



# Evaluation multicritère de la durabilité de systèmes de culture bananiers innovants en Guadeloupe : Adaptation et utilisation de l'outil MASC

Jérôme Tirolien, Jean-Marc Blazy

## ► To cite this version:

Jérôme Tirolien, Jean-Marc Blazy. Evaluation multicritère de la durabilité de systèmes de culture bananiers innovants en Guadeloupe : Adaptation et utilisation de l'outil MASC. 48. Colloque annuel de l'ASRDLF (Association de Science Régionale de Langue Française) : Migrations et Territoires, Université des Antilles et de la Guyane (UAG). Centre d'Etude et de Recherche en Economie, Gestion, Modélisation et Informatique Appliquée - Faculté de droit et d'économie, Schoelcher, FRA.; Université des Antilles et de la Guyane (UAG). Schoelcher, FRA.; Association de Science Régionale de Langue Française (ASRDLF). Paris, FRA., Aug 2011, Schoelcher, France. 15 p. hal-02811482

**HAL Id: hal-02811482**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02811482>**

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.



Association  
de Science Régionale  
de Langue Française

48<sup>ème</sup>  
colloque

**ASRDLF 2011**  
6, 7 et 8 Juillet, Schoelcher - Martinique

## Migrations et Territoires



<http://asrdlf2011.com/>

# EVALUATION MULTICRITERE DE LA DURABILITE DE SYSTEMES DE CULTURE BANANIERES INNOVANTS EN GUADELOUPE : ADAPTATION ET UTILISATION DE L'OUTIL MASC

**Jérôme Tirolien et Jean-Marc Blazy**

INRA, UR1321, ASTRO Agrosystèmes tropicaux, F-97170, Petit-Bourg, Guadeloupe, F.W.I.

Jean-Marc.Blazy@antilles.inra.fr, + 590 590 25 59 10

## Résumé

Face à la multiplication des pressions économiques, sociales et environnementales s'exerçant sur la production de banane aux Antilles françaises, la durabilité des exploitations bananières est remise en cause. Pour améliorer cette situation, les organisations de producteurs ont développé en partenariat avec les organismes de recherche agronomique (CIRAD et INRA) un programme de conception de systèmes de culture innovants. Ces systèmes sont basés sur des techniques de culture agro-écologiques visant à mobiliser des régulations biologiques en remplacement d'une gestion principalement chimique de la fertilité et des ravageurs. En première approche, une vingtaine de prototypes de systèmes innovants ont été définis (Blazy *et al.*, 2009). La diversité des exploitations bananières a également été caractérisée et 6 types d'exploitations ont pu être diagnostiqués. Afin d'évaluer a priori et rapidement quels systèmes innovants s'avèreraient les plus pertinents pour chaque type d'exploitation, nous avons conduit une analyse ex ante des gains de durabilité permis par l'adoption des différents prototypes dans les 6 types d'exploitations. Cette évaluation a été réalisée à l'aide de l'outil d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture MASC Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems (Sadok *et al.*, 2009).

MASC est un modèle d'évaluation qualitatif qui permet d'évaluer la durabilité d'un système de culture dans le contexte d'une exploitation agricole. Cet outil fait partie des outils d'aide à la décision multi-attributs. Il comprend une batterie d'une trentaine d'indicateurs d'évaluation systémique regroupés et organisés sous la forme d'un arbre de décision hiérarchique. Cet arbre permet de décomposer le concept de durabilité d'un système de culture en des composantes sociales, économiques et environnementales. A chaque nœud de l'arbre hiérarchique des valeurs de pondération permettent de donner des poids aux différents critères basiques qui contribuent à la valeur du critère agrégé. Nous avons tout d'abord adapté l'outil MASC au contexte particulier de la culture de la banane en Guadeloupe. Cette adaptation c'est faite au niveau de la structure de l'arbre hiérarchique conceptualisant la durabilité, puis au niveau des fonctions d'agréations des critères d'évaluation (pondérations). Enfin, le mode de calcul des critères et de la définition des seuils de classes qualitatives ont également été adaptés au contexte local. Pour conduire l'évaluation nous avons utilisé deux jeux de pondérations : i) un jeu « expert » issu de la bibliographie et de consultations d'experts et ii) un jeu « acteurs de la filière » obtenu par la méthode « point allocation » qui a été mise en œuvre à travers des entretiens individuels avec différents acteurs de la filière. Les données nécessaires à la description des systèmes de culture en entrée du modèle MASC sont



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>)

issues de simulations réalisées avec le modèle mécanistique BANAD et de consultations d'expert (Blazy *et al.*, 2010).

La durabilité de 18 prototypes a ainsi été évaluée en tenant compte de 6 contextes de types d'exploitations. Parmi les 108 couples "prototype\*type d'exploitation" évalués, avec les pondérations « expert », 51 obtiennent une durabilité globale faible, 54 une durabilité globale moyenne et 3 une durabilité globale élevée. Un prototype obtient une durabilité globale élevée chez un type d'exploitation et une durabilité globale faible chez un autre type d'exploitation. Deux prototypes semblent prometteurs en ayant une durabilité globale au moins moyenne chez l'ensemble des types d'exploitation. Avec les pondérations « acteurs de la filière », 26 couples "prototype\*type d'exploitation" obtiennent une durabilité globale très faible, 31 obtiennent une durabilité globale faible, 43 une durabilité globale moyenne et 8 une durabilité globale élevée. Par contre un seul prototype permet d'obtenir une note de durabilité globale au moins moyenne chez l'ensemble des types d'exploitation.

Nos résultats montrent qu'il est important de considérer la diversité des exploitations dans l'évaluation car les innovations n'ont généralement pas les mêmes impacts dans chacun des types d'exploitation. Les prototypes de systèmes de culture innovants identifiés comme les plus prometteurs sont désormais à tester in situ dans différents types d'exploitations pour évaluer leur cohérence fonctionnelle et agronomique en conditions réelles. Aussi, il est important d'avoir une transparence sur les adaptations faites car nos travaux montrent que selon l'origine des jeux de pondérations utilisés (consultation d'experts ou d'acteurs de la filière), les niveaux de durabilité obtenus peuvent différer. L'outil MASC s'est révélé approprié à ce genre d'évaluation de par sa structure qui est suffisamment souple pour être adaptée à des contextes particuliers. Il permet de discriminer de manière assez satisfaisante une large gamme de systèmes de culture innovants.

## Mots-clés

**Banane, durabilité, évaluation, Guadeloupe, évaluation ex ante, évaluation multicritère, système de culture bananier, système de culture innovant.**

## Introduction

La production de banane en Guadeloupe s'est développée selon une logique de monoculture intensive à haut niveau d'intrants (Dulcire and Cattani, 2002). Si cette production constitue un pilier de l'économie de l'île, depuis quelques années, elle traverse une crise économique et environnementale. Face à cette situation de crise, une des solutions proposées consiste à proposer des systèmes de culture innovants plus durables. L'unité de recherche AgroSystèmes Tropicaux de l'INRA Antilles-Guyane a donc développé, en partenariat avec le CIRAD et les organisations de producteurs, un programme de conception de systèmes de culture de bananiers innovants. Ce programme vise à développer et promouvoir des systèmes de culture performants économiquement et utilisant moins d'intrants (en particulier les pesticides). Ainsi, un panel d'experts a permis d'élaborer 18 systèmes de culture agro-écologiques (Blazy *et al.*, 2009). Cependant, comment être certain que ces prototypes de systèmes de culture vont être plus durables que les systèmes actuels? Tester 18 systèmes de culture au champ dans différents contextes d'exploitation représente un coût élevé. L'évaluation *ex ante* est une étape importante dans un programme qui permet de rapidement identifier les meilleurs systèmes de culture (les plus durables). Nous avons donc besoin de méthodes et d'outils capables d'évaluer la durabilité des systèmes de culture. Par son caractère multidimensionnel (économique, social et environnemental) et multidisciplinaire, l'évaluation de la durabilité nécessite donc une approche holistique (Ikerd, 1993; Andreoli *et al.*, 1999; Andreoli and Tellarini, 2000; Espinosa *et al.*, 2008). De nombreuses méthodes et outils ont été développés ces dernières années pour évaluer la durabilité des systèmes agricoles (Sadok *et al.*, 2008 ; Bockstaller *et al.*, 2009) mais le plus souvent, ces méthodes se focalisent sur la dimension environnementale et/ou la dimension économique de la durabilité (von Wirén-Lehr, 2001 in Meul *et al.*, 2008). Parmi les méthodes disponibles, nous avons choisi la outil MASC (Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems) (Sadok *et al.*, 2009) pour évaluer nos 18 prototypes de système de culture.

Nous présentons ici comment nous avons utilisé et adapté la outil MASC à la culture de la banane en Guadeloupe pour évaluer 18 prototypes de systèmes de culture et choisir les systèmes les plus durables en tenant compte de la diversité des exploitations bananières existante.

## Matériels et méthodes

### 1.1. Les systèmes de culture innovants

Les 18 prototypes de systèmes de culture évalués ont été mis au point avec deux objectifs principaux :

- réduction de l'utilisation des pesticides
- recours à des procédés naturels pour le contrôle des ravageurs et/ou de la nutrition minérale.

Le premier objectif répond à la demande sociétale et vise principalement à protéger les ressources en eau de la pollution par les pesticides. Le second doit permettre la réduction des intrants chimiques et donc celles des charges, tout en maintenant ou en améliorant le rendement en bananes.

Le tableau 1 présente synthétiquement les différentes innovations.

Les prototypes 1, 2 et 3 consistent en l'arrêt de l'utilisation de pesticides (nématicides et herbicides). Ils peuvent être considérés comme des prototypes basés sur une régulation sociétale extrême en comparaison avec les pratiques actuelles.

Les prototypes 4, 5 et 6 introduisent des rotations dans le système de culture. Ces rotations culturales visent à réguler la population de nématodes et donc à réduire l'utilisation de nématicides.

Les prototypes 10, 11 et 12 sont basés sur l'utilisation de plantes cultivées en association avec les bananiers. Ces prototypes visent à réduire l'utilisation d'herbicides et aussi améliorer la nutrition azotée, le *Canavalia ensiformis* étant une légumineuse.

Les prototypes 13, 14 et 15 consistent au pilotage des pratiques phytosanitaires et de fertilisation par le biais d'indicateurs de population de nématodes, de couverture du sol par les adventices et de nutrition minérale des bananiers. L'application des produits phytosanitaires et des engrais n'est faite que si l'indicateur atteint une valeur seuil.

Les prototypes 16 et 17 consistent simplement à la culture de nouvelles variétés résistantes aux maladies et tolérantes aux attaques des nématodes (Quénéhervé *et al.*, 2009). L'utilisation de produits phytosanitaires serait donc réduite.

Les prototypes 7 et 8 sont en fait une combinaison de prototypes cités précédemment dans le but de réguler la population de nématodes de la parcelle et de réduire l'utilisation d'herbicides.

Les prototypes 9 et 18 représentent aussi une combinaison de prototypes précédents mais avec une conduite en agriculture biologique.

Tous les paramètres biophysiques, techniques et économiques pour décrire ces innovations ont été estimés à partir de connaissances d'experts et d'expériences (Ternisien, 1989; Ternisien and Melin, 1989; Mateille *et al.*, 1994, Chabrier and Queneherve, 2003; Clermont-Dauphin *et al.*, 2004; Queneherve *et al.*, 2006; Motisi *et al.*, 2007; Thammaiah *et al.*, 2007; Tixier *et al.*, 2008b).

### 1.1. Typologie des exploitations bananières

Chaque prototype a été évalué par simulation pour 6 types d'exploitation différents. Cette typologie est basée sur des données collectées sur un échantillon représentatif de la population des planteurs de bananes de Guadeloupe (Blazy *et al.*, 2008). Le tableau 2 présente les principales caractéristiques des différents types d'exploitation.

Les types 1 et 2 représentent de petites exploitations avec de la main d'œuvre majoritairement familiale. La bananeraie est conduite en monoculture et elle est replantée tous les 5 ans.

Les types 3 et 4 représentent de grandes exploitations où la bananeraie est en rotation tous les 5 ans avec une jachère ou de la canne à sucre.

Les types 5 et 6 sont de petites exploitations où la bananeraie est conduite de façon pérenne.

| Type d'innovation                                | N° | Description                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Suspension de l'utilisation de pesticides</b> | 1  | Arrêt des traitements nématicides                                                                                                                |
|                                                  | 2  | Arrêt des traitements herbicides (passage à du désherbage manuel ou mécanique)                                                                   |
|                                                  | 3  | Arrêt des traitements nématicides et herbicides (passage à du désherbage manuel ou mécanique)                                                    |
| <b>Adoption de rotation</b>                      | 4  | Introduction <i>Crotalaria juncea</i> (8 mois)                                                                                                   |
|                                                  | 5  | Introduction jachère spontanée contrôlée chimiquement (12 mois)                                                                                  |
|                                                  | 6  | Introduction Ananas (24 mois)                                                                                                                    |
| <b>Adoption de systèmes intégrés</b>             | 7  | Système intégré 1 (plaine) : rotation avec <i>Brachiaria decumbens</i> (12 mois) + SCVV + culture associée <i>B. decumbens</i>                   |
|                                                  | 8  | Système intégré 2 (montagne) : rotation avec jachère contrôlée chimiquement (12 mois) + culture associée <i>Impatiens</i> sp.                    |
|                                                  | 9  | Système biologique : rotation avec <i>C. juncea</i> + culture associée <i>Canavalia ensiformis</i> + apport fertilisation organique              |
| <b>Adoption de cultures associées</b>            | 10 | Culture associée <i>C. ensiformis</i>                                                                                                            |
|                                                  | 11 | Culture associée <i>B. decumbens</i>                                                                                                             |
|                                                  | 12 | Culture associée <i>Impatiens</i> sp.                                                                                                            |
| <b>Raisonnement des apports</b>                  | 13 | Traitement nématicides fonction d'un monitoring de nématodes                                                                                     |
|                                                  | 14 | Traitement herbicide fonction d'un seuil de couverture du sol en adventices                                                                      |
|                                                  | 15 | Apports de fertilisants chimiques en fonction des besoins                                                                                        |
| <b>Adoption de nouvelles variétés</b>            | 16 | Variété 91X                                                                                                                                      |
|                                                  | 17 | Variété 91Y                                                                                                                                      |
|                                                  | 18 | Variété 91Y en système biologique rotation avec <i>C. juncea</i> + culture associée <i>Canavalia ensiformis</i> + apport fertilisation organique |

Tableau 1. Description des prototypes.

### 1.1. Les modèles

Le modèle de culture SIMBA (Tixier, 2004) a été utilisé pour évaluer le comportement de la culture de la banane selon les différentes innovations en prenant en compte la typologie des systèmes de culture. Un modèle de culture vise à estimer des grandeurs agronomiques ou physiologiques, parfois les impacts environnementaux et les performances économiques du système. SIMBA est un modèle qui simule les systèmes de culture à base de bananier (Tixier, *et al.*, 2008a). Il a donc été choisi pour cette raison mais aussi parce qu'il permet de prendre en compte un large panel d'opérations culturales (scénarios de rotations et de cultures associées). SIMBA simule les performances agronomiques des bananiers (rendement, population des bananiers) mais aussi l'impact sur l'environnement (azote lessivé, structure du sol, note qualitative de pollution des eaux...), et la population de nématodes dans le sol. Enfin, SIMBA simule les systèmes de culture de bananiers à l'échelle de la parcelle sur plusieurs cycles à un pas de temps hebdomadaire.

Le modèle BANAD (Blazy *et al.*, 2010), est un modèle bioéconomique qui a permis de simuler l'impact des innovations sur la production, les performances économiques, la charge de travail et l'utilisation des pesticides en tenant compte de la diversité des systèmes de culture. BANAD utilise les données biophysiques en sortie du modèle SIMBA et comme ce dernier, il s'exécute sur plusieurs cycles au pas de temps hebdomadaire mais à l'échelle de l'exploitation.

| Type de système de culture               | Type 1                              | Type 2            | Type 3                                 | Type 4   | Type 5             | Type 6  |
|------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|----------|--------------------|---------|
| Conduite de la bananeraie                | Bananeraie replantée tous les 5 ans |                   |                                        |          | Bananeraie pérenne |         |
|                                          | Monoculture                         |                   | Rotation avec canne à sucre ou jachère |          | Monoculture        |         |
| Surface du système (ha)                  | 4,2                                 | 8                 | 82                                     | 28       | 8                  | 5       |
| Altitude moyenne (m)                     | 80                                  | 115               | 123                                    | 250      | 550                | 380     |
| Pente moyenne                            | 10%                                 | 0%                | 10%                                    | 10%      | 20%                | 30%     |
| Type de sol                              | Sols bruns                          | Sol ferrallitique | Sols bruns                             | Andosol  | Andosol            | Andosol |
| Surface irrigable                        | 0%                                  | 0%                | 100%                                   | 0%       | 0%                 | 0%      |
| Surface mécanisable                      | 100%                                | 100%              | 100%                                   | 75%      | 0%                 | 0%      |
| Type de destruction de la bananeraie     | Mécanique                           | Mécanique         | Mécanique                              | Chimique | -                  | -       |
| Type de travail du sol                   | Mécanisé                            | Mécanisé          | Mécanisé                               | Mécanisé | Manuel             | Manuel  |
| Nombre de traitements herbicides par an  | 4,8                                 | 6                 | 5                                      | 6        | 0                  | 4       |
| Nombre de traitements nématicides par an | 1                                   | 1,5               | 2,5                                    | 1        | 0                  | 1       |
| Rendement moyen (t/ha/an)                | 21,4                                | 22,5              | 45,2                                   | 38,5     | 17,3               | 18,6    |
| Pourcentage de main d'œuvre familiale    | 74%                                 | 42%               | 2%                                     | 9%       | 37%                | 70%     |

Tableau 2. Principales caractéristiques des différents types d'exploitation

### 1.2. La méthode d'évaluation

L'outil MASC (Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems) (Sadok *et al.*, 2009) a été choisie en adéquation avec notre objectif et l'échelle d'étude : elle permet d'évaluer *ex ante* la durabilité à l'échelle du système de culture. Cette échelle est peu ou pas traitée par les autres méthodes. Les dimensions économiques, environnementales et sociales de la durabilité sont prises en compte. La dimension sociale n'est généralement pas traitée ou faiblement par la plupart des méthodes existantes. Elle présente également une forte adaptabilité par sa structure et son support informatique. Enfin, nous disposons de la majorité des données requises pour son implémentation.

L'objectif de MASC est d'évaluer *a priori* des systèmes de culture conformes à un cahier des charges. L'outil DEXi (Jereb *et al.*, 2003 in Bohanec *et al.*, 2004), fondé sur l'approche MCDA (Multi Criteria Decision Aid), a été utilisé pour mettre en œuvre MASC.

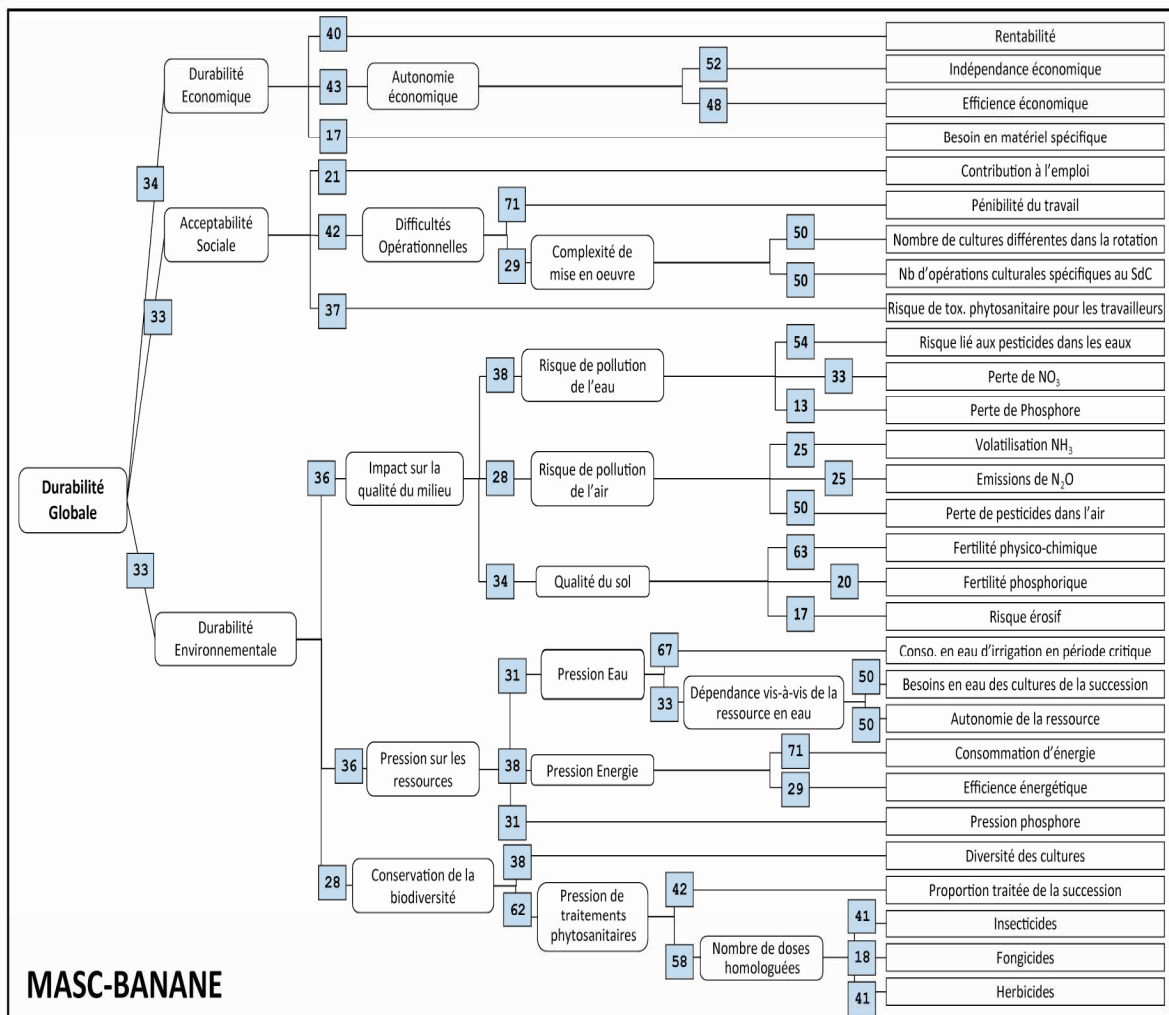
Dans l'outil MASC, la durabilité est conceptualisée sous la forme d'un arbre hiérarchique. Les critères d'évaluation sont estimés pour chaque année de la rotation culturale, soit quantitativement par des modèles ou des calculs simples, soit qualitativement par la littérature, l'avis d'experts ou par la méthode INDIGO (Bockstaller et Girardin, 2007). Les valeurs sont ensuite définies sur une échelle linguistique (qualitative, exemple : *Faible/Moyen/Elevé*). C'est à l'utilisateur de définir les valeurs de référence selon son propre jugement, l'avis d'experts, la littérature et le contexte de l'évaluation. L'agrégation des critères se fait à l'aide de règles de décision du type « *Si... Alors...* ». Exemple : si la qualité physique est *stable* et si la qualité chimique est *favorable*, la qualité globale du sol évolue dans un sens *favorable*. Ce type d'agrégation permet d'attribuer une relative importance aux critères représentés par une valeur en pourcentage. Finalement, l'outil MASC renvoie une note qualitative de durabilité globale représentant l'agrégation de l'ensemble des critères d'évaluation.

## ADAPTATIONS DE MASC

Structure hiérarchique de l'arbre de décision  
Definition des pondérations

Transformation en classes qualitatives

Mode de calcul des critères d'évaluation



Transformation  
en  
valeurs qualitatives  
(ex : faible, moyen, élevé)

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
| Rentabilité                                         |
| Indépendance économique                             |
| Efficacité économique                               |
| Besoin en matériel spécifique                       |
| Contribution à l'emploi                             |
| Pénibilité du travail                               |
| Nombre de cultures différentes dans la rotation     |
| Nb d'opérations culturales spécifiques au SdC       |
| Risque de tox. phytosanitaire pour les travailleurs |
| Risque lié aux pesticides dans les eaux             |
| Perte de NO <sub>3</sub>                            |
| Perte de Phosphore                                  |
| Volatilisation NH <sub>3</sub>                      |
| Emissions de N <sub>2</sub> O                       |
| Perte de pesticides dans l'air                      |
| Fertilité physico-chimique                          |
| Fertilité phosphorique                              |
| Risque érosif                                       |
| Conso. en eau d'irrigation en période critique      |
| Besoins en eau des cultures de la succession        |
| Autonomie de la ressource                           |
| Consommation d'énergie                              |
| Efficacité énergétique                              |
| Pression phosphore                                  |
| Diversité des cultures                              |
| Proportion traitée de la succession                 |
| Insecticides                                        |
| Fongicides                                          |
| Herbicides                                          |

■ Critère estimé qualitativement  
■ Critère estimé quantitativement

- Situation actuelle chez chaque type d'exploitation
- 18 prototypes chez 6 types d'exploitation
- 114 systèmes de culture



Calcul/estimation  
des critères d'évaluation

- Interviews
- Expertise
- SIMBA
- BANAD

MASC-BANANE

28 Valeur de pondération en pourcentage  
pour les critères à agréger

AGREGATION

Figure 1. Arbre hiérarchique de décision de MASC-BANANE avec les pondérations INRA et les différentes étapes d'utilisation

Pour nos besoins, l'outil MASC a été adapté à la production de bananes en Guadeloupe. La figure 1 présente l'arbre de décision de MASC-Banane, notre version adaptée. Nous avons apporté des modifications au niveau de la structure de l'arbre car nous disposions de critères d'évaluation plus pertinents. Aussi, nous avons modifié les pondérations de certains critères en fonction de notre vision de la durabilité et de nos objectifs de sélection. Par la suite nous appellerons ce jeu de pondération, « pondérations INRA ». Le mode de calcul des critères d'évaluation ont subi quelques modifications car certains n'étaient pas adaptés au contexte, notamment ceux faisant intervenir la méthode INDIGO.

### *1.3. Evaluation des prototypes*

Les données nécessaires à l'évaluation proviennent d'interviews, d'expertise et des modèles SIMBA et BANAD. Au final nous avons évalué la durabilité des systèmes de culture actuels de chacun des 6 types d'exploitation, et 18 prototypes de système de culture chez chacun des 6 types d'exploitation. Au total, 114 systèmes de culture ont été évalués. Les notes de durabilité globale ainsi obtenues nous permettent de sélectionner les systèmes de culture les plus durables pour chaque type d'exploitation.

### *1.4. Pondérations des acteurs de la filière banane*

Nous avons choisi de constituer plusieurs jeux de pondération issus des acteurs de la filière banane en Guadeloupe. Ainsi, par interviews individuels, l'outil MASC a été présenté. Puis, chaque agrégation a été présenté (nœuds de l'arbre hiérarchique) en détaillant chacun des critères et l'interviewé devait distribuer 100 points aux deux ou trois critères s'agréant pour traduire l'importance qu'il attribue aux critères. Nous avons interviewé 28 personnes, dont deux tiers étaient des planteurs de banane.

Quatre jeux de « pondérations acteurs de la filière » ont ainsi été réalisés : la moyenne de l'ensemble et trois jeux issus de la troncature d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les résultats d'une analyse des composantes principales (ACP). Nous avons choisi de ne présenter ici qu'un jeu de pondération qui correspond à une des classes issues de la CAH (figure 2). Dans ce jeu de pondération l'économie est la dimension la plus importante de la durabilité globale.

## **Résultats**

### *2.1. Pondérations INRA*

#### *2.1.1. La situation actuelle*

Les résultats de l'évaluation des systèmes de culture actuels sont présentés à la première ligne du tableau 3. La variabilité de note de durabilité globale entre les différents types d'exploitation est faible. Les types d'exploitation 1, 2, 3 et 6 présentent une durabilité globale faible. Les types d'exploitation 4 et 5 semblent plus durables avec une note de durabilité globale moyenne.

En présentant les notes de chacune des dimensions de la durabilité globale (figure 3) : durabilité économique, acceptabilité sociale et durabilité environnementale, on peut remarquer que les types d'exploitation 1 et 2 n'obtiennent aucune note acceptable. Les types d'exploitation 3 et 4 obtiennent une bonne note de durabilité économique. Les types d'exploitation 4 et 5 ont une bonne note d'acceptabilité sociale

La note de durabilité environnementale est élevée pour les types d'exploitation 5 et 6. Des propositions peuvent déjà être faites pour améliorer les notes obtenues :

- réduire ou arrêter l'utilisation des pesticides pour la durabilité environnementale
- supprimer l'emploi de produits phytosanitaires toxiques, développer la mécanisation pour l'acceptabilité sociale
- réduire les charges, les écarts de tri, augmenter le rendement, obtenir un meilleur prix de vente pour la durabilité économique.

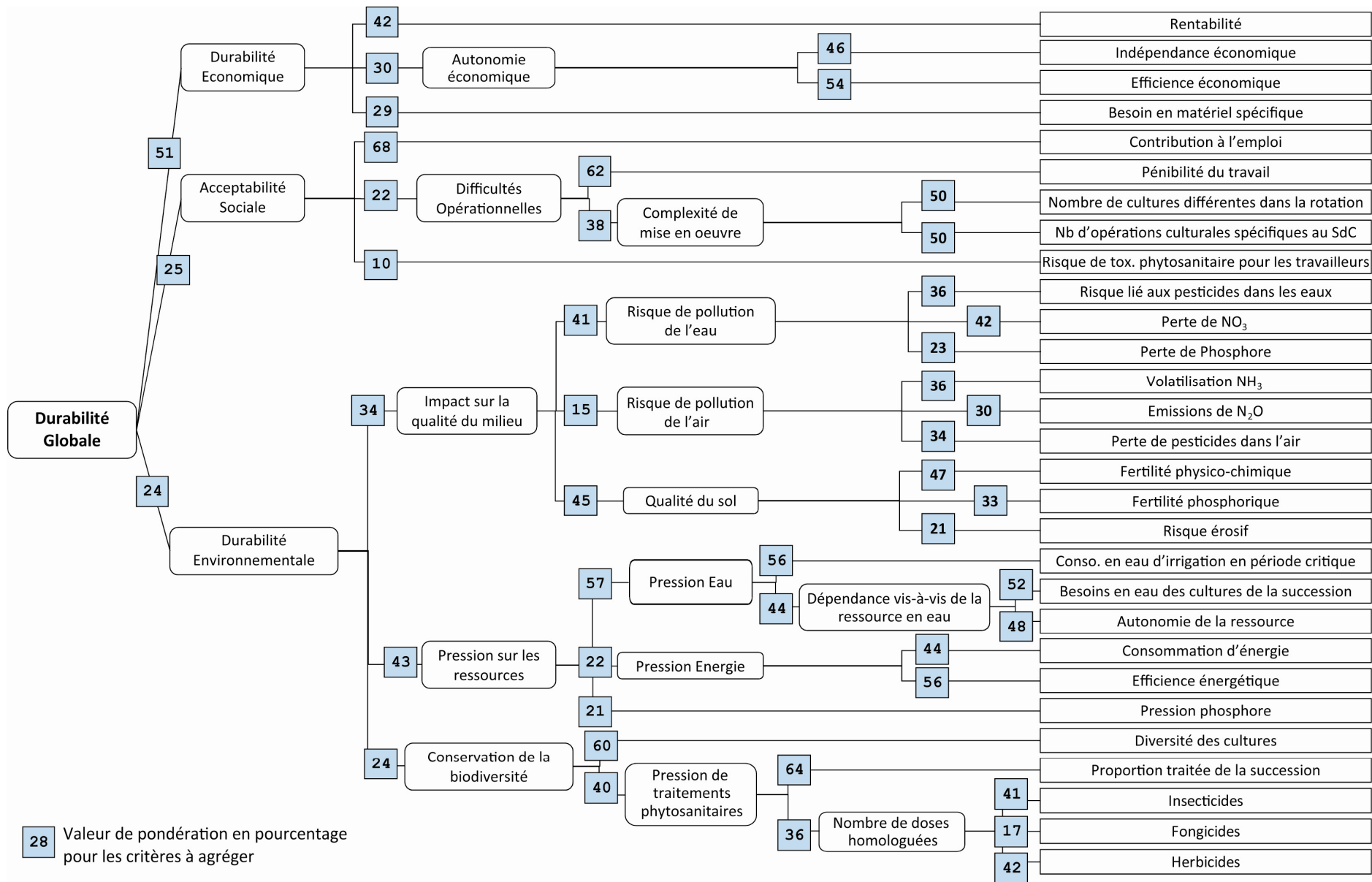


Figure 2. Arbre hiérarchique de décision de MASC-BANANE avec des acteurs de la filière

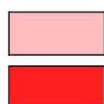
|                                            |                              | N° Innovation | Type 1 | Type 2 | Type 3 | Type 4  | Type 5  | Type 6 |
|--------------------------------------------|------------------------------|---------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| Sans Innovation                            |                              | 0             | Faible | Faible | Faible | Moyenne | Moyenne | Faible |
| Suppression de l'utilisation de pesticides | Nématicides                  | 1             | =      | +      | =      | =       | =       | +      |
|                                            | Herbicides                   | 2             | =      | =      | =      | =       | =       | =      |
|                                            | Nématicides + Herbicides     | 3             | +      | =      | +      | =       | =       | =      |
| Rotations                                  | <i>Crotalaria juncea</i>     | 4             | =      | +      | =      | =       | =       | +      |
|                                            | Jachère                      | 5             | +      | +      | =      | =       | =       | =      |
|                                            | Ananas                       | 6             | =      | =      | =      | -       | =       | =      |
| Systèmes intégrés                          | Système intégré 1 (plaine)   | 7             | +      | +      | +      | =       | =       | +      |
|                                            | Système intégré 2 (montagne) | 8             | +      | +      | +      | =       | =       | =      |
|                                            | Système biologique           | 9             | ++     | ++     | +      | =       | =       | +      |
| Cultures associées                         | <i>Canavalia ensiformis</i>  | 10            | =      | =      | =      | =       | =       | =      |
|                                            | <i>Brachiaria decumbens</i>  | 11            | =      | =      | +      | =       | =       | =      |
|                                            | <i>Impatiens</i> sp.         | 12            | =      | =      | =      | =       | -       | =      |
| Raisonnements des apports                  | Nématicides                  | 13            | =      | =      | =      | =       | =       | +      |
|                                            | Herbicides                   | 14            | =      | =      | =      | =       | =       | =      |
|                                            | Fertilisants                 | 15            | =      | =      | =      | -       | =       | =      |
| Nouvelles variétés                         | 91X                          | 16            | =      | =      | =      | -       | =       | =      |
|                                            | 91Y                          | 17            | =      | =      | +      | =       | =       | +      |
|                                            | 91Y en système biologique    | 18            | ++     | +      | +      | =       | -       | =      |

#### Légende

Note de Durabilité Totale

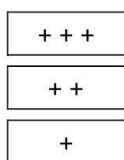


Très élevée  
Elevée  
Moyenne

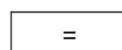


Faible  
Très faible

Amélioration de la durabilité

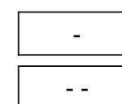


+++ de 3 notes  
++ de 2 notes  
+ de 1 note



Pas d'amélioration

Diminution de la durabilité



- de 1 note  
-- de 2 notes

Tableau 3. Résultats d'évaluation et évolution de la durabilité globale par rapport à la situation actuelle sans innovation avec les pondérations INRA.

### 2.1.2. Les prototypes de système de culture

Sur les 108 couples « type d'exploitation \* prototype » évalués, la note de durabilité globale est (tableau 3) :

- faible pour 51 couples,
- moyenne pour 54 couples,
- élevée pour 3 couples.

En comparaison avec la situation actuelle (tableau 3), la note de durabilité globale est :

- augmentée de 2 niveaux pour 3 couples,
- augmentée d'un niveau pour 23 couples,
- la même pour 77 couples,
- diminuée d'un niveau pour 5 couples.

Deux prototypes, les systèmes en agriculture biologique avec la variété classique et avec la variété résistante, obtiennent une note de durabilité globale élevée mais uniquement chez les types d'exploitation 1 et 2. Chez les types d'exploitation 4 et 5, aucun prototype n'améliore la note de durabilité globale obtenue. Certains prototypes diminuent même cette note.

Notre objectif était de sélectionner les prototypes les plus durables par type d'exploitation. Nous avons choisi de sélectionner les prototypes augmentant la note de durabilité d'au moins un niveau par rapport à la situation actuelle (signe + dans le tableau 3). Ainsi nous avons sélectionné 6 prototypes pour le type d'exploitation 1 et 7 prototypes pour les types d'exploitation 2, 3 et 6. Aucun prototype n'a été sélectionné pour les types d'exploitation 4 et 5 pour lesquels il conviendrait de proposer d'autres systèmes innovants, mieux adaptés à leurs contraintes.

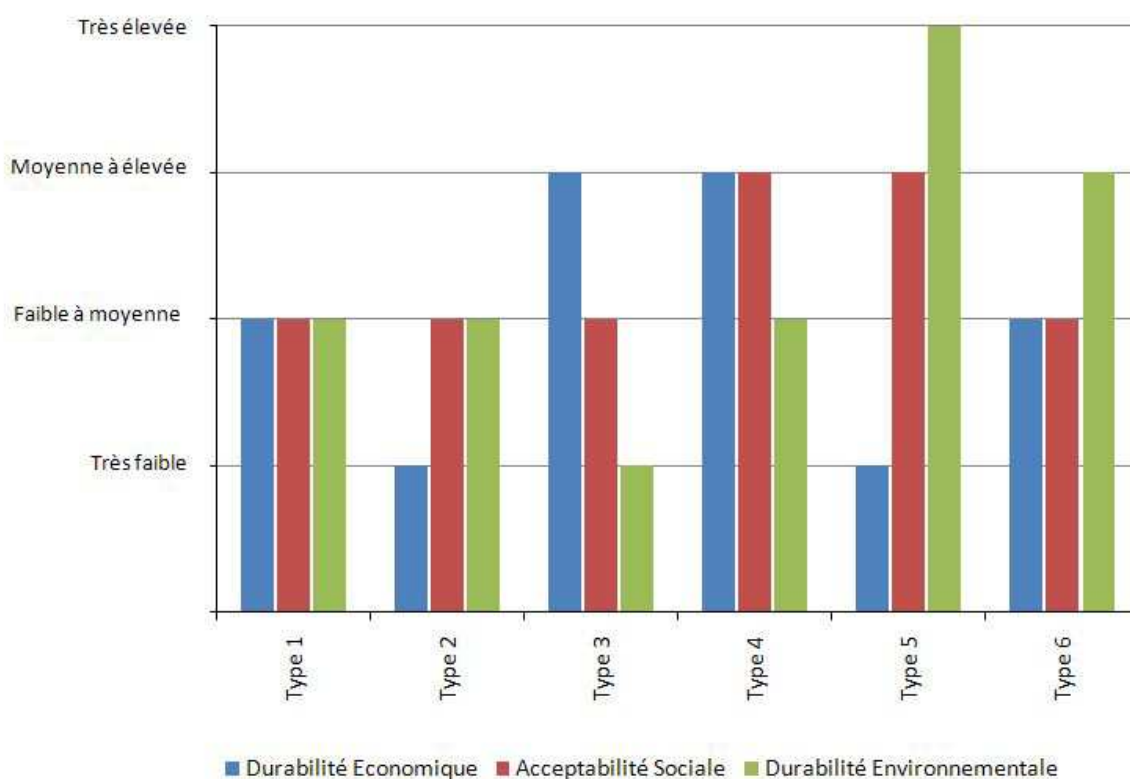


Figure 3. Note de chaque dimension de la durabilité globale par type d'exploitation en situation actuelle et avec les pondérations INRA.

|                                            |                              | N° Innovation | Type 1 | Type 2 | Type 3  | Type 4  | Type 5      | Type 6 |
|--------------------------------------------|------------------------------|---------------|--------|--------|---------|---------|-------------|--------|
| Sans Innovation                            |                              | 0             | Faible | Faible | Moyenne | Moyenne | Très faible | Faible |
| Suppression de l'utilisation de pesticides | Nématicides                  | 1             | =      | =      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | Herbicides                   | 2             | =      | -      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | Nématicides + Herbicides     | 3             | +      | =      | =       | =       | =           | =      |
| Rotation                                   | Crotalaria juncea            | 4             | +      | +      | -       | =       | +           | =      |
|                                            | Jachère                      | 5             | ++     | ++     | =       | =       | +           | =      |
|                                            | Ananas                       | 6             | +      | +      | =       | =       | +           | +      |
| Systèmes intégrés                          | Système intégré 1 (plaine)   | 7             | +      | +      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | Système intégré 2 (montagne) | 8             | ++     | +      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | Système biologique           | 9             | ++     | ++     | =       | +       | +++         | ++     |
| Cultures associées                         | Canavalia ensiformis         | 10            | +      | =      | =       | =       | ++          | +      |
|                                            | Brachiaria decumbens         | 11            | -      | -      | =       | =       | =           | -      |
|                                            | Impatiens sp.                | 12            | =      | -      | -       | =       | =           | -      |
| Raisonnements des apports                  | Nématicides                  | 13            | =      | =      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | Herbicides                   | 14            | =      | =      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | Fertilisants                 | 15            | -      | -      | --      | -       | =           | =      |
| Nouvelles variétés                         | 91X                          | 16            | -      | -      | --      | --      | =           | -      |
|                                            | 91Y                          | 17            | =      | =      | =       | =       | =           | =      |
|                                            | 91Y en système biologique    | 18            | +      | +      | =       | =       | +           | =      |

#### Légende

Note de Durabilité Globale



Très élevée



Faible



Elevée

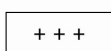


Très faible

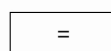


Moyenne

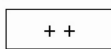
Amélioration de la durabilité



de 3 notes



Pas d'amélioration

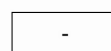


de 2 notes

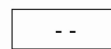


de 1 note

Diminution de la durabilité



de 1 note



de 2 notes

Tableau 4. Résultats d'évaluation et évolution de la durabilité globale par rapport à la situation actuelle sans innovation avec les pondérations acteurs de la filière

## 2.2. Pondération des acteurs de la filière

### 2.2.1. La situation actuelle

Les résultats de l'évaluation des systèmes de culture actuels sont présentés à la première ligne du tableau 4. On obtient à peu près les mêmes résultats qu'avec les pondérations INRA, à la différence que le type d'exploitation 5 obtient une note de durabilité globale très faible à cause de ses mauvais résultats économiques.

### 2.2.2. Les prototypes de système de culture

Sur les 108 couples « type d'exploitation \* prototype » évalués, la note de durabilité globale est (tableau 4) :

- très faible pour 26 couples,
- faible pour 31 couples,
- moyenne pour 43 couples,
- élevée pour 8 couples.

Avec ce jeu de pondération, il y a plus de prototypes de système de culture prometteur. La jachère obtient une bonne note de durabilité globale chez les types d'exploitation 1 et 2. Pour le type d'exploitation 1, le système intégré 2 obtient aussi une bonne note. Le système biologique en variété classique permet d'aboutir à une note de durabilité globale élevée chez 5 types d'exploitation sur 6.

En sélectionnant les prototypes de système de culture permettant d'aboutir à une note de durabilité globale au moins moyenne et augmentant la note par rapport à la situation actuelle, on obtient :

- 9 prototypes pour le type d'exploitation 1,
- 7 prototypes pour le type 2,
- aucun prototype pour le type 3
- un prototype pour le type 4,
- 2 prototypes pour le type 5,
- 3 prototypes pour le type 6.

Il ne semble pas avoir de prototype convenable pour les types d'exploitation 3 et 4 qui ont déjà en situation actuelle de bons résultats économiques.

## Discussion

Une méthode d'évaluation *ex ante* de la durabilité de systèmes de culture a été adaptée à la production de bananes en Guadeloupe. Cette méthode, MASC-BANANE, a permis d'évaluer 18 prototypes de systèmes de culture en tenant compte de la diversité régionale des exploitations (6 types d'exploitation). Suite à cette évaluation nous avons sélectionné 27 couples « type d'exploitation \* prototype » plus durables, avec le jeu de pondération INRA et 22 couples avec le jeu de pondération acteurs de la filière. Il conviendrait maintenant de tester ces prototypes à travers des essais au champ ciblés par type d'exploitation.

Nos résultats montrent qu'il est important de considérer la diversité des systèmes de culture dans l'évaluation car les innovations n'ont généralement pas les mêmes impacts dans chacun des types d'exploitation. Il a par exemple été mis en évidence des innovations aboutissant à une durabilité "élevée" chez un type et "faible" chez un autre. Ceci s'explique par le fait que d'une part les problèmes de durabilité sont différents pour chaque type de systèmes de culture, et d'autre part que ceux-ci ont des caractéristiques hétérogènes. Ceci montre l'intérêt de proposer un nombre élevé d'innovations afin que chaque système de culture puisse trouver l'innovation qui lui permette d'avoir une bonne durabilité ou au moins de l'améliorer.

Aussi, la présentation des résultats de deux jeux de pondérations différents montre l'importance d'explicitier les choix méthodologiques de ce genre de méthode. En effet, avec les pondérations INRA, le type d'exploitation 5 obtient en situation actuelle une note de durabilité globale moyenne et une note très faible avec les pondérations acteurs de la filière. Pour les pondérations des acteurs, la durabilité économique représente 50% de la note de durabilité globale alors que pour les pondérations INRA, les trois dimensions ont une importance équivalente dans la note de durabilité globale.

Les résultats des différents jeux de pondérations obtenus ne sont pas présentés ici, mais, le système biologique en variété classique ressort à chaque fois comme un prototype qui améliore la durabilité globale chez la majorité des types d'exploitation.

Notre travail présente des limites en différents points qu'il convient de discuter. Certaines limites sont inhérentes à la méthode que nous avons adoptée, d'autres sont à relier à des limites de l'outil MASC. D'abord, par manque de valeurs de référence régionales sur plusieurs indicateurs, la définition des valeurs seuils des classes qualitatives s'est faite en fonction de la distribution des valeurs. Ensuite, le mode de calcul de certains critères n'a pas toujours été validé. Par exemple : la consommation en énergie a été évaluée à l'aide d'équations et de constantes issues de la littérature mais sont-elles valides pour notre contexte ? Enfin, dans nos simulations, le prix de vente des bananes issus de l'agriculture biologique est double par rapport à celle issue de l'agriculture conventionnelle. Des études de marché permettraient de déterminer à quel prix le consommateur achèterait les bananes issues de l'agriculture biologique.

## Conclusion

L'outil MASC nous a permis d'atteindre nos objectifs qui étaient d'évaluer la durabilité d'un ensemble de prototypes de systèmes de culture. En tenant compte de la diversité régionale des exploitations existantes, la durabilité a été évaluée au travers d'une structure hiérarchique décomposant une durabilité globale en trois sous-dimensions : économique, sociale et environnementale. Cette évaluation systémique s'effectue à travers un grand nombre de critères qui s'agrègent pour aboutir à une note globale de durabilité. La méthode a pu être adaptée à la culture de la banane en Guadeloupe où différents systèmes de cultures sont « candidats » à l'innovation. Dix-huit prototypes ont ainsi été évalués chez six types d'exploitation bananière différents. La prise en compte de la diversité des exploitations a pu mettre en évidence une variabilité de l'impact des innovations sur la durabilité des types d'exploitation.

Avec le jeu de pondération INRA, deux systèmes innovants ont un impact positif sur la durabilité pour tous les types et conduisent à des notes de durabilité globale au moins moyenne :

- le système intégré avec *Brachiaria decumbens* dans la rotation puis plantation sous couvert du *B. decumbens* et culture de la banane en association avec cette même culture
- le système biologique en variété classique avec *Crotalaria juncea* dans la rotation puis culture de la banane en association avec *Canavalia ensiformis* et apport régulier de fertilisants organiques

Ces deux systèmes innovants apparaissent comme les plus prometteurs. Il est à noter que le système biologique obtient même une durabilité élevée chez les types d'exploitation 1 et 2.

Avec le jeu de pondération acteurs de la filière, c'est le système biologique en variété classique qui apparaît comme le meilleur prototype pour l'ensemble des types d'exploitation.

Il convient désormais de tester *in situ* ces systèmes innovants pour leur évaluation fonctionnelle et agronomique.

Bien qu'améliorant la durabilité, ces innovations pourraient ne pas être adoptées. Aussi, d'autres systèmes innovants plus spécifiquement adaptés à chaque type d'exploitation seraient également à tester au champ.

Enfin, notre méthode d'évaluation pourrait être améliorée par des études complémentaires visant à accroître la précision des données d'entrées. A cet effet, l'adaptation de l'outil MASC que nous avons produite au cours de ce travail pourra servir de point de départ.

## Bibliographie

- Andreoli M., Rossi R., Tellarini V., 1999. Farm sustainability assessment: some procedural issues, *Landscape and Urban Planning*, 46, 41-50.
- Andreoli M., Tellarini V., 2000. Farm sustainability evaluation: methodology and practice, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77, 43-52.
- Blazy J.M., Tixier P., Thomas A., Ozier Lafontaine H., Salmon F., 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 (4), 221-232.

- 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(1-2), 30-41.
- 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. In: Dedieu, B., Zasser-Bedoya, S. (Eds.), CD-ROM Proceedings of the 8th European IFSA Symposium, Workshop 3. July 6–9th, 2008, Clermont-Ferrand (France), 457–468, Available at: <http://s149289260.onlinehome.fr/ifsa-artiphp/welcome/index.php>.
- Bockstaller C., Guichard L., Keichinger O., Girardin P., Galan M.B., Gaillard G., 2009. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 223–235.
- Chabrier, C., Queneherve, P., 2003. Control of the burrowing nematode (*Radopholus similis* Cobb) on banana: impact of the banana field destruction method on the efficiency of the following fallow. *Crop Protection* 22, 121–127.
- Dulcire M., Cattan P., 2002. Monoculture d'exportation et développement agricole durable : cas de la banane en Guadeloupe. *Cahiers Agricultures*, 11 (5), 313-321.
- Espinosa A., Harnden R., Walker J., 2008. A complexity approach to sustainability – Stafford Beer revisited, *European Journal of Operational Research*, 187 (2), 636-651.
- Ikerd J.E., 1993. The need for a systems approach to sustainable agriculture, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 46, 147–160.
- Jereb *et al.*, 2003 Jereb, E., Bohanec, M., Rajkovič, V., 2003. Computer programme for multi-attribute decision making support. User Manual. Moderna organizacija, Kranj (in Slovene). In Bohanec, M., Džeroski, S., Žnidaršič, M., Messéan, A., Scatasta, S., Wesseler, J., 2004: Multi-attribute modeling of economic and ecological impacts of cropping systems, *Informatica* 28, 387-392.
- Mateille, T., Queneherve, P., Hugon, R., 1994. The development of plant-parasitic nematode infestations on micro-propagated banana plants following field control measures in Côte d'Ivoire. *Annals of Applied Biology* 125, 147–159.
- Motisi, N., Tournebize, R., Sierra, J., 2007. Test of the natural <sup>15</sup>N abundance method to estimate the effect of the legume *Canavalia ensiformis* (canavalia) nitrogen transfer on the associated *Musa acuminata* (banana) nitrogen nutrition. *Cultivos Tropicales* 28, 77–83.
- Queneherve, P., Chabrier, C., Auwerkerken, A., Toparta, P., Martinya, B., Marie-Luce, S., 2006. Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. *Crop Protection* 25, 860–867.
- Quénéhervé, P., Salmon, F., Topart, P., Horry, J.-P., 2009. Nematode resistance in bananas: screening results on some new *Mycosphaerella* resistant banana hybrids. *Euphytica* 165, 137–143.
- Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 163-174.
- Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (3), 447-461.
- Ternisien, E., 1989. Study of crop rotations in banana plantations. II. Impact of rotated crops on banana production and the health of the soil. *Fruits* 44, 445–454.
- Ternisien, E., Melin, P., 1989. Study of crop rotations in banana plantations. I. Assessment of crops for rotation. *Fruits* 44, 373–383.
- Thammaiah, N., Shirol, A.M., Kanamadi, V.C., Swamy, G.S.K., 2007. Control of banana nematodes (*Radopholus similis*) using intercrop. *Asian Journal of Horticulture* 2, 24–28.

- Tixier, P., 2004. Conception assistée par modèle de systèmes de cultures durables, application aux systèmes bananiers de Guadeloupe. Th Doctorat, ENSAM, Montpellier, France, 233 p.
- Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Wery, J., 2008a. SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems* 97, 139–150.
- Tixier, P., Salmon, C., Chabrier, P., Quénéhervé, P., 2008b. Modelling pest dynamics of new crop cultivars: the FB920 banana with the *Helicotylenchus multicinctus*–*Radopholus similis* nematode complex in Martinique. *Crop Protection* 27, 1427–1431.
- Von Wirén-Lehr S., 2001. Sustainability in agriculture – an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practice, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 84, 115–129. In: Meul M., Van Passel S., Nevens F., Dessein J., Rogge1 E., Mulier A., Van Hauwermeiren A., 2008. MOTIFS: a monitoring tool for integrated farm sustainability, *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 321–332.