne (5 et dans une moindre mesure 6)</li> <li>➤ Impatiens peu compétiteur en zone de montagne, il peut être laissé ou moins régulièrement désherbé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tester <i>Canavalia ensiformis on farm</i></li> <li>➤ Entretien manuel coûteux: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Les cultures associées doivent aussi rendre un service économique</li> <li>○ Trouver des couverts pérennes à faible développement végétatif (moindre encombrement), en particuliers pour la Martinique (présence serpent).</li> </ul> </li> <li>➤ Quel est l'impact des cultures associées sur les autres ravageurs de la banane (charançon, thrips, etc.)?</li> <li>➤ Etude de sensibilité aux saisons sèches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Comment organiser la production de semences ?</li> <li>➤ Quel conseil technique donner?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Comment organiser l'approvisionnement en semences et le conseil technique?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mettre en place des subventions compensatoires d'au moins 400€/ha/an pour types 1, 2, 4, et 5 et de 800€/ha/an pour types 3 et 4, pour <i>Canavalia ensiformis</i>.</li> <li>➤ Autres cultures associées nécessiteraient un soutien dépassant le plafond de 900€/ha/an</li> <li>➤ Nécessite recherches complémentaires</li> </ul>
<b>Rotations et jachères améliorées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Indispensables pour tous les types qui n'ont pas encore adopté mais doit être réalisé dans de bonnes conditions (mode de destruction parcelle, entretien et durée jachère)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Trouver une solution pour le travail du sol en zone non mécanisable (au niveau de la plante de couverture, ou petite mécanisation adaptée)</li> <li>➤ Trouver des plantes fortement némato-régulatrices pour réduire la durée de la rotation à quelques mois</li> <li>➤ Trouver des cultures de vente à cycle très court, qui pourrait être enchaînées, némato-régulatrices, et compatible avec la présence de chlordécone dans les sols, ou des cultures énergétiques ?</li> <li>➤ Crotalaires non adaptés à la Martinique (Serpent)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Parmi les cultures de rotations possibles, quels sont celles dont la filière est la suffisamment structurée et le marché ouvert et accessible aux producteurs Antillais (export ou marché local ?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Promouvoir l'adoption de la jachère et des vitro-plants par une politique de communication spécifique au près des planteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mettre en place des mesures de subventions à la conversion du type micro-crédits de 5000€ lors de la mise en jachère, remboursable en 3 ans, à partir de 2 ans après l'adoption.</li> <li>➤ Nécessite recherches complémentaires</li> </ul>
<b>Nouvelles variétés de banane</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Innovation prometteuse mais nécessite recherches complémentaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Si le prix de vente est le même que celui de la banane conventionnelle, il faudrait alors des variétés plus productives ou des bananiers moins hauts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluer <i>ex ante</i> les conditions de réussite et d'appropriation de cette innovation à l'échelle de la filière (transport, mûrisseur, GMS, consommateur)</li> <li>➤ Combien le consommateur européen est il prêt à payer pour une banane avec des caractéristiques différentes des Antilles (goût nouveau, pratiques durables, petit format de banane)?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dans l'état actuel cette banane doit être vendue au moins 0.78€/kg (types 1, 2, 5, 6) et 0.92€/kg (type 3 et 4) pour être plus rentable que la banane actuelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Innovation prometteuse mais nécessite recherches complémentaires</li> </ul>
<b>Systèmes à cycles intégrés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Innovation prometteuse mais nécessite recherches complémentaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Explorer des modalités d'innovation type culture de rotation pérenne, semis sous couvert végétal vivant, et plante de couverture devenant culture associée, si possible fixatrice (type trèfle ?)</li> </ul>	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Innovation prometteuse mais nécessite recherches complémentaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cf. culture associée + rotations et bonus environnemental supplémentaire?</li> </ul>
<b>Banane biologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Innovation prometteuse mais nécessite recherches complémentaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluer le modèle SIMBA sur ces systèmes très innovants par confrontation avec données expérimentales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Combien le consommateur européen est il prêt à payer pour une banane BIO des Antilles? (modèles économétriques hédoniques?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Quelles modalités de mise en place : intrants, label, conseil ?</li> <li>➤ Prix doit être &gt; 0.78€/kg (types 1, 2, 5, 6) et 1.13€/kg (type 3 et 4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Innovation prometteuse mais nécessite recherches complémentaires</li> </ul>

**Tableau 7.** Recommandations et questions pour les différents acteurs à l'issue du programme.

En ce qui concerne les cultures associées, seule *Canavalia ensiformis* s'est révélée rentable et pour seulement un type d'exploitation (type 5). Cela s'explique par le fait Il faudrait désormais tester cette innovation dans le contexte de ce type d'exploitation. Pour les autres types cette culture associée n'est pas rentable car le surcoût en travail engendré par l'entretien de la plante de couverture n'est pas compensé par le gain de rendement. Néanmoins il pourrait être pertinent de favoriser l'adoption de cette innovation et de la promouvoir en compensant les pertes dues à l'adoption. Celles-ci sont en effet compatibles avec les plafonds légaux de subventions dans le cadre de MAE (900€/ha/an), et l'adoption de cette innovation pourrait permettre de réduire les usages d'herbicides qui sont présents dans toutes les exploitations. Au-delà de ce constat, des recherches complémentaires doivent cependant être entreprises sur les plantes de services afin d'en optimiser la conduite et parfaire l'évaluation ex ante à plusieurs niveaux qui n'ont pas été abordés ici. Dans ce sens il faudrait peut être réaliser un nouveau criblage de plantes de services en intégrant les contraintes et préférences des agriculteurs. Ainsi le faible taux d'adoption de cette innovation en Martinique, qui pourrait être expliqué par la présence du dangereux serpent *Bothrops lanceolatu* sur cet île, pourrait amener à cibler des plantes ou des configurations spatiales de cultures intercalaires qui sécuriserait le passage de l'opérateur au champ. De la même manière il faudrait s'efforcer d'une manière générale de trouver des plantes de services rendant aussi un service économique car la substitution des herbicides (produits peu chers) par du travail (cher) n'est pas rentable toute chose étant égale par ailleurs. Par ailleurs il faudrait également évaluer quel serait l'impact des cultures associées sur la présence d'autres ravageurs comme le charançon, et les bioagresseurs qui pourraient amoindrir la qualité visuelle de la banane (thrips, araignée rouge, virus de la rouille argentée, etc.).

La pratique des rotations semble incontournable car elle permettrait d'augmenter considérablement les faibles rendements en banane de certaines exploitations. Cependant leur adoption peut être problématique pour les petites exploitations (types 1 et 6 surtout, et dans une moindre mesure types 2 et 5) car elle entraînerait une période transitoire de 2 à 4 ans où le revenu des planteurs baisserait considérablement, alors que ces planteurs n'ont pas accès au crédit et ont une trésorerie faible. Ces contraintes devraient néanmoins pouvoir être levées avec des mesures du type de celles présentées dans le tableau 1. Diverses recherches sur les rotations doivent encore être entreprises car très peu d'options ont été explorées : on pourrait par exemple imaginer des rotations entre banane et enchaînement de plusieurs cycles courts de cultures maraîchères qui peuvent être vendues sur le marché local. Cela pourrait par exemple être des solanacées (tomate, aubergine), dont les organes commercialisés sont indemnes de chlordécone (Jannoyer et Cabidoche, 2008), contrairement aux cucurbitacées qui pourraient concentrer de manière significative cette molécule dans des teneurs proches des limites réglementaires de 20µg/kg. Il faudrait néanmoins étudier leur effet sur les populations de nématodes afin de voir si elles seraient efficaces du point de vue de l'assainissement de la parcelle.

Les nouvelles variétés de banane souffrent d'une productivité moindre. Pour maintenir la rentabilité des exploitations, les bananes issues de ce nouveau cultivar doivent être vendues à un prix de vente plus élevé (0.92€/kg pour être rentable), et il faudrait étudier quel prix les consommateurs européens seraient prêts à payer pour cette banane aux caractéristiques très innovantes : goût nouveau, petit format, issue d'une production à très bas niveau de pesticides. Cela pourrait être fait avec des modèles économétriques hédoniques (Rosen, 1974 ; Langyintuo et al., 2005). Il faudrait également évaluer ex ante comment se comporterait cette innovation dans le circuit de commercialisation, depuis les bananeraies des Antilles jusqu'aux GMS de métropole.

En ce qui concerne la banane biologique, les résultats obtenus sont très prometteurs sur le plan agronomique et économique. Il faudrait cependant tester la validité de plusieurs paramètres de notre évaluation ex ante : évaluer à quel prix de vente cette banane pourrait effectivement être vendue, et tester en exploitation agricole la productivité de cette innovation, en comparaison du rendement simulé avec le modèle SIMBA. Ceci dit, la probabilité d'adoption de cette innovation est faible (35%). Cela peut être expliqué par l'absence de croyance en l'ouverture de marchés pour des bananes éco-labelisés, l'incertitude pesant sur la filière banane et ses politiques de soutien, les attitudes d'aversion au risque et à l'incertitude, qui sont toutes à mettre en relation avec d'une part le contexte de crise toujours prégnant et le caractère très innovant de ce système qui comporte pas moins de 4 innovations



individuelles majeures (pratique d'une jachère améliorée, culture associée, fertilisation organique, arrêt de tout pesticide).

D'une manière transversale, pour favoriser l'adoption de systèmes de cultures plus durables, plusieurs recommandations peuvent être faites :

- Favoriser l'adoption de rotations en levant des contraintes de trésorerie en favorisant l'accès au crédit pour les petites exploitations
- Proposer des mesures agri-environnementales pour compenser les pertes liées à l'adoption de systèmes avec cultures intercalaires
- Favoriser l'accès à des marchés de bananes éco-labellisées
- Accroître l'accès à l'information pour les plus petites exploitations
- Développer des contrats agri-environnementaux de faibles durées (2 à 5 ans)

En prenant en compte les points de recherches complémentaires et les recommandations présentées ci-avant notre étude révèle qu'il est possible de favoriser l'émergence de systèmes de cultures bananiers plus performants et plus durables, en conformité avec les attentes des planteurs et de la société dans son ensemble.



## Références bibliographiques

- Abadi Ghadim, A.K., Pannell, D.J., 1999. A conceptual framework of adoption of an agricultural innovation. *Agricultural Economics* 21, 145-154.
- Adesina, A. A. and Chianu, J., 2002. Determinants of farmers' adoption and adaptation of alley farming technology in Nigeria. *Agroforestry Systems* 55, 99-112.
- Antle, J.M., Stoorvogel, J.J., 2006. Incorporating systems dynamics and spatial heterogeneity in integrated assessment of agricultural production systems. *Environment and Development Economics* 11, pp 39-58.
- Batz, F.J., Janssen, W., Peters, K.J., 2007. Predicting technology adoption to improve research priority—setting. *Agricultural Economics* 28, 151-164.
- Bocquene, G. and A. Franco, 2005. Pesticide contamination of the coastline of Martinique. *Marine Pollution Bulletin* 51, 612-619.
- Bonan, H. and J.L. Prime, 2001. Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.
- Bonin, M. and P. Cattan, 2006. Convergences and differences between the objectives of the financial support facilities and those of the farmers: the case of fallow periods in banana production of Guadeloupe. *Fruits* 61, 9–23.
- Breustedt, G., Muller-Scheeßel, J., Latacz-Lohmann, U., 2008. Forecasting the Adoption of GM Oilseed Rape: Evidence from a Discrete Choice Experiment in Germany. *Journal of Agricultural Economics* 59, 237–256.
- Cabidoche, Y.-M., Achard, R., Cattan, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., Sansoulet, J., 2009. Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*, In Press, Corrected Proof.
- Castellazzi M.S., Woodb, G.A., Burgess, P.J., Morris, J., Conrad, K.F., Perry, J.N., 2008. A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems* 97, 26–33
- Clermont-Dauphin, C., Cabidoche, Y.M., Meynard, J.M., 2004. Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies. *Soil Use and Management*, 20, 105-113.
- DAF, 2003. Arrêté préfectoral n°2003-1496bis/PREF/SGAR.
- DAF, 2005. Arrêté préfectoral n°2005-91/PREF/DAF.
- Dulcire M., Cattan P., 2002. Monoculture d'exportation et développement agricole durable : cas de la banane en Guadeloupe. *Cahiers Agricultures* 11, 313-321.
- Dogliotti, S., Rossing, W.A.H., Van Ittersum, M.K., 2004. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: A case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems* 80, 277-302.
- Feder, G. And D.L. Umali, 1993. The adoption of agricultural innovations, A Review. *Technological Forecasting and Social Change* 43, 215-239.
- Grenelle, 2008. Projet de loi. Available at :  
[http://www.legrenelle-environnement.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/loi\\_grenelle\\_1\\_assemblee.pdf](http://www.legrenelle-environnement.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/loi_grenelle_1_assemblee.pdf)

- Griliches, Z., 1957. Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica* 25, 501-522.
- Guillou, M., Debré, P., 2008. Nourrir 9 milliards de personnes en 2050 : quelle contribution de la recherche agronomique ? In : *INRA-Magazine*, n°5, juin 2008, p. 3-4.
- Hatfield, J.L, Donatelli, M., Rizzoli, A.E., 2007. Foreword. On: Farming Systems Design 2007, Int. Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems, M. Donatelli, J. Hatfield, A. Rizzoli Eds., Catania (Italy), 10-12, September 2007, book 1 - Farm-regional scale design and improvement, pag. I-II.
- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), 2007. Tableaux Économiques Régionaux Guadeloupe. Available at : [http://www.insee.fr/fr/regions/guadeloupe/default.asp?page=publications/ter/TER\\_ga.htm](http://www.insee.fr/fr/regions/guadeloupe/default.asp?page=publications/ter/TER_ga.htm)
- Lançon, J., Wery, J., Rapidel, B., Angokaye, M., Gérardaux, E., Gaborel, C., Ballo, D., Fadegnon, B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 101-110.
- Landais, E., 1998. Modelling farm diversity. New approaches in typology building in France. *Agricultural Systems* 58, 505-527.
- Lecocq S. et Simioni, M., 2005. Comportement du consommateur et caractéristiques des biens: recherches actuelles et enjeux futurs. Journée du département SAE<sup>2</sup> : « La consommation alimentaire : de l'emprise des goûts à l'appréhension des risques ». Paris – 18 octobre 2005.
- Loyce, C., Rellier, J.P., Meynard, J.M., 2002. Management planning for winter wheat with multiple objectives (2): Ethanol-wheat production. *Agricultural Systems* 72, 33-57.
- Loyce, C. And Wery, J., 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception des systèmes de culture. In : *L'agronomie aujourd'hui*. Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J., 2006. Editions Quae, 77-98.
- Marra, M., Pannell, D.J., Abadi Ghadim, A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75, 215-234.
- Meynard, J.M., Aggeri, F., Coulon, J.B., Habib, R., Tillon, J.P., 2006. Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. Rapport du groupe de travail. INRA, 71p.
- Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Available at : <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.447.aspx.pdf>
- Rapidel, B., Defèche, C., Traoré, B.S., Lançon, J., Wery, J., 2006. In-field development of a conceptual crop functioning and management model: A case study on cotton in southern Mali. *European journal of agronomy* 24, 304-315.
- Sterk, B., van Ittersum, M.K., Leeuwis, C. and Wijnands, F.G., 2007. Prototyping and farm system modelling-Partners on the road towards more sustainable farm systems? *European Journal of Agronomy* 26, 401-409.
- Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M. and Wery, J., 2008. SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems* 97, 139-150.
- van Ittersum, M. K., F. Ewert, Heckelei, T., Wery, J., Olsson, J.A., Andersen, E., Bezlepkina, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G., Olsson, L., Rizzoli, A.E., van der Wal k, T., Wien, J.E., Wolf, J, 2008. Integrated assessment of agricultural systems A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agricultural Systems* 96, 150-165.

## Liste des publications produites dans le cadre du projet

### Articles publiés dans des revues scientifiques internationales :

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**, *in press*, doi:10.1016/j.agsy.2009.02.004.

Blazy, J-M., Dorel, M., Salmon, F., Ozier-Lafontaine, H., Wery, J., Tixier, P., 2009. Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. **European Journal of Agronomy**, *in press*, doi:10.1016/j.eja.2009.02.001.

de Barros, I., Blazy, J.M., Rodrigues, G.S., Tournebize, R., Cinna, J.P., 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). **Agriculture, Ecosystems and Environment** **129**, 437-449.

### Articles soumis et en cours d'évaluation dans des revues scientifiques internationales :

Blazy, J-M., Thomas, A., Carpentier, A., 2009. An ex ante adoption model of low inputs innovations applied to banana production in the French West Indies. **European Review of Agricultural Economics**, *submitted and under review*.

Blazy, J-M., Tixier, P., Ozier-Lafontaine, H., Salmon, F., Thomas, A., Wery, J., 2009. BANAD: a dynamic bio-economic farm model for ex ante assessment of the impacts of innovation adoption. Application to banana cropping systems in Guadeloupe. **Agricultural systems**, *submitted and under review*.

### Communications orales dans des congrès internationaux :

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: **8<sup>th</sup> european IFSA Symposium 2008**, Dedieu, B., Zasser-Bedoya, S. Eds, Clermont-Ferrand (France), July 6-9, 2008, Proceedings, 457-468 (*long paper*).

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*).

### Thèse de doctorat :

Blazy, J-M., 2008. Evaluation ex ante de systèmes de culture innovants par modélisation agronomique et économique : de la conception à l'adoption. Cas des systèmes de culture bananiers de Guadeloupe. Thèse de doctorat, Supagro Montpellier. 192 pages.

### Stage de Master :

Peregrine D., 2007. Mobilisation des outils du diagnostic agraire dans une démarche d'évaluation ex ante d'innovations techniques. Mémoire de stage ESAT1 : Sup'Agro Montpellier. 106p.

### Expertise

Blazy, J-M., Diman, J-L., Causeret, F., 2008. Premiers éléments d'expertise sur la filière bananière Antillaise et ses perspectives d'évolution. **Rapport d'expertise** remis au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche dans le cadre de l'élaboration du Plan Banane Durable. Septembre 2008.

### Documents à vocation de transfert ou de vulgarisation :

Blazy, J-M., Diman, J-L., Causeret, F., Peregrine, D., 2008. Banana sector in the French West Indies in the 21<sup>st</sup> century : Typology of farmer's rooms for manoeuvre to adapt their cropping systems to crisis. Poster présenté à la **44<sup>th</sup> Annual meeting of the Caribbean Food Crop Society**, July 13-17, 2008, Miami.

Blazy, J-M., de Barros, I., Rodrigues, G.S., Ozier-Lafontaine, H., 2008. Environmental damages versus economic performance, sustainability of guadeloupean banana cropping systems in question : an emergetic approach. Poster présenté à la **44<sup>th</sup> Annual meeting of the Caribbean Food Crop Society**, July 13-17, 2008, Miami.

