

# ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain



Alternatives biologiques a l'utilisation des pesticides dans les plantations de bananiers plantain  
Biological alternatives to the use of pesticides in plantain banana plantations

Programme Evaluation et réduction des risques  
liés à l'utilisation des Pesticides  
APR 2009  
Rapport final : rapport scientifique

IEES, Institut d'Écologie et des Sciences de l'Univers (BIOEMCO)  
Professeur Patrick LAVELLE, Centre IRD, 93143, BONDY, France

Date : 28/01/2015

N° de contrat **1647/2010**

Date du contrat : 2010

RAPPORT SCIENTIFIQUE

ALTERBIO

Alternatives biologiques à l'utilisation des pesticides dans les plantations de bananiers plantain  
Biological alternatives to the use of pesticides in plantain banana plantations

Programme Evaluation et réduction des risques  
liés à l'utilisation des Pesticides  
APR 2009  
Rapport final- Janvier 2015

Coordonnateurs :

Patrick LAVELLE, UMPC Paris 6, C/O CIAT, Cali, Colombie  
et Gladys Loranger-Merciris, UAG/INRA, Pointe à Pitre

Harry Ozier-Lafontaine (INRA)  
Jean-Louis Diman (INRA)  
Jean Marc Blazy (INRA)  
Marc Dorel (CIRAD)  
Brunise Deloné, doctorante  
Neuza Asakawa, CIAT, Cali  
Elena Velasquez, UNAL, Palmira  
Angela Londoéno, Doctorante UNAL  
Yamileth Chagueza, Doctorante (UNAL)

CONTEXTE GENERAL

*Quelle situation, quels enjeux motivent ce projet ?*

***Une culture d'importance stratégique avec une demande en forte croissance menacée par de nombreux parasites et maladies très mal contrôlés par les produits phytosanitaires***

La banane plantain (*Musa paradisiaca*) est l'aliment de base de millions de personnes dans le monde et sa culture génère des revenus permanents pour un grand nombre d'agriculteurs, dans des plantations de taille petite ou moyenne. Cette plante est très sensible aux parasites et aux maladies notamment la Sigatoka noire (*Mycosphaerelia fidjiensis* var *difformis*), la Cercosporiose jaune (*Mycosphaerella Musicola*), les infections à *Ralstonia solanacearum* (« Moko »), les nématodes phytoparasites et les charançons. La lutte contre ces divers agents pathogènes entraîne souvent une utilisation importante et inefficace à moyen terme de produits phytosanitaires : insecticides, nématicides, herbicides en particulier. Nous avons dans ce projet cherché à identifier, améliorer et/ou générer des actions techniques visant à réduire ou supprimer le recours aux pesticides et à permettre une transition vers les systèmes organiques. L'hypothèse centrale est qu'un sol ayant de bonnes qualités physiques, chimiques et biologiques portera des plantes saines qui résisteront mieux aux maladies et aux parasites.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Le fait reconnu que les vers de terre protègent les plantes, en particulier les bananiers, des attaques de nématodes phytoparasites, guide entre autres notre investigation.

### ***ALTERBIO recherche des alternatives biologiques basées sur l'entretien de la qualité physique, chimique et biologique du sol et la stimulation de tous les agents biologiques de protection***

Nous avons choisi de mener cette recherche dans deux pays aux conditions bien différentes, la zone centrale dite « Eje cafetero » de la Colombie et la Guadeloupe. En Colombie, les plantations couvraient 397.000 ha en 2003 (FAO 2003), générant 285000 emplois directs et 855000 emplois indirects, avec une production au deuxième rang mondial. Production et rendements ont cependant diminué de façon importante à cause des problèmes phytosanitaires et du faible investissement dans les pratiques de lutte chimique ou de fertilisation. En 2005, les rendements moyens furent de 7,7t ha<sup>-1</sup> (contre 39,4 au Guatemala par exemple), en grande partie à cause des infections à *Ralstonia* qui ont causé la perte de 20.000 ha de plantations dans le département du Caqueta (Belalcazar 2003 ; Espinal et al. 2006). On estime entre 60 et 70% le nombre des producteurs qui n'appliquent aucun traitement. Pour les autres, les produits disponibles utilisés sont d'une grande toxicité et favorisent la réapparition de la maladie, en partie pour leurs effets sur les organismes non cibles.

En Guadeloupe, la banane plantain est cultivée dans des polycultures vivrières à la marge des exploitations de bananes pour l'exportation (*Musa acuminata* type Cavendish). La superficie aurait oscillé entre 300 et 350 hectares sur la période 2000-2006 et les perspectives de développement futur sont grandes. La production est estimée entre 5500 et 9000 tonnes selon les années et les rendements de 15 à 20 tonnes par hectare. Des gains de rendements sont possibles si l'on réduit l'impact des charançons et des nématodes, le bananier plantain étant très sensible à la verve que ces parasites occasionnent.

### **OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET**

Dans le contexte de la production bananière antillaise fortement marqué par le problème de la pollution des sols, il est nécessaire d'orienter les activités de recherche de manière extrêmement volontariste vers la conception de systèmes de culture sans pesticides. L'objectif « Zéro pesticide » implique une transformation profonde des systèmes conventionnels de culture bananière et l'adoption par les producteurs des innovations proposées. Une telle évolution est en cours dans la filière banane dessert où des systèmes alternatifs ont déjà permis une réduction de l'utilisation de nématicides dans les bananeraies martiniquaises de 65 %. Le contrôle des adventices par le paillage, ou la mise en place de plantes de couverture font aussi l'objet de recherches mais pas dans les cultures de bananes plantain.

Notre projet a cherché des solutions à ce problème et fait le lien entre la Guadeloupe et la Colombie, permettant la coopération institutionnelle et l'ouverture aux chercheurs d'un champ élargi d'expérimentation et d'application de leurs résultats. L'intérêt de la mise en

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

comparaison des deux terrains d'étude réside en effet dans leurs contrastes et leur complémentarité qui devait renforcer la portée générique de nos recherches.

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

Le projet a procédé en 3 étapes principales, du diagnostic à l'expérimentation et à l'adoption des techniques alternatives.

**La première phase de diagnostics** devait permettre de vérifier le bien-fondé de notre hypothèse initiale : la responsabilité des systèmes de production dans l'occurrence des maladies et l'identification des éléments techniques impliqués.

Un diagnostic initial sous forme d'enquête auprès des producteurs a été mené à bien dans un échantillon représentatif de 95 fermes en Colombie et sur l'ensemble des fermes répertoriées à la Guadeloupe. Il devait identifier les conditions des systèmes de production qui favorisent les maladies et les parasites.

Un deuxième diagnostic plus détaillé, sur 20 fermes dans chacune des deux régions, avait pour objectif de relier la qualité des sols mesurée par des indicateurs de leur qualité physique, chimique et biologique) à l'occurrence des maladies et parasites.

Ces diagnostics ont été largement partagés avec les producteurs dans un très grand effort d'échange des savoirs.

**Dans une deuxième phase** nous avons expérimenté diverses options qui devaient permettre une amélioration des conditions du sol : les apports de vermicompost favorisant l'activité de la faune et de la microflore bénéfiques, les plantes de couverture, l'usage de plantules saines fabriquées suivant un procédé nouvellement mis au point, le désherbage mécanique et l'application de la méthode brevetée de Fertilisation Bio Organique qui associe les apports de matière organique avec l'inoculation de vers de terre géophages dans des tranchées creusés entre les plantes.

**La troisième phase** analyse en détails l'attitude des producteurs vis-à-vis des options alternatives proposées et les conditions qu'ils mettraient pour accélérer leur adoption.

### **Traitement des données**

La vérification des diverses hypothèses de travail a nécessité la collecte d'un très grand nombre de variables destinées à décrire l'environnement agronomique, écologique et socio économique des plantations.

Les analyses multivariées sont l'outil utilisé pour le traitement de tels jeux de données. Nous en avons utilisé divers types , en fonction de la nature des données : Analyse en Composantes Principales pour des jeux de données quantitatives ; Analyse Factorielle Multiple, pour analyser les relations entre des groupes de données quantitatives et qualitatives ; Analyse en Composantes Multiples pour les données d'enquête multiqualitatives .

Certaines relations entre variables simples ou composites (réunies dans des indicateurs synthétiques) mises en évidence dans ces analyses ont été soumises à des analyses univariées

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

pour mieux décrire les phénomènes mis en jeu. Nous avons utilisé pour cela des ANOVAS, des modèles linéaires généralisés (glm) et, dans le cas des jeux de données à structures hiérarchisées emboîtées, des modèles linéaires mixtes.

Le projet s'est déroulé suivant les plans initiaux, avec toutefois un démarrage considérablement retardé par la localisation d'une partie du projet à l'étranger et généralement, une grande difficulté dans la gestion administrative due aux conditions spécifiques : emploi de main d'œuvre temporaire et paiement de prestations .

### RESULTATS OBTENUS

#### *Diagnostics initiaux*

La première année du projet a permis un diagnostic approfondi des exploitations et la création de groupes d'échange de savoirs et de réflexion avec les producteurs.

- Caractérisation sociale, économique et biophysique des systèmes de production de bananes plantains : l'intensification et l'usage des produits agrochimiques favorise l'émergence des maladies et des parasites et sélectionne les plus virulents

#### **Questionnaire Phase 1:**

Le questionnaire appliqué dans les 94 fermes représentatives de plus de 2000 en Colombie et des 76 exploitations de Guadeloupe a permis de classer les fermes en fonction des systèmes de production et d'analyser l'impact des options techniques retenues.

En Guadeloupe, les systèmes de production sont pour la plupart dérivés de ceux de la banane dessert. La replantation se fait après la récolte, avec des plants nouvellement importés.

En Colombie, une nette séparation s'observe entre des systèmes intensifs conventionnels et des systèmes organiques moins intensifiés. Les premiers utilisent exclusivement des intrants et des systèmes de protection chimiques, sur des monocultures anciennes et de grandes superficies (de 10 à 35 ha) ; les systèmes organiques occupent des petites surfaces, dans des régions plus montagneuses, en association le plus souvent avec le café.

Le questionnaire appliqué dans les deux pays comprend 5 parties et 74 questions (annexe): 1. identification et localisation (8 questions), 2. Evaluation de l'Unité productive, caractéristiques du producteur de sa famille et statut de propriété (15 questions) ; 3. Description de la structure physique, géographique et climatique de l'Unité productive (9 questions) ; 4. Information sur les parcelles (10) et 5. Conditions techniques de l'exploitation (32).

#### Guadeloupe

A la Guadeloupe, l'enquête a porté sur l'ensemble des 76 exploitations dédiées à cette production.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

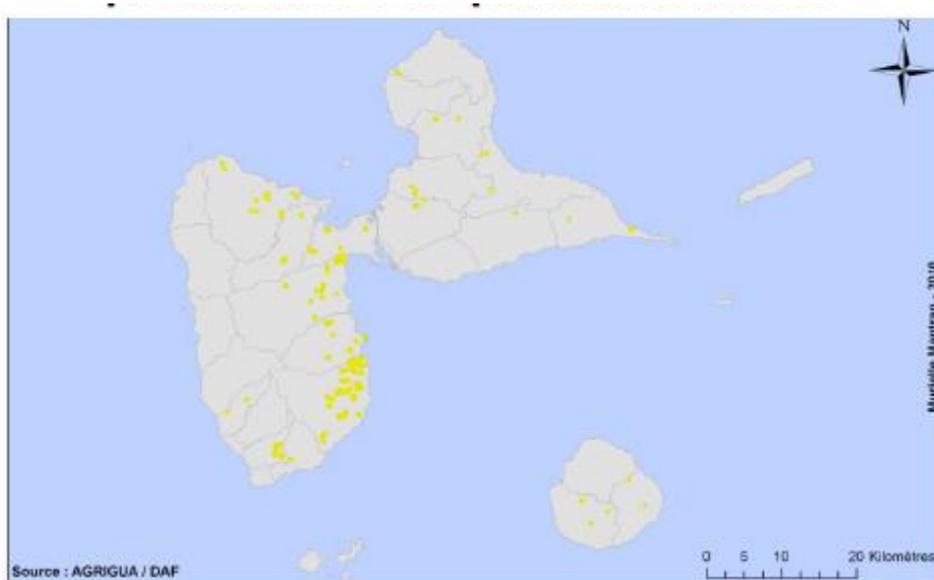


Figure 1 : Localisation des plantations de bananier plantain à la Guadeloupe.

La production de plantain se fait principalement dans des exploitations de faible taille (1ha) par des exploitants propriétaires dans seulement 44% des cas, et même sans titre d'accès à la propriété dans 14% des cas.

Méthode d'analyse.

Étant donné que les variables de l'enquête sont surtout qualitatives, une analyse en composante multiple (**ACM**) a été effectuée. Cependant, la représentativité des axes étant trop faible, aucune conclusion n'a pu être dégagée par cette méthode.

La méthode alors préférée est une méthode « d'aller-retour » sur les données (Houdart, 2004). Pour ce faire, un tableau a été créé dans lequel chaque variable représente une colonne et chaque parcelle une ligne. Pour chaque modalité de variable, une note a été donnée en fonction du niveau de ressemblance par rapport à l'itinéraire technique de référence de la Cavendish export.

Pour chaque exploitation, une note finale a été calculée en additionnant l'ensemble des notes de chaque modalité. Les parcelles les plus similaires, obtiennent des notes équivalentes.

Ensuite, un code couleur a été incrémenté à chaque note. Ce qui permet de distinguer visuellement dans le tableau les pratiques les plus similaires à la Cavendish export de celles qui le sont le moins.

Quatre catégories de fermes ont ainsi été identifiées (figure 2 ).

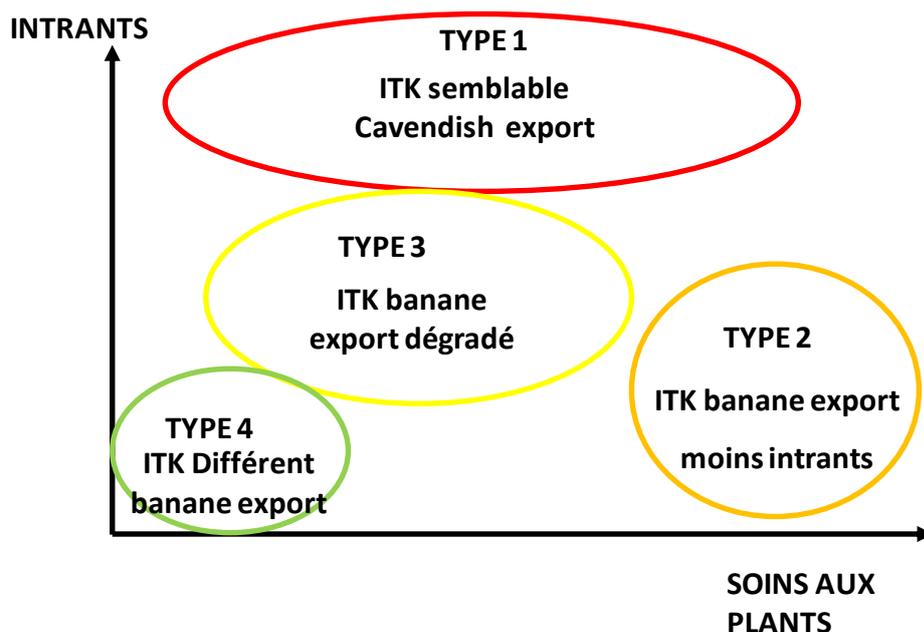


Figure 2 : Classification des fermes de Guadeloupe en fonction de leurs itinéraires techniques

Il est clair que la banane plantain n'est le plus souvent pas l'élément dominant du système de production, particulièrement dans les fermes où l'itinéraire technique est copié de celui, intensif, de la banane dessert, par des exploitants plus jeunes en moyenne que ceux qui utilisent des méthodes plus spécifiques au plantain (tableau 1).

### Colombie

En Colombie, où la culture de plantain est très répandue, notre étude s'est concentrée sur 7 municipalités du département de Quindio qui concentrent la majorité de la production, sont d'accès relativement aisé et sans problèmes d'ordre public : Armenia, Quimbaya, Montenegro, Calarcá, La Tebaida, Pijao, Buenavista. Une partie de ce territoire est localisé dans une région montagneuse, l'autre en plaine.

A partir de la base de données de 2267 exploitations de l'association de producteurs FEDEPLATANO, un échantillon représentatif a été identifié. Cette base de données ne contenant pas les informations nécessaires à notre enquête, il a fallu créer un sous échantillon représentatif.

L'échantillonnage est de type « aléatoire stratifié », les municipalités étant considérées comme les « strates ». La méthode d'échantillonnage aléatoire simple a permis d'évaluer le nombre d'échantillons minimum représentatif de l'ensemble des fermes étudiées. Une première estimation montre que 66 est le nombre recommandé. Nous avons effectué à cette étape 62 enquêtes, distribuant les fermes aléatoirement dans les municipalités, en nombre proportionnel à l'importance relative de chacune dans la base de données initiale. Dans une deuxième étape, l'analyse des résultats obtenus a suggéré de porter à 95 le nombre d'échantillons et un travail d'enquête supplémentaire a été réalisé.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Tableau 1 : Attributs des exploitations dans les différents types de fermes reconnus à la Guadeloupe

		T1 Exploitations spécialisées en plantain		T2 Moyennes exploitations plantain/élevage	T3 Moyennes exploitations vivrières (banane plantain/racines)	T4 Grandes exploitations spécialisées en plantains avec assolement diversifié	T5 Grandes exploitations spécialisées en "Cavendish"	
		Petites exploitations	Moyennes exploitations					
	Effectif	17 (22%)	16 (21%)	6 (8%)	9 (11%)	11 (13%)	6 (8%)	65
Assolement	banane plantain	84%	61%	53%	46%	40%	17%	
	banane dessert	0%	0%	0%	0%	0%	41%	
	jachère	15%	30%	41%	2%	16%	5%	
	racines	0%	1%	0%	44%	1%	3%	
	maraichage	0%	2%	0%	0%	12%	4%	
	canne	0%	0%	0%	0%	1%	0%	
	ananas	0%	0%	0%	0%	14%	7%	
Caractéristiques de l'exploitation	SAU totale (Ha)	0,740	3,400	5,460	2,191	8,2	9,9	
	Surface plantain (Ha)	0,490	1,780	2,670	0,794	3	1,6	
	Altitude	100	130	100	130	150	130	
	culture principale	Banane plantain	Banane plantain	Banane plantain/élevage	Banane plantain/racines	Banane plantain/ananas/maraichage	Banane dessert	
	Mode de faire valoir	Indirect	Indirect	direct	Indirect	Direct	Direct/indirect	
	Age d'installation	12	12	15	17	14	14	
	MO	familiale	familiale/temporaire	familiale/temporaire	familiale	salariée temporaire	salariée permanente	
Prix moyen de vente plantain (euros)	0,670	0,740	0,750	0,657	0,9	0,9		
Caractéristiques de l'exploitant	Age moyen	52	55	54	61	46	38	
	Formation agricole	Non 94%	Non 87%	Non 77%	Non 89%	Oui 64%	Oui 83%	
	Associé en OP	Non 100%	Non 100%	Non 77%	Non 75%	Oui 82%	Oui 100%	
	Aides	Non 100%	Non 94%	Non 83%	Non 100%	Oui 54%	Oui 50%	

L'analyse des données s'est faite en plusieurs étapes. Le tableau de données initiales comprend 94 fermes et un ensemble de 25 variables. Une analyse exploratoire consiste à observer l'étendue et la forme des variations de toutes les variables analysées à l'aide de graphiques simples. On choisit ainsi dans chacun des 4 groupes (social, économique, système de production et données biophysiques) celles qui montrent la plus grande variabilité entre les fermes étudiées. Il ressort de cette analyse que 8 éléments varient sensiblement entre les fermes : le coût de la main d'oeuvre, l'entretien de la plantation, la production, l'ancienneté de la plantation, le système de production (monoculture, cultures intercalées) et l'altitude et la topographie. Une analyse factorielle multiple (AFM) entre ces 8 groupes de données a montré une relation très significative entre l'altitude, les systèmes de production et l'état phytosanitaire (Figure 3).<sup>1</sup> Les coefficients de corrélation matricielle  $R_v$  calculés, équivalents à des corrélations entre deux variables, mais appliquées à des tableaux, sont significatifs, et expliquent de 29 à 33% de la variance.

On montre ainsi une relation significative entre l'ensemble des variables décrivant l'état phytosanitaire, le système de production en général et la situation topographique.

<sup>1</sup> L'AFM développée par Escofier y Pagès, (1992) permet l'analyse simultanée de plusieurs groupes de variables mesurées sur le même ensemble d'individus et utilise des variables quantitatives et qualitatives. La relation entre les groupes est évaluée par le coefficient de corrélation matricielle  $R_v$ . Tous ces traitements ont été réalisés avec la librairie FactoClass sous R.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

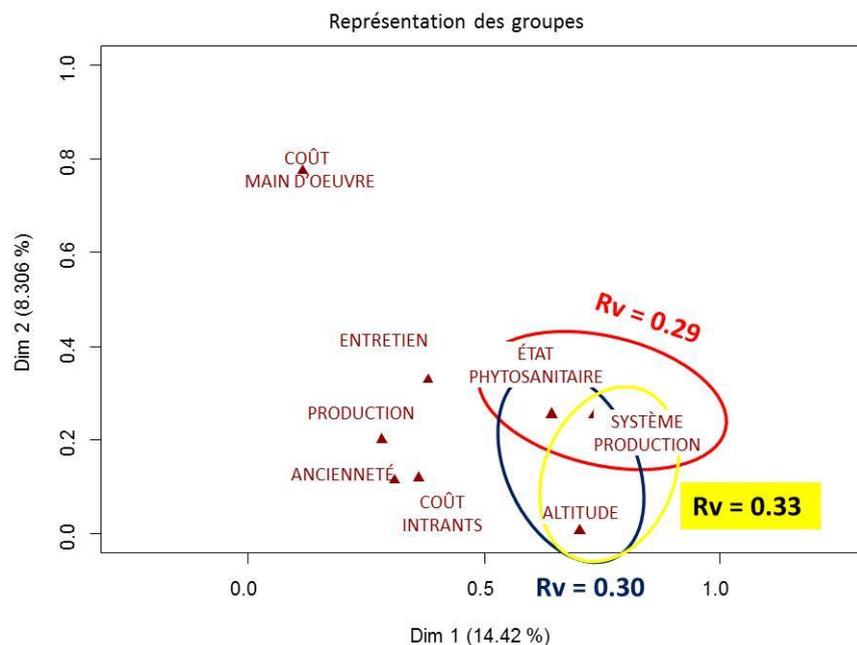


Figure 3 : Projection des groupes de données dans l'espace factoriel F1/F2 d'une analyse factorielle multiple. Les groupes de variables « Etat phytosanitaire », « Système de production » et « altitude » sont proches et reliés par des coefficients de corrélation matriciels ( $Rv$ ) significatifs.

Une analyse en composantes multiples (ACM) couplée avec une analyse de constellations (*cluster analysis*) a ensuite permis d'identifier les variables les plus impliquées dans les relations globales montrées précédemment. On a sélectionné pour cette analyse 14 variables catégorielles (municipalité, relief, taille de la ferme, occurrence des maladies (*Ralstonia*, Elephantiasis, Viroses, bactérioses), système de culture, âge de la plantation, produits appliqués au semis, contrôle sanitaire de la plantule, mode de fertilisation, travaux de récolte et mode de contrôle des charançons). Chaque variable est à son tour déclinée en un nombre variable de catégories. L'information est complétée par 4 indicateurs du niveau (bas, moyen, élevé) d'intrants, organiques ou chimiques appliqués pour le semis, la culture, la fertilisation et le contrôle des maladies et parasites (tableau annexe 1).

La projection des variables décrivant les fermes permet ainsi de voir que les fermes de type 1 et 3 sont celles où l'occurrence des maladies est la plus forte, ce qu'indique leur projection près des variables représentant celles-ci. Ces fermes sont caractérisées par de fortes valeurs des variables décrivant l'intensification conventionnelle : monoculture, usage de pesticides, intrants chimiques, grandes exploitations en monoculture et contrôle chimique au semis (Figure 4 ; tableaux 2 et 4).

A l'inverse, les fermes de type 3 et 5, les plus éloignées de la zone de projection des maladies et parasites dans la projection des variables (figure 4) sont petites, avec des systèmes de production mixte, le plus souvent associée au café, utilisent les engrais organiques et pas de pesticides.

ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Tableau 2. Caractérisation des fermes du groupe 1 séparé par l'analyse hiérarchique : ces fermes où se pratique la monoculture sur des zones plates, montrent une forte prévalence de toutes les maladies et parasitoses, avec une utilisation moyenne de moyens de lutte chimiques. p.Value : signification (de 0 à 1) de la relation entre la variable et ces fermes ; weight : poids de la variable (0 à 100) dans la définition du groupe concerné.

<b>GROUPE 1</b>		
<b>MODALITÉS</b>	<b>p.Value</b>	<b>Weight</b>
Utilisation moyenne de produits agrochimiques	1,00	47
Utilisation moyenne de produits organiques	1,00	47
Virose	1,00	27
Pas de contrôle Phytosanitaire au semis	1,00	65
Monoculture	0,99	38
Ralstonia	0,99	36
Elephantiasis	0,99	56
Relief plat	0,99	37
Municipalité Armenia	0,98	16

Tableau 3. Caractérisation des fermes du groupe 2 séparé par l'analyse hiérarchique .. Dans ces plantations de plaine, anciennes, où domine l'elephantiasis, l'application de produits phytosanitaires est importante aux différentes étapes de la vie de la plante (particulièrement au semis et à l'étape de maturation des fruits).

<b>GROUPE 2</b>		
<b>MODALITÉS</b>	<b>p.Value</b>	<b>Weight</b>
Utilisation faible de produits agrochimiques	1,00	45
Utilisation faible de produits organiques	1,00	45
Contrôle Phytosanitaire chimique au semis	1,00	26
Intr. chim et org au semis	1,00	22
Elephantiasis	1,00	56
Sacs entourant les régimes	0,99	65
Plantation de plus de 21 ans	0,99	34
Usage élevé des phytosanitaires	0,99	14
Municipalité Quimbaya	0,98	20
Contrôle phyto organique au semis	0,97	3

ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Tableau 4. Caractérisation des fermes du groupe 3 séparé par l'analyse hiérarchique. Dans ces fermes petites et de zone montagneuse où dominant les cultures associées (au café), l'absence de contrôle phytosanitaire va de paire avec l'absence de la plupart des maladies

<b>GROUPE 3</b>		
<b>MODALITÉS</b>	<b>p.Value</b>	<b>Weight</b>
Elephantiasis absent	1,00	38
Mun.Pijao	1,00	8
Ralstonia absent	1,00	58
Relief pentu	1,00	14
Plantation récente	1,00	31
Virose absente	1,00	67
Municipalité Buenavista	1,00	6
Semis organique	1,00	68
Petite surface	0,99	54
Pas de contrôle phyto au semis	0,99	65
Culture associée	0,98	17
Pas de sacs autour des régimes	0,96	4

Tableau 5 . Caractérisation des fermes du groupe 4 séparé par l'analyse hiérarchique. Ces fermes se caractérisent par une forte utilisation d'intrants, qu'ils soient chimiques ou organiques. Elles se trouvent dans les zones de plaine, en monoculture.

<b>GROUPE 4</b>		
<b>MODALITÉS</b>	<b>p.Value</b>	<b>Weight</b>
Forte Utilisation de produits agrochimiques	1,00	20
Forte Utilisation de produits organiques	1,00	20

Tableau 6. Caractérisation des fermes du groupe 5 séparé par l'analyse hiérarchique des 95 fermes échantillonnées dans le Quindio. Ces fermes situées dans des zones pentues pratiquent la culture associée avec le café ; elles utilisent peu d'intrants, et la fertilisation est organique. La prévalence des maladies est faible.

GROUPE 5		
MODALITÉS	p.Value	Weight
Fertilisation Organique	1,00	6
Municipalité Calarcá	1,00	14
Relief en pente	1,00	14
Culture alternée avec le café	1,00	2
Pas de bacteriose	1,00	32
Faible usage des intrants chimiques	0,98	45
Faible usage des intrants organiques	0,98	45

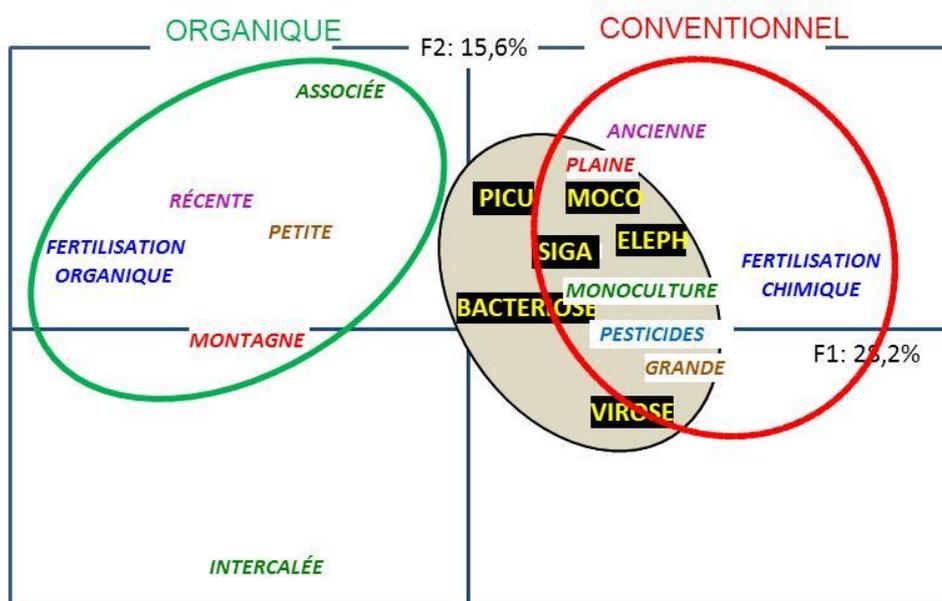


Figure 4 : Projection des variables renseignées au cours de l'enquête préliminaire dans 94 fermes de Colombie, dans le plan factoriel 1/2 d'une analyse en composantes multiples. Les variables qui caractérisent les systèmes conventionnels, à droite encerclées de rouge, se superposent largement à l'occurrence des maladies (en gris), indiquant un lien significatif.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

variables caractérisant les systèmes organiques peu intensifiés, à l'inverse, se projettent assez loin des maladies. PICU : charançons ; SIGA : sigatoka ; ELEPH : Elephantiasis ; MOCO : Rhalstonia. Les nématodes difficilement observables par les producteurs sont de fait présents partout. Leur effet s'ajoute à celui des autres maladies provoquant des phénomènes de verse.

L'analyse en Composantes Multiples regroupe les maladies et les parasites dans la partie droite du plan factoriel 1 et 2, suggérant ainsi qu'elles se développent le plus souvent ensemble.

La projection des variables décrivant les fermes (non illustrée dans la figure) confirme que les fermes de type 1 et 3 sont celles où l'occurrence des maladies est la plus forte, ce qu'indique leur projection près des variables représentant celles-ci. Ces fermes sont caractérisées par de fortes valeurs des variables décrivant l'intensification conventionnelle : monoculture, usage de pesticides, intrants chimiques, grandes exploitations en monoculture et contrôle chimique au semis (tableaux 3 à 7) .

Pour vérifier la signification statistique du lien direct suggéré par l'ACM entre l'application de pesticides et la prévalence des maladies, nous avons alors établi un indicateur de l'état sanitaire des plantations (obtenu en additionnant les taux de prévalence de chacune des maladies et atteintes parasitaires) et un indicateur d'application de produits phytosanitaires (défini comme le nombre des applications annuelles de toutes natures).

### Prévalence des maladies et attaques parasitaires

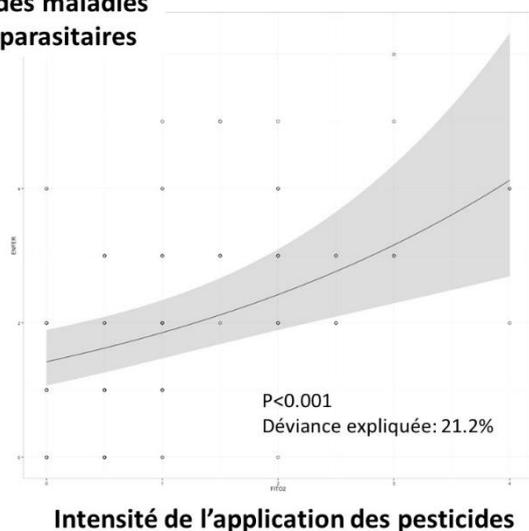


Figure 5 : Relation entre l'intensité des applications de pesticides (nombre total des applications annuelles diverses) et la prévalence des maladies (somme des indicateurs de prévalence en % de chacune des maladies recensées : sigatoka, rhalstonia, viroses, elephantiasis, bacteriose). La courbe représente la relation entre les deux indicateurs ; la zone en grisé, la part de variabilité liée à l'altitude (qui atténue naturellement l'effet des maladies).

Ces données ont été traitées avec un modèle mixte linéaire qui sépare l'effet (aléatoire) de la localisation géographique (altitude, topographie) représenté par la localisation dans une

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

municipalité défini, de l'effet fixe direct recherché, la corrélation entre l'application de pesticides et la prévalence des maladies (annexe ).

Ces indicateurs sont corrélés positivement de manière hautement significative, indépendamment de l'effet de l'altitude ou de la topographie ( $p < 0.001$  ; 13.5% de déviance expliquée). Il n'existe pas de lien entre la fertilisation chimique et les maladies et l'effet de l'altitude est marginal (7.7% de déviance expliquée en plus).

**Une relation aussi significative en dépit de la précision inévitablement limitée des données d'enquête utilisées, montre l'importance de l'effet mis en évidence.**

**Nous observons ainsi un lien très significatif entre la prévalence des diverses maladies et attaques parasitaires et l'application répétée des produits phytosanitaires particulièrement répandue dans les grandes monocultures de plaine**

**C'est donc bien l'usage des pesticides qui, dans ces plantations, favorise la prévalence des maladies. Ces applications sont plus fréquentes dans les zones de plaine où se pratique la monoculture alors que le climat plus frais et les conditions différentes dans les zones montagneuses rendent plus difficile l'adoption de techniques intensives. Il est intéressant de noter qu'aucun lien direct n'existe entre l'application d'engrais chimiques et l'état sanitaire des plantes.**

### **1.2 Diagnostics agroécologiques:** Des plantes plus saines dans un sol de qualité?

On a mesuré dans un sous ensemble de 20 exploitations représentatives de chacune des régions étudiées, les caractères chimiques, physiques et biologiques du sol et l'occurrence des maladies. La sélection s'est faite en choisissant des fermes appartenant aux différentes catégories mises en évidence au cours de l'enquête.

Méthodes utilisées.

L'objectif de ces analyses est de montrer quels paramètres physiques, chimiques et biologiques des sols, sont les plus liés à l'occurrence des maladies. Nous avons pour ce faire mesuré dans un sous échantillon de 20 fermes dans chaque pays 5 sous-ensembles de variables :

**Chimiques** : teneurs du sol en C, N et macronutriments (Ca, Mg, P ...),

**Physiques** : propriétés hydriques, mesures de résistance tangentielle à la coupe et à la pénétration, densité apparente, texture ;

**Biologiques** : densité des 16 ordres principaux de macrofaune, mycorhizes

Macroagrégation du sol : proportions relatives de macroagrégats d'origine biologique, physique ou racinaire et sol non agrégé (Velasquez et al., 2007).

**Sanitaires** : occurrence des maladies et parasites, nématodes phytoparasites

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Les fermes colombiennes sont par ailleurs définies par leur type de **système de production** défini dans les tableaux 2 à 6.

Les variables mesurées diffèrent partiellement entre les deux pays, suivant la disponibilité des techniques nécessitées.

Des analyses multi variées (ACP) permettent de repérer les grandes tendances de chacun des jeux de données et de tester l'effet de grandes options dans les systèmes de production, par ex. l'usage de plants sains vs. rejets locaux, ou du précédent cultural à la Guadeloupe en utilisant le test de Monte Carlo « between » du programme ade4 sous R.

Dans une deuxième étape, des indicateurs synthétiques constitués à partir de ces jeux de données (méthode de Velasquez et al., 2007) permettent d'évaluer dans un intervalle de 0,1 à 1,0 la valeur du système pour chacun de ces critères, physique, chimique, macrofaune et mycorhizes et état sanitaire des plantes.

Pour chaque ferme, les indicateurs ont été réunis dans un diagramme « radar » qui affiche visuellement les forces et les faiblesses de chaque exploitation. Ces résultats ont été présentés et discutés avec les exploitants au cours de plusieurs réunions destinées à réfléchir sur les systèmes utilisés et les alternatives possibles (Figure 6).

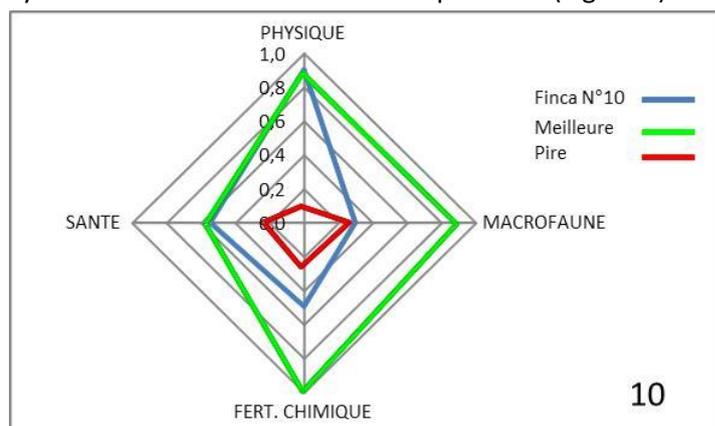


Figure 6 : Exemple de diagnostic agroécologique (ferme n°10 en Colombie, en bleu, comparé avec la ferme qui eut le meilleur total des indicateurs en vert et le pire, en rouge).

Cette ferme se caractérise par des valeurs des indicateurs de santé des plantes et état physique du sol comparables à celles de la meilleure ferme, une fertilité chimique médiocre et une macrofaune du sol fortement réduite. L'usage important de pesticides permet un contrôle instantané des maladies donnant un indicateur sanitaire satisfaisant, aux dépens de la macrofaune décimée par ces mêmes produits.

Une analyse globale de l'ensemble des indicateurs dans toutes les fermes de Colombie et de la Guadeloupe teste les relations entre ces indicateurs.

# ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

## Analyse des résultats

### Colombie

Les indicateurs mesurés dans chacune des 20 fermes montrent une grande diversité de situations (Tableau 8 ; Figure 7). D'une façon générale, l'indicateur « Maladies des plantes » de prévalence globale des maladies et parasites s'oppose sur l'axe 1 de l'ACP aux indicateurs de qualité physique, chimique et biologique (macrofaune), et sur l'axe 2, à la macrofaune (Figure 8). C'est la confirmation que l'état sanitaire des plantes tend à être meilleur dans un sol de bonne qualité, et qu'une macrofaune abondante est liée à un état sanitaire meilleur.

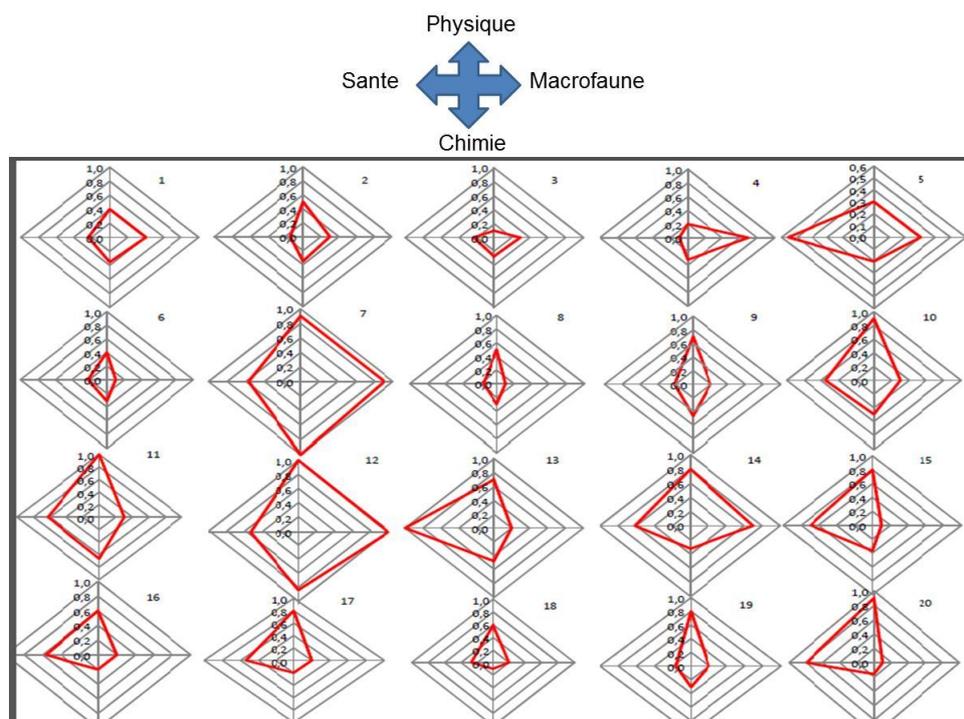


Figure 7: Profils des 20 fermes de Colombie en fonction des 4 indicateurs synthétiques calculés.

ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Tableau 8 : Valeur des divers sous indicateurs de qualité chimique (Chim) et Physique (Phys) du sol, communauté de macroinvertébrés (Macrof) et macroagrégation (Morpho), indicateur général de la qualité du sol qui les combine (GISQ) et indicateur de santé (Phyto) des plantes. MUN(Municipalités) : BUEnavista ; PIJão ; TEBaida ; QUImbaya ; MONTenegro ; CALarca

MUN	N° de la ferme	Système de Production	Morpho	Chim	Macrof	Phys	Phyto	GISQ
BUE	1	1	0.67	0.21	0.74	0.4	0.78	0.69
BUE	2	1	0.34	0.44	0.79	0.5	0.54	1.38
PIJ	3	3	1	0.27	0.78	0.1	0.25	0.15
PIJ	4	3	0.87	0.31	0.79	0.2	0.4	0.43
TEB	5	3	0.83	0.2	0.76	0.3	0.42	0.43
TEB	6	2	0.41	0.23	0.62	0.42	0.9	0.86
QUI	7	2	0.21	1	1	0.86	0.13	2.65
TEB	8	4	0.69	0.33	0.6	0.46	0.82	0.7
MON	9	2	0.49	0.4	0.74	0.68	0.84	1.33
QUI	10	2	0.48	0.55	0.84	0.86	1	1.78
QUI	11	1	0.15	0.75	0.64	1	0.1	2.24
QUI	12	2	0.4	0.76	0.89	0.95	0.22	2.21
MON	13	1	0.45	0.42	0.1	0.66	0.58	0.73
CAL	14	3	0.1	0.32	0.91	0.79	0.22	1.93
CAL	15	3	0.35	0.32	0.85	0.77	0.1	1.59
CAL	16	3	0.21	0.21	0.87	0.6	0.31	1.46
MON	17	1	0.66	0.26	0.6	0.77	0.67	0.97
MON	18	1	0.72	0.1	0.49	0.57	0.73	0.45
ARM	19	1	0.14	0.38	0.7	0.81	0.22	1.75
ARM	20	2	0.23	0.33	0.7	0.89	0.75	1.69

Deux faits sont à noter particulièrement :

Même si l'effet du type de système de culture explique 26% de la variance ( $p = 0,07$ ), il existe à l'intérieur de chaque type une grande variabilité et c'est seulement le long de l'axe 2 (19.4% de variance expliquée) que se sépare nettement le type 3 plus franchement organique et peu intensif, des types 1, 2 et 4 moyennement ou fortement intensifiés.

La macrofaune du sol y est abondante et l'indicateur de maladies moins élevé.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

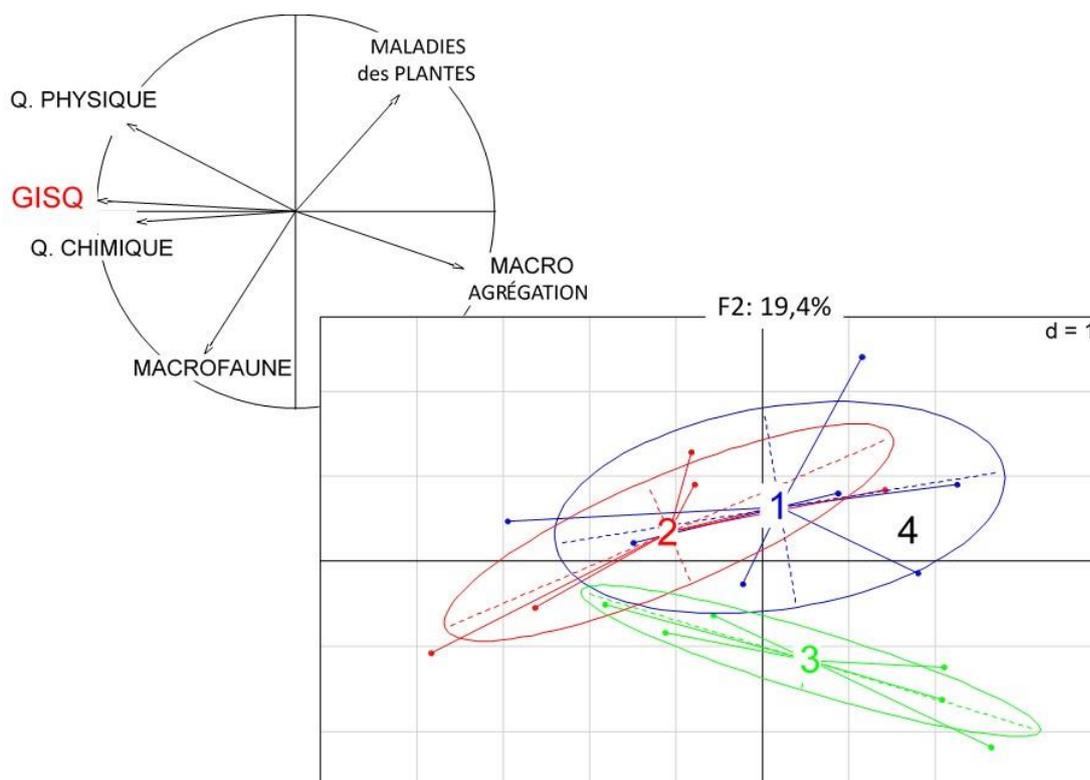


Figure 8 : Ordination des 20 fermes (regroupées en 4 systèmes de production (v. Tableaux 3 à 7) représentatives de Colombie en fonction des sous indicateurs de qualité du sol (Fertilité chimique, qualité physique, macroagrégation et macrofaune du sol , de l'indicateur générale GISQ qui les regroupe et de l'indicateur de maladies des plantes. L'axe horizontal 1 de l'ACP sépare vers la gauche les fermes où la qualité des sols est la meilleure ; l'axe vertical 2 sépare le type 3 (petites exploitations où l'usage des pesticides est absent ou restreint) des types intensifs 1, 2 et 4 où l'application de pesticides est moyenne à importante. Dans le type 3, la macrofaune du sol est plus abondante et l'état sanitaire meilleur.

L'application du modèle linéaire généralisé à ces interactions montre une corrélation positive ( $r=-0.38$  ;  $p=0.09$ ) entre l'indicateur de maladies (Maladies des plantes) et l'indicateur général de la qualité du sol (GISQ, calculé à partir de ses 4 sous indicateurs Macrofaune, Physique, Chimie et Morphologie). Les corrélations de l'état sanitaire avec chacun des sous indicateurs, même si elles sont positives, ne sont pas significatives.

Ce résultat suggère que l'hypothèse que les plantes sont plus saines quand le sol est de meilleure qualité globale est vérifiée. Un échantillon de fermes plus large aurait sans doute donné des résultats plus significatifs.

A la Guadeloupe, la même démarche scientifique montre l'importance primordiale du précédent cultural pour la prévalence des maladies (Figures 9 et 10). Le taux de nécroses racinaires et le nombre de charançons piégés tendent à être moins élevés dans les précédents ananas et culture pérenne (Figure 9). L'indicateur de santé (« MALADIES ») et la production sont plus élevés dans les parcelles ayant eu un précédent de culture d'ananas ou une jachère que les cultures pérennes ou celles ayant eu un précédent de banane dessert (Figure 10).

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

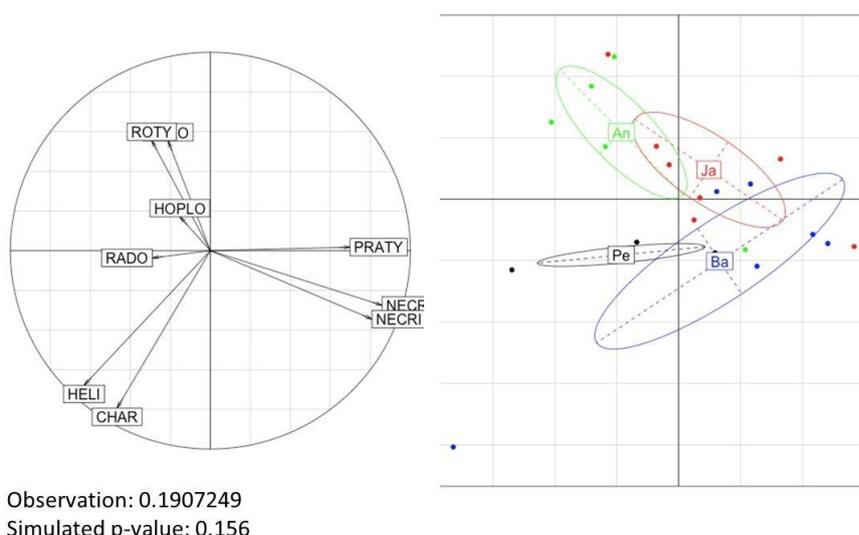


Figure 9: Projection des divers parasites et intensité des nécroses observées (cercle de corrélation) et des points en fonction des précédents culturaux. ROTY : *Rotylenchus*, PRATY : *Pratylenchus*; HELI : *Helicotylenchus*; RADO : *Radopholus*; CHAR : Charançons; NECR : Nécroses racinaires. Précédents : Ba : banane ; Pe : Culture pérenne ; Ja : jachère ; An : ananas.

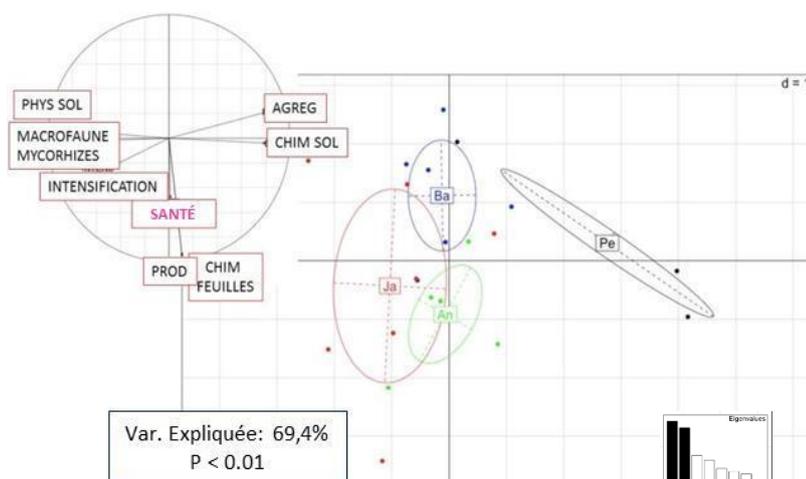


Figure 10: Projection des 20 exploitations de Guadeloupe (partie droite de la figure) regroupées en fonction du précédent cultural et des indicateurs qui les caractérisent (cercle de corrélation, partie gauche) dans le plan factoriel 1/2 d'une analyse en composantes principales. Ja : jachère ; An : culture d'ananas ; Ba : bananes ; Pe : cultures pérennes. L'effet des précédents est très significatif ( $P < 0.01$ ). les plantations pérennes se projettent sur l'axe 1 du côté de la fertilité chimique du sol, avec une bonne agrégation (AGREG), mais la qualité physique du sol et sa biodiversité sont inférieures. Le précédent ananas et, dans une moindre mesure, jachère, est lié à la meilleure production et qualité chimique des feuilles, avec une prévalence moindre des maladies.

L'occurrence des maladies est ici indépendante de la qualité biologique et physique du sol (importantes dans la définition de l'axe horizontal 1) et est associée au précédent cultural et à

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

la production, avec de meilleurs résultats de production avec le précédent ananas tandis que le précédent bananes apparaît comme l'option la moins efficace.

Dans le détail, on note les effets significatifs suivants :

1. Un effet des niveaux d'intrants (engrais chimique et pesticides) sur la macrofaune et sur les nématodes (Figure 11).

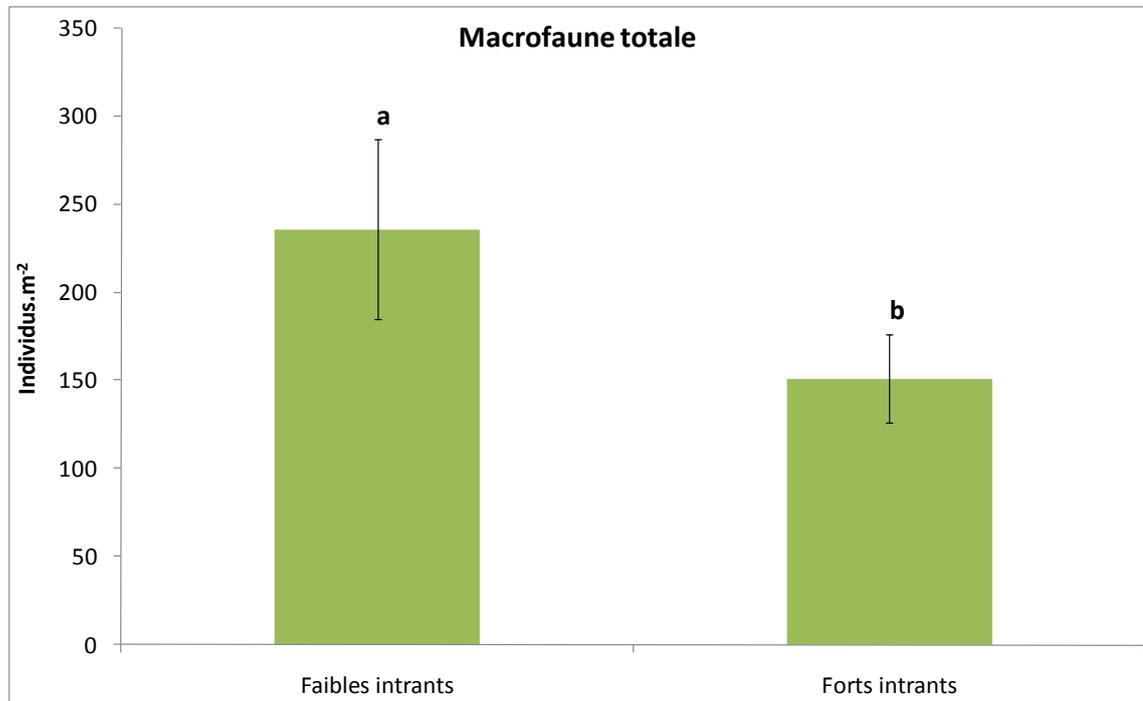


Figure 11 : Peuplements de macrofaune du sol des exploitations de Guadeloupe en fonction des niveaux d'intrants chimiques.

2. Une plus grande abondance des nématodes les plus virulents pour la banane *Pratylenchus* et *Radopholus* dans les précédents banane (Figure 12) et avec de forts niveaux d'intrants (Figure 13)

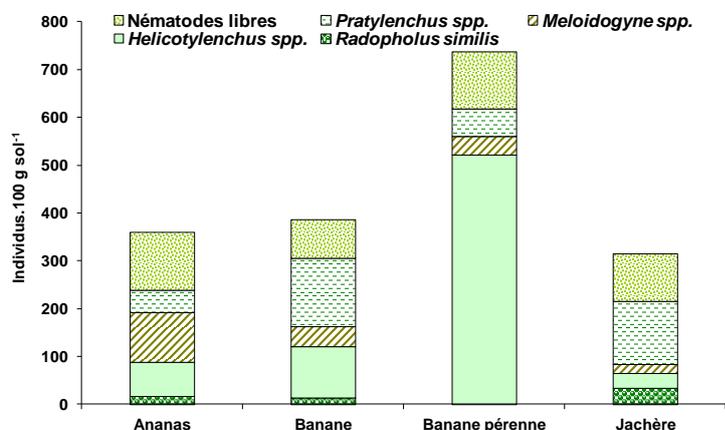


Figure 12 : Abondance moyenne des nématodes en fonction du précédent cultural dans les 20 fermes soumises au diagnostic agroécologique à la Guadeloupe

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

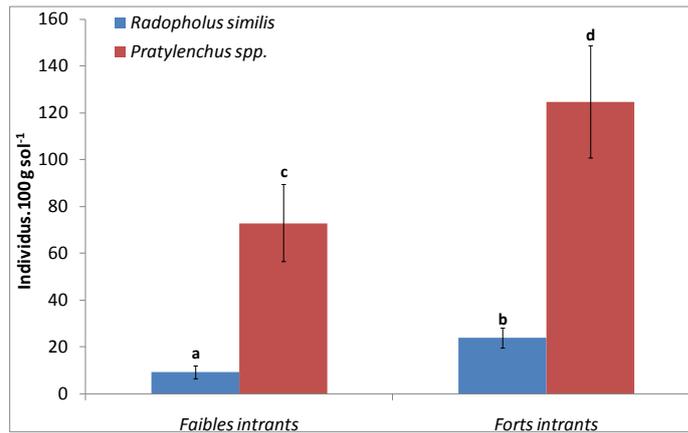


Figure 13. Composition et abondance des peuplements de nématodes en fonction des niveaux d'intrants.

Des taux de nécrose racinaire supérieurs dans les plantations suivant un précédent de banane et inférieurs avec un précédent d'ananas (Figure 14).

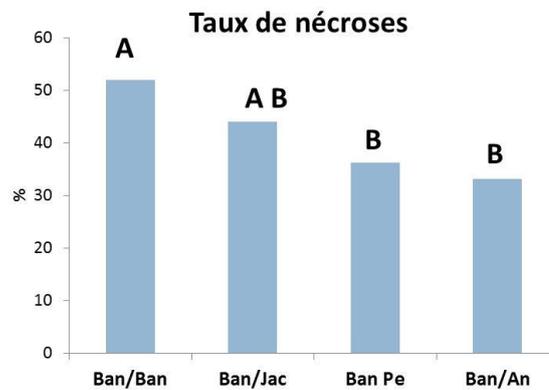


Figure 14 : Taux de nécrose racinaire observés dans les 20 plantations analysées à la Guadeloupe en fonction du précédent.

Et des densités de charançons également plus élevées dans le précédent banane ou dans la culture pérenne que dans le précédent ananas (Figure 15).

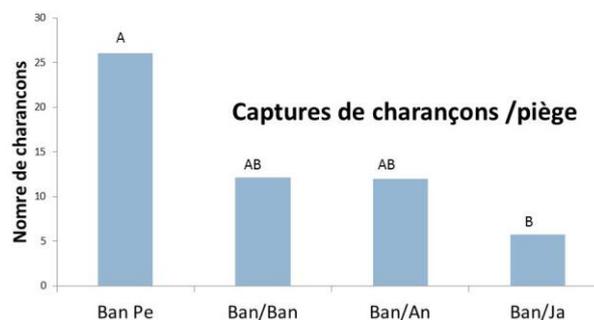


Figure 15 : Abondance relative des charançons en fonction du précédent cultural dans les 20 fermes analysées en Guadeloupe.

La comparaison des situations entre les deux pays confirme la valeur pratique de l'option adoptée à la Guadeloupe de renouveler les plantations à chaque cycle et de pratiquer des rotations, même si le coût économique la rend inapplicable en Colombie. Il montre aussi, en Colombie où les plantations sont pérennes, l'importance générale de la qualité du sol avec particulièrement, une opposition claire entre la fréquence des maladies et la présence d'une macrofaune active dans le sol.

## Phase 2 : Expérimentation d'options techniques alternatives

Les diagnostics réalisés pour chaque ferme ont été analysés et discutés en détails au cours de réunions entre producteurs et scientifiques indiquant diverses pistes pour l'innovation technique :

1. Le renforcement des apports organiques pour améliorer l'activité biologique globale (mycorhizes et macrofaune) et la qualité générale chimique et physique du sol.
2. L'usage de plantes de service, particulièrement pour assurer une bonne couverture du sol et lutter contre les adventices .
3. L'usage de plants sains pour éviter la transmission des maladies.

En Colombie, l'expérimentation compare le système conventionnel qui utilise des engrais chimiques et le désherbage chimique avec diverses versions du système agroécologique de Fertilisation Bio Organique (FBO®)(Figure 16) :

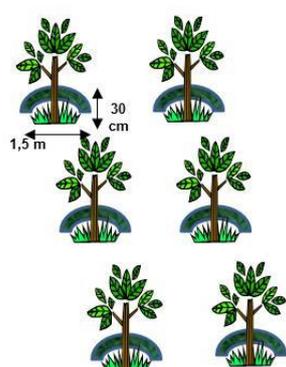
F : la méthode originale avec apport organiques et inoculation de vers de terre ;

FL : méthode FBO avec apport de lixiviats de troncs de bananiers en décomposition ;

FM : méthode FBO avec inoculation de mycorhizes (préparation industrielle) ;

FML : FBO avec apports de lixiviats et inoculation de mycorhizes.

Dans le fond des tranchées de 1,50m de long, 30 cm de large et 45 cm de profondeur, creusées en demi cercle à 50 cm du pied des plantes, on place de la matière organique de lente décomposition (13,5 kg de branchages de *Gliricidia sepium*). On le recouvre de sol et, dans les 10 derniers centimètres, on effectue un mélange de sol avec 18 kg de fumier de bovin. On apporte ainsi pour chaque plante 180g de N, 46g de  $P_2O_5$  et 112g de  $K_2O$  en moyenne.



Disposition des tranchées au pied des arbres



Détail de l'organisation des tranchées

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Figure 16 : Mise en œuvre sur le terrain de la méthode de Fertilisation Bio Organique (FBO®).

Les résultats de l'expérimentation non encore totalement dépouillée au moment d'écrire ce rapport montrent une forte augmentation de la densité de macroinvertébrés dès les 6 premiers mois, une forte augmentation de la macroagrégation du sol dans les tranchées et un maintien de la production au niveau de celle des systèmes conventionnels usant des produits agrochimiques (Figure 17).

Une analyse des peuplements de nématodes dans les divers agrégats du sol montre une forte diminution des nématodes parasites dans les agrégats biogéniques produits par les vers de terre, en comparaison avec les agrégats produits pas des processus physiques et le sol non agrégé. Les vers de terre en consommant le sol ont tendance à le nettoyer de ses parasites rétablissant un équilibre entre les populations de nématodes phytoparasites et les saprophages considérés comme bénéfiques.

On constate également que la production s'est maintenue au niveau de celle mesurée dans le système conventionnel dans les diverses options agroécologiques. La méthode FBO utilisée apparaît donc comme une option efficace pour passer sans problème d'un système conventionnel à un système totalement organique.

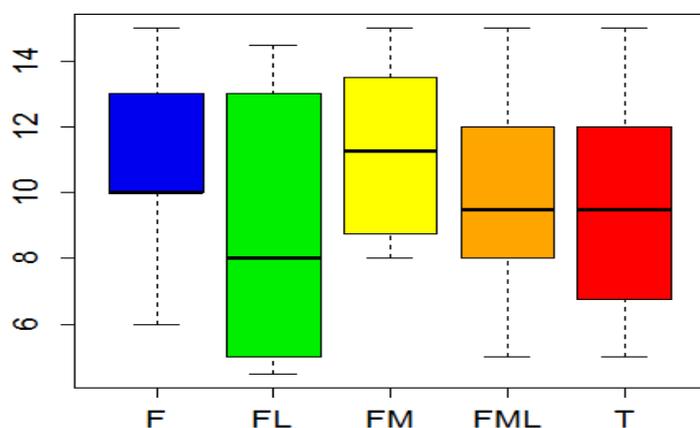


Figure 17 : Poids moyen des régimes récoltés dans l'expérimentation à la ferme en Colombie. T : témoin conventionnel, F : méthode FBO simple, FL : FBO + application de lixiviats de troncs, FM : FBO + mycorhizes ; FML : FBO + mycorhizes et lixiviats. (Différences non significatives).

**En Guadeloupe**, un projet parallèle (BANABIO) a permis la réalisation d'une expérimentation supplémentaire en station expérimentale, qui prend en compte :

- la nature des plants, (B : « baïonnettes » issues de la plantation vs. P : plants sains issus de la fragmentation du bourgeon apical produites par la technologie PIF Plantes Issues de Fragments),

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

- la méthode de contrôle des adventices (H ou PN) : herbicide (H) vs. couvert de *Paspalum notatum* (PN);
- le contrôle chimique des nématodes (NI)
- l'usage d'engrais organiques (Vermicompost VC) vs. Chimiques (EC).

Dans l'impossibilité pratique de tester toutes ces options individuellement dans un protocole factoriel, nous les avons associées dans 8 traitements qui représentent une évolution progressive depuis le système (B/EC/H/NI) qui associe toutes les options conventionnelles à un système qui associe les 3 options agroécologiques (P/VC/PN) avec des intermédiaires comprenant une (B/VC/H, B/EC/PN/NI) ou deux (B/VC/PN, P/VC/H, P/EC/H, P/EC/PN) options agroécologiques.

Certaines options favorisent la production, probablement en limitant l'incidence du parasitisme ; c'est le cas principalement de l'utilisation de plants sains (17% de la variabilité expliquée par ce traitement,  $p=0,003$ ). D'autres options participent plus à l'amélioration de la qualité biologique du sol (mycorhizes et macroinvertébrés) comme l'application de vermicompost (10% de variabilité expliquée,  $p=0,06$ ) mais c'est la couverture de *Paspalum* qui a le plus d'impact sur ces indicateurs (12% de la variance expliquée,  $p=0.03$  ; Figure 18), tandis

ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

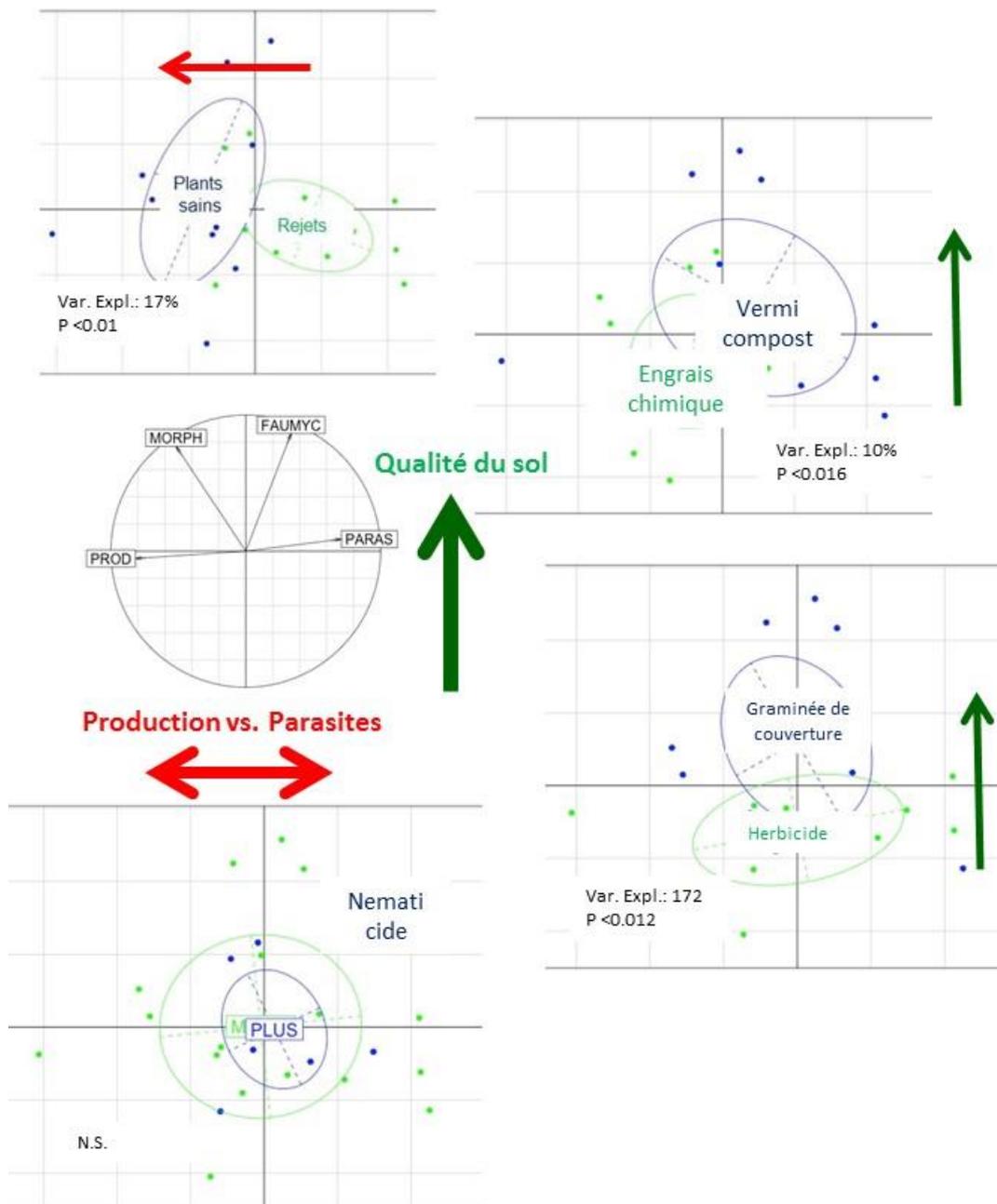


Figure 18: Effet des diverses pratiques agroécologiques sur la production et la densité de parasites (axe 1 horizontal) et la qualité du sol (axe 2 vertical). Les points représentant les répétitions expérimentales sont regroupés pour tester 4 hypothèses, de a à d. Si l'usage des plants sains (a) et, dans une moindre mesure, d'engrais chimique (b), favorise la production, l'application de nématicides (d) n'a aucun effet. L'usage des plantes de couverture (c) et l'application de vermicompost (b) augmentent la densité de la macrofaune du sol et des mycorhizes (indicateur « FAUMYC ») et améliorent la macroagrégation biologique du sol (indicateur « MORPHO »). Var.ex. : % de variance expliquée par l'effet testé.

**A la Guadeloupe**, la seconde, un pilote de démonstration en station expérimentale, compare deux options : « conventionnel vs. Agroécologique » chez les producteurs. Ce dernier associe l'usage de plants sains (« PIF », la fertilisation avec du vermicompost et une plante de couverture, la légumineuse herbacée *Arachis pintoï* (Figure 19)

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Les options agroécologiques ont stimulé la macrofaune du sol et la macroagrégation liée à son activité. On observe en corollaire une disparition des nématodes parasites du genre *Radopholus*, le plus agressif des phytoparasites et une augmentation des nématodes libres.

La production diminue légèrement, mais cette différence n'est pas significative (Figure 20)

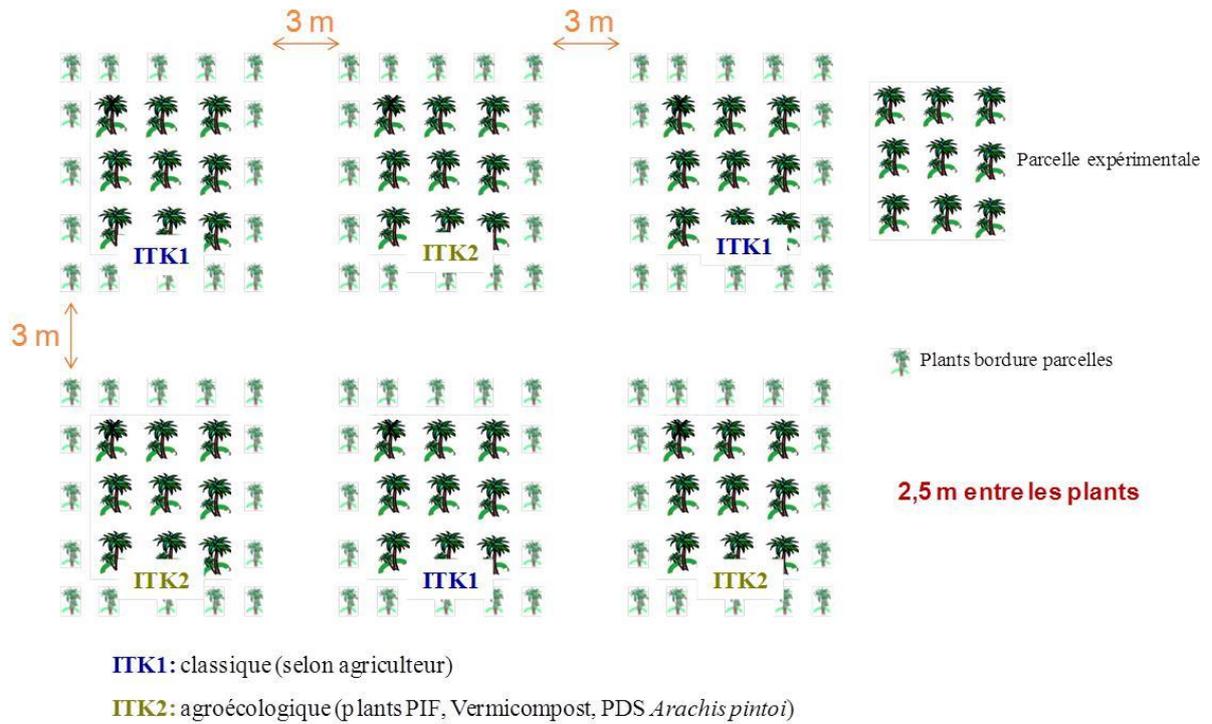


Figure 19 : Plan de l'expérimentation de démonstration menée à la Guadeloupe.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

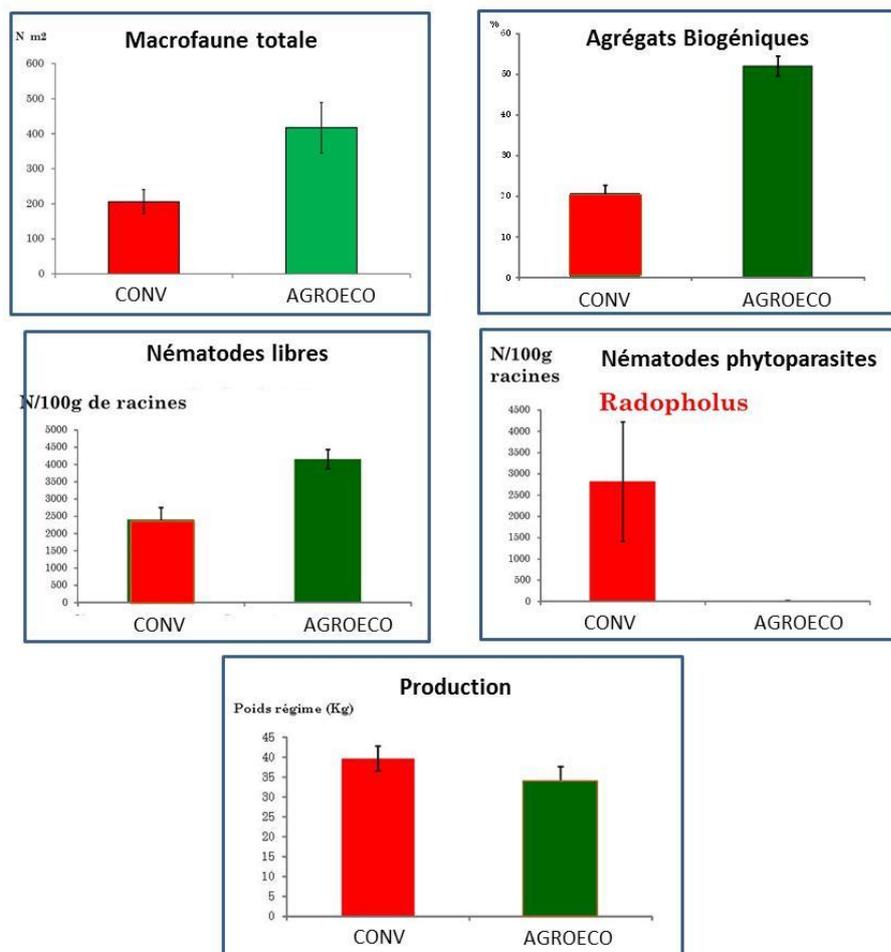


Figure 20 : Effet des options agroécologiques testées dans l'expérimentation de la Guadeloupe sur la macrofaune, l'agrégation du sol, les nématodes et la production

Les diverses options testées dans nos expérimentations offrent des solutions intéressantes pour le contrôle des parasites telluriques. La technique des plants issus de fragments testée en Guadeloupe a montré une grande efficacité dans ce domaine. Les autres options envisagées (vermicompost, plantes de couverture), ainsi que la technique FBO mise en place en Colombie, ont montré un grand potentiel à restaurer la qualité biologique et physique du sol. Cette reconstitution du capital de sol devrait permettre à moyen terme une réduction de la sensibilité des plantes aux maladies : dans nos expériences, la mauvaise santé relative des plantes est associée à un meilleur développement des peuplements de macrofaune du sol.

La production a été maintenue au niveau de celle des systèmes conventionnels, ce qui permet d'envisager des transitions assez rapides des systèmes conventionnels vers les systèmes agro écologiques.

Notons aussi dans ces expériences, l'observation d'un effet nul des nématicides sur les parasites ciblés.

### Phase 3. Comment stimuler l'adoption des technologies agroécologiques ? Politiques publiques

Les recherches effectuées ont eu trois objectifs :

- identifier les critères déterminants pour le processus d'adoption des innovations agroécologiques
- Analyse de l'attitude des producteurs face à la proposition d'alternatives agroécologiques pour leur processus de production ;
- Savoir ce qui motiverait les producteurs à adopter ces alternatives .

Des séminaires ont été organisés dans les deux sites pour présenter les résultats des diagnostics et des expérimentations. L'attitude des producteurs face à l'innovation et les conditions pour leur adoption ont été ensuite analysées suivant deux approches différentes et complémentaires, centrées sur la perception et les conditions qui conduiraient à l'adoption en Colombie, sur une analyse économique en Guadeloupe

En Colombie, une première enquête analyse l'attitude des producteurs vis-à-vis de l'usage des pesticides et des méthodes de contrôle (Figure 21).

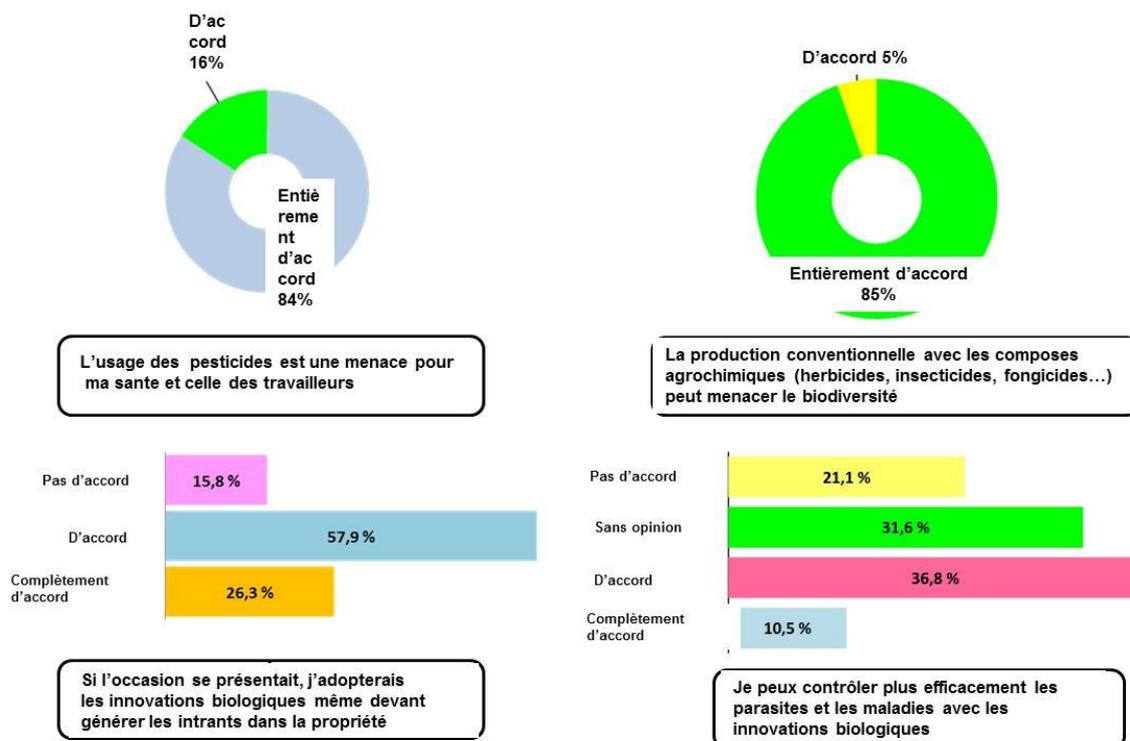


Figure 21 : Attitudes des producteurs vis à vis de la problématique du contrôle chimique et des alternatives possibles.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Il ressort que l'effet nuisible des pesticides sur la biodiversité et la santé humaines sont reconnus unanimement et plus de 80% des producteurs sont prêts à adopter les innovations biologiques proposées. Cependant 47% seulement d'entre eux sont convaincus que ces innovations fonctionneraient alors que 21,1% pensent que ces méthodes ne seraient pas efficaces et 31,6% n'ont pas d'opinion. En l'absence d'une enquête *ex ante*, on ne peut pas évaluer l'impact qu'a eu le projet sur l'évolution de la perception des agriculteurs.

Une analyse des préférences des producteurs et autres parties prenantes de Colombie par la méthode de modélisation multicritères NAIADÉ<sup>2</sup>, montre un rejet du modèle conventionnel, classé en dernière position de la liste de 7 options proposées. Le système le mieux classé est un système mixte qui associe l'élevage (pour la fourniture d'engrais organique à la ferme et les revenus complémentaires) à l'agriculture. Viennent ensuite des systèmes mixtes (associant diverses cultures, café et banane principalement) avec usage de ressources organiques produites à la ferme (compost, engrais vert), des systèmes basés sur une gestion précise des couvertures végétales (couverture herbacée pour contrôler les adventices, haies vives de légumineuses arbustives comme source d'azote et protection du vent, plantes cibles pour les nématodes). Le système FBO expérimenté dans 3 des 20 fermes vient en 4<sup>e</sup> position. Il est reconnu comme une bonne méthode pour restaurer un sol dégradé, mais très coûteuse en main d'œuvre dans sa version actuelle où aucune option motorisée n'est disponible pour creuser les tranchées. Les systèmes utilisant des engrais organiques achetés sur le marché qui viennent ensuite sont encore préférés au système conventionnel (Figure 22).

Le résultat sans doute le plus frappant de cette analyse est la relative homogénéité des perceptions mesurée entre les diverses parties prenantes (scientifiques, agriculteurs, autorités environnementales, vendeurs d'engrais organiques, gouvernement), avec quelques petites différences dans les perceptions et un enthousiasme un peu moins marqué pour les options agroécologiques par les milieux gouvernementaux que par les autres.

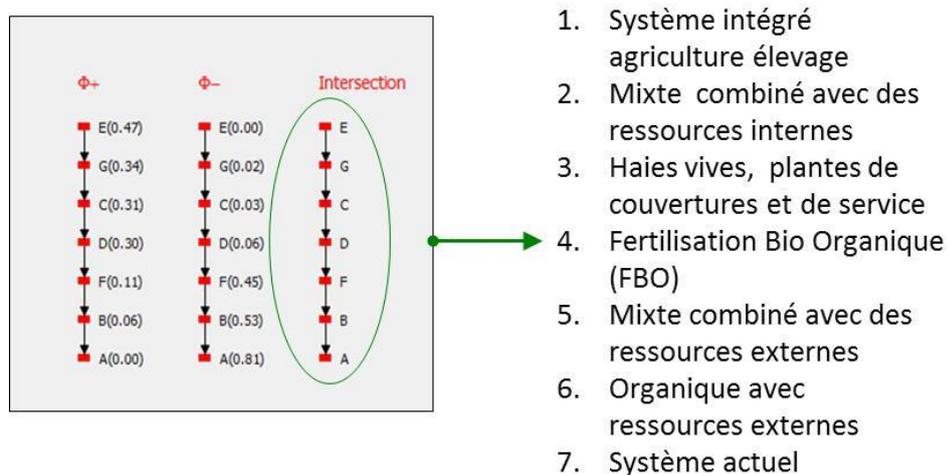


Figure 22 : Synthèse des préférences des divers systèmes de production par les divers groupes de parties prenantes : producteurs, milieu académique, décideurs, fournisseurs d'engrais organiques et autorité environnementale.

<sup>2</sup> Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments) : un outil multi-échelle et multicritère

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

La motivation personnelle pour franchir le pas de l'adoption est principalement le souci de ne plus dégrader l'environnement (35,8%), une reconnaissance de la société tout en utilisant des ressources propres non encore mobilisées (15,8%), l'harmonie avec le voisinage et l'élimination du risque pour la santé (10,5% chacun) (Figure 23).

### Motivations Intrinsèques

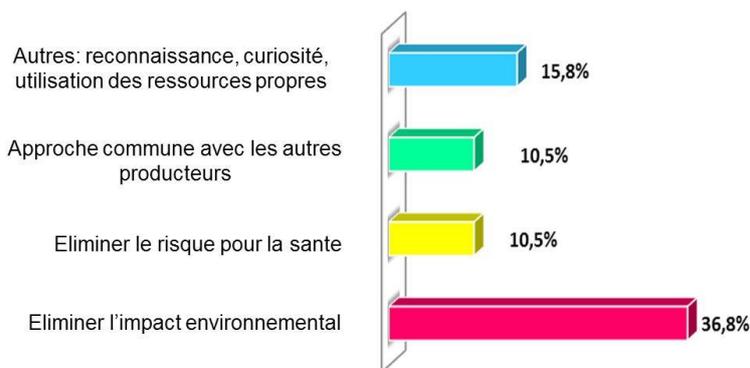


Figure 23: Analyse des motivations personnelles des producteurs pour une adoption des pratiques agro écologiques.

Les principales conditions extérieures qui permettraient de franchir le pas sont, sans surprises, l'existence de politiques publiques de soutien au financement, direct ou indirect des surcoûts liés à l'installation des techniques à la formation des producteurs et à la recherche d'options à chaque fois plus performantes. L'obtention d'une meilleure production figure aussi parmi les priorités (Fig. 24 ).

### Motivations Extrinsèques

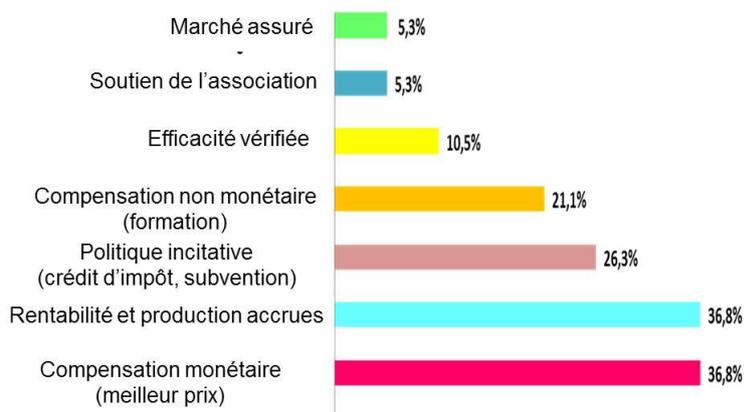


Figure 24 : Analyse des éléments extérieurs qui pousseraient les producteurs Colombiens à adopter les alternatives de production agro écologiques.

**En Guadeloupe**, avec une méthodologie différente (choix expérimental), deux enquêtes différentes ont permis d'analyser les motivations techniques et les freins économiques aux

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

systèmes de cultures innovants et les leviers socio-économiques et les appuis possibles à l'innovation. Pour la première enquête, les « attributs » retenus par les producteurs sont le caractère innovant des techniques, le gain de productivité permis par la possibilité de faire deux cultures successives sans avoir à replanter au lieu d'une seule, le travail supplémentaire et le coût de la mise en œuvre (tableau 9). PIF : Plants sains Issus de Fragments, PDS : plantes de service, VMC : vermicompost.

Tableau 9 : Attributs utilisés pour la Choice Experiment « motivation technique et freins économiques aux innovations »

Attributs	Description	Niveaux
Système de culture innovant	Nouvelles pratiques culturales dans la production de Banane Plantain en Guadeloupe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIF</li> <li>• PDS</li> <li>• VMC</li> </ul>
Gain de Productivité	Allongement de la durée de bananeraie productive	<ul style="list-style-type: none"> <li>• + 1 cycles</li> <li>• + 2 cycles</li> </ul>
Travail Supplémentaires	Quantité de travail supplémentaires accompagnant l'adoption de l'innovation par hectare engagée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• + 20j/ha/an</li> <li>• + 40j/ha/an</li> </ul>
Coût de mise en œuvre	Coût de mise en place de l'innovation par hectare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1000 €</li> <li>• 2500 €</li> </ul>

Après avoir décomposé toutes les opérations techniques aboutissant à la réalisation des innovations, on obtient les coûts de production figurant dans le tableau 10.

Tableau 10 : Coût de production des innovations proposées

Innovations	€/unité	Coût de la mise en place sur une parcelle de plantain d'un hectare
<b>Plants sains</b>	2,27 € par plant	4540 €
<b>Vermicompost</b>	376 € la tonne	451 €
<b>Plante de couverture</b>	0,51 € le mètre carré	2772 €

Les innovations impliquent divers types d'investissements. La plupart d'entre eux requièrent plus de main d'œuvre, certains autres, plus d'intrants (Tableau 11) .

Tableau 11 : répartition du coût de ces innovations, demandeuse en main d'œuvre

	Plants sains	Vermicompost	Plante de service
<b>Intrants annuels</b>	44 %	3 %	13 %
<b>Equipements</b>	7 %	4%	5 %
<b>Main d'œuvre</b>	49 %	93 %	82 %

On remarque, à l'exception des plants sains, que la diminution de la consommation d'intrants chimiques extérieurs qu'ils permettent est compensée par une augmentation du temps de travail et de présence au champ.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

La marge nette de l'exploitant, même si elle diminue, ne varie que faiblement. L'augmentation des coûts, due à la plantation de plants assainis ou à l'installation de plantes de service, s'amortit sur un plus grand nombre d'année du fait de l'allongement des durées productives des bananeraies.

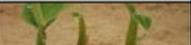
Tableau 12 : Attributs et leurs niveaux pour la Choice Experiment « appuis à l'innovation, leviers socio-économiques »

Attributs	Description	Niveaux
Conseil technique	Service d'animation et d'accompagnement technique gratuit, par hectare engagé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individuel</li> <li>• Collective</li> </ul>
Mesures agro-environnementales	Montant reçu chaque année par l'agriculteur pour le bien fait de l'environnement, par hectare engagé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0€/ha/an</li> <li>• 1000€/ha/an</li> </ul>
Préfinancement intrants innovation	Montant versé initialement aux adopteurs, par hectare engagé.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25%</li> <li>• 50%</li> </ul>
Mode d'accès à l'innovation	L'accès aux systèmes de culture innovant proposé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prestation extérieure</li> <li>• Sur l'exploitation</li> </ul>

Une fois les attributs et leurs modalités fixés (tableau 12) , le logiciel d'analyse conjointe crée un nombre de profils défini qui seront mis en comparaison deux à deux dans les cartes de choix (Tableau 13). Chacun des 72 répondants a répondu aux cartes de choix des deux « Choice Experiments » traitant respectivement des motivations techniques et freins économiques et des leviers socioéconomiques pouvant appuyer l'innovation.

Tableau 13 : Exemple de carte de choix pour la choice experiment « motivation technique et freins économiques à l'innovation »

Comparaison 6

Système de culture			Je préfère conserver mes pratiques actuelles
	Vermicompost	PIF	
			
	+1 cycle	+2 cycles	
Gain de productivité			
Travail supplémentaire			
	+ 40 jours /ha /an	+ 40 jours /ha /an	
Coût de mise en œuvre			
	1000 €	2500 €	
Cochez votre option préférée			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Il ressort que globalement les agriculteurs de Guadeloupe sont prêts à innover en adoptant les PIF qui allongeraient idéalement la durée de leur bananeraie de deux ans et une fertilisation organique avec du vermicompost. Ces innovations ne devraient pas apporter un travail supplémentaire supérieur à 20 jours et un coût de mise en place supérieur à 1000 € pour un hectare planté.

Les planteurs de banane plantain de Guadeloupe ont opté pour un appui à l'innovation. Cet appui doit être constitué d'un financement au titre de Mesure Agro Environnementale de 1000€ à l'hectare par an, un appui technique individuel à la ferme (très important), un préfinancement de 50% (moins important), et une innovation produite à la ferme.

**Ces enquêtes montrent l'intérêt que portent les producteurs pour les innovations proposées, pour des raisons économiques, mais aussi éthiques. Rejetant majoritairement le système de production qu'ils pratiquent actuellement, ils ne sont cependant pas tous persuadés que les options agroécologiques soient efficaces. L'adoption des innovations passe par le soutien par des politiques publiques à la formation des adoptants, à la recherche agroécologique pour renforcer des options aux résultats encore trop variables et à l'équilibre économique des exploitations.**

### IMPLICATIONS PRATIQUES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES, VALORISATION

- Implications pratiques

Le projet ALTERBIO a permis de faire une analyse détaillée, à l'échelle des régions et des fermes, des facteurs qui favorisent l'apparition des maladies. **Deux facteurs sont apparus dominants : l'âge des plantes et l'usage excessif des pesticides. Nous montrons pour la première fois une corrélation positive entre le taux d'application des pesticides et la prévalence des maladies.** Même si la proportion de variance expliquée par cette relation reste relativement faible, de l'ordre de 20% , c'est un résultat remarquable vu la grande diversité des situations considérées, des sols, du climat et des systèmes de production adoptés par les producteurs. L'usage exclusif des engrais chimiques qui garantissent une bonne production entraîne une dégradation des peuplements de macrofaune et de mycorhizes du sol, celle de la macroagrégation et, finalement, des propriétés physiques du sol. Le désherbage chimique tend à concentrer l'activité des parasites sur les plantes cultivées et les pesticides lorsqu'ils étaient appliqués, n'ont eu aucun effet. Il favorise de plus l'érosion superficielle du sol.

Les options agroécologiques proposées dans les expérimentations comprenaient l'usage de plants sains produits suivant une méthode utilisable à la ferme (PIF), la substitution partielle ou totale des engrais chimiques par leurs équivalents organiques (vermicompost, lixiviats de troncs de bananiers, fumier ou branchages de la légumineuse *Gliricidia sepium*) et l'inoculation d'organismes bénéfiques (mycorhizes et/ou vers de terre).

La communication régulière des résultats du projet aux producteurs et leur propre analyse développée au cours de plusieurs séminaires les a conduits à réévaluer leurs systèmes de

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

production et envisager l'adoption des options agro écologiques proposées. En Colombie, dès la présentation des résultats du premier diagnostic montrant l'impact nocif du désherbage chimique du pied des plantes, une réduction très forte de cette pratique a été obtenue avec l'appui de l'association régionale de producteurs. **Parmi les options proposées, l'usage d'engrais organiques et de plant sains issus de fragmentation sont les plus directement adoptables.** La méthode de fertilisation bio organique reconnue comme efficace pour restaurer la qualité des sols, a dans sa conception présente un coût en main d'œuvre très élevé. La mécanisation du creusement des tranchées devra être réalisée avec un outillage simple, adapté sur un motoculteur, à inventer pour rendre cette méthode plus accessible.

- Recommandations et limites éventuelles :

Le projet ALTERBIO a contribué à développer une conscience environnementale encore peu avancée, tant chez les producteurs que dans leurs associations. La présentation des indicateurs de qualité du sol et services écosystémiques a permis des discussions de groupe approfondies sur les défauts des systèmes conventionnels et des techniques agro écologiques - disponibles ou à développer comme alternatives- et sur les conditions de leur adoption. Il apparaît clairement que la condition principale pour une adoption rapide est la mise en place de politiques publiques adaptées. Si le coût d'une telle adoption peut paraître relativement élevé en Guadeloupe (1000€ par ha), le bénéfice obtenu par la productions de services écosystémiques et l'amélioration prévisible de la vie à la campagne qui en découlerait vaut certainement un tel investissement.

L'accélération du développement d'une agriculture moins dépendante des produits agrochimiques est nécessaire, pour toute sortes de raisons, écologiques, économiques et sociales. Sa mise en oeuvre dépend de l'action des décideurs et des personnes impliquées dans le développement des filières agroécologiques. Les chercheurs doivent impérativement travailler dans les exploitations en associant les producteurs aux expérimentations. Le secteur privé doit aussi investir dans ces techniques et ne plus dépendre dans de telles proportions de la commercialisation de produits agrochimiques chaque jour moins acceptés. Notre travail suggère que ces produits seront toujours nécessaires, mais en quantités beaucoup plus faibles : l'application d'une certaine proportion d'engrais chimiques d'assimilation rapide permet de compléter l'apport plus lent et moins prévisible dans le temps des composés organiques à des étapes cruciales de la croissance de la plante. De même, il est possible que certains parasites, par exemple les charançons, ne seront contrôlés efficacement dans certaines circonstances, que par un usage ciblé des produits de l'agrochimie ou de la biochimie.

D'un autre côté, les alternatives agroécologiques comme la technique de Fertilisation Bio organique pourraient être considérablement améliorée, avec un coût fortement diminué. Un effort conjoint de la recherche et du secteur privé, pourrait créer les outillages nécessaires au travail de creusement des tranchées, une rationalisation de la technique d'élevage des vers de terre endogés à inoculer et une connaissance précise de la dynamique spatiale et temporelle de la libération des nutriments à partir des apports organiques.

## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Finalement, un élément important, peu commenté dans ce rapport et en dehors, est le problème de la relève générationnelle. L'âge moyen des producteurs en Colombie est de plus de 50 ans et une faible proportion des enfants de ces producteurs se destine à ce métier. Ce fait est à mettre en relation avec le rejet exprimé dans les enquêtes pour le modèle présent d'agriculture, dangereux pour l'environnement et la santé. La nature même du travail de l'agriculteur « conventionnel » est de fait peu attractive, qui se contente d'appliquer les recettes proposées par les vendeurs de produits chimiques et dont les revenus sont déterminés par les fluctuations respectives des cours de ces produits et de celui de la banane. C'est la raison pour laquelle une agriculture utilisant les ressources « internes » pour la fertilisation et le contrôle des maladies est valorisée par la majorité des producteurs. La production et l'utilisation de ces ressources nécessite un savoir ample et la connexion avec une recherche plus vaste, régionalisée (comme les solutions qu'elle devra apporter) et proche de l'agriculteur. Leur mise en œuvre pourrait revaloriser l'image du métier des agriculteurs et favoriser le retour à la campagne de jeunes formés dans ces techniques.

Les politiques publiques devront améliorer la génération et l'accès aux technologies agroécologiques tout en soutenant les prix payés au producteur et en rétribuant la qualité du travail effectué, mesurée par la production de services écosystémiques utiles à la société, présente et future. Le Millennium Ecosystem Assessment (2005) a montré une diminution très importante du prix des aliments (évalués en 2000 à 40% du prix originel de 1960) et suggère que cette diminution s'est faite en grande partie au détriment du producteur. Ce fait est vérifiable dans la région Colombienne du Quindio où la simple observation des habitations et du parc automobile témoigne d'une brusque diminution du niveau de vie dans les 20 dernières années. Une revalorisation générale du niveau de vie des producteurs et de la qualité de vie en milieu rural est indispensable pour accompagner ce mouvement.

FICHES TECHNIQUES

  
SCIENCE & IMPACT

**UR 1321**

INRA Antilles-Guyane  
Domaine Duclos - Prise d'Eau  
97170 Petit-Bourg



Patrick LAVELLE  
(Université Pierre et Marie Curie / IRD),  
Elena VELASQUEZ  
(Université Nationale de Colombie),  
Yamileth CHAGÜEZÁ VILLARREAL  
(Université Nationale de Colombie),  
Angela LONDOÑO  
(Université Nationale de Colombie)

Email : patrick.lavelle@ird.fr  
www.antilles.inra.fr

Projet financé par



Cette fiche a pu être réalisée grâce aux travaux menés sur le programme Alterbio

Unité de Recherche AgroSystèmes Tropicaux

Séminaire Banane Plantain

La méthode de Fertilisation Bio-Organique (FBO) consiste à créer dans la plantation des îlots de forte fonctionnalité écologique.

Méthode FBO : comment procéder ?

**Étape 1** - Des tranchées de 1 m de long reliant deux plantes contiguës sont creusées ; ces tranchées ont 30 cm de large et 45 cm de profondeur.

**Étape 2** - On dépose au fond de la tranchée , entre 30 et 45 cm, de la matière organique à décomposition lente (feuilles et rameaux de *Gliricidia sepium*) mélangée au sol (5 kg par tranchée).



Gliricidia sepium



Feuilles et rameaux de *Gliricidia sepium* au fond de la tranchée

**Étape 3** - Le sol de surface (0-15 cm) est mélangé avec 2 Kg de matière organique à décomposition rapide (vermicompost commercial).



Vermicompost commercial (ex: Lombricoltura de Tenjo)

**Étape 4** - 25 vers de terre de l'espèce *Pontoscolex corethrus* sont inoculés en surface.



*Pontoscolex corethrus*

