

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



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 : synthèse

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

Date : 28/01/2015

N° de contrat **1647/2010**

Date du contrat : 2010

## SYNTHESE

### CONTEXTE GENERAL

#### ***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. Nous testons l'hypothèse qu'un sol ayant de bonnes qualités physiques, chimiques et biologiques portera des plantes saines qui résisteront mieux aux maladies et aux parasites. Le fait démontré 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

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

sont possibles si l'on réduit l'impact des charançons et des nématodes, le bananier plantain étant très sensible à la verse 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 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 ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE ET DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

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 94 fermes en Colombie et sur l'ensemble des 76 fermes 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 dans quelques fermes les 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 qui peuvent servir de cibles complémentaires pour les parasites et favoriser les organismes

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

bénéfiques, 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**, réalisée avec les producteurs, 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 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, paiement de prestations.

## RESULTATS OBTENUS

### *Phase 1 : 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.

#### 1.1 Enquêtes sur les systèmes de production : l'intensification et l'usage des produits agrochimiques va de paire avec une prévalence accrue des maladies et des parasites

Le questionnaire appliqué dans les 94 fermes représentatives de plus de 3000 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.

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

En Guadeloupe, les systèmes de production sont pour la plupart dérivés de ceux de la banane dessert, adoptés tel quel (type 1), avec moins d'intrants mais plus de soins aux plantes (types 2), quelques aménagements (type 3) ou un mode de gestion radicalement différent (type 4). 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.

La projection des variables caractérisant ces deux grands types de fermes dans l'espace factoriel d'une analyse multivariée, montre que l'application de pesticides, la fertilisation chimique, la monoculture, l'ancienneté de plantations et leurs situation dans les zones plates de plaine vont de paire.

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). Ces indicateurs sont corrélés positivement de manière hautement significative (modèle linéaire mixte :  $p < 0.001$  ; 13.5% de déviance expliquée), indépendamment de l'effet de l'altitude ou de la topographie. 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). **Une relation aussi significative en dépit de la précision naturellement faible des données d'enquête utilisées, montre l'importance de l'effet mis en évidence.**

### Prévalence des maladies et attaques parasitaires

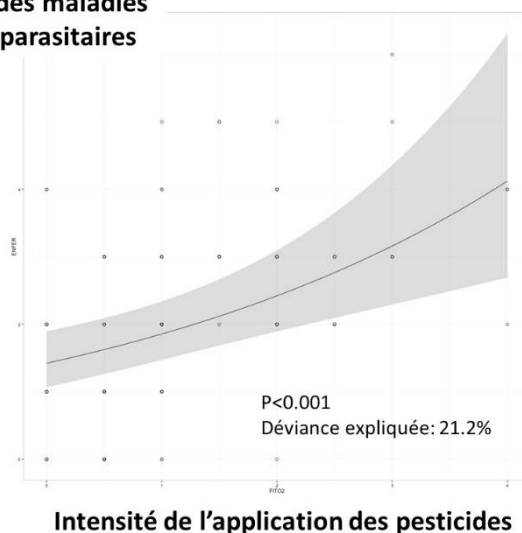


Figure 1 : Relation entre l'intensité des applications de pesticides (nombre total des applications annuelles diverses) et la prévalence des maladies (somme des indicateurs de prévalence en % de chacune des maladies recensées : sigatoka, rhalstonia, viroses, elephantiasis, bacteriose). La courbe représente 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).

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

### 1.2 Diagnostique 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. 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.

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.

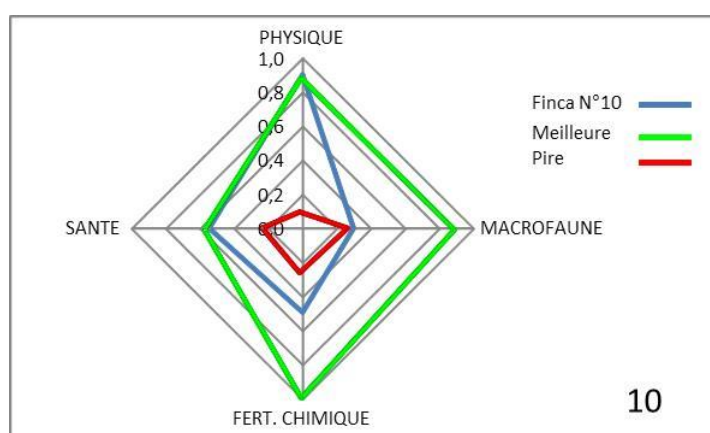


Figure 2 : Exemple de diagnostic agroécologique (ferme n°10 en Colombie, en bleu, comparé avec la ferme qui eut le meilleur total des indicateurs en vert et le pire, en rouge). Cette ferme se caractérise par des valeurs des indicateurs de santé des plantes et état physique du sol comparables à celles de la meilleure ferme, une fertilité chimique médiocre et une macrofaune du sol fortement réduite. Ce profil suggère que 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 montre une forte association entre tous les indicateurs, avec deux faits généraux :

1. Entre toutes les fermes, celles qui appartiennent aux municipalités localisées dans les régions montagneuses ont des sols plus pauvres, mais aussi moins de maladies, car l'usage des produits agrochimiques est limité et ces plantations sont souvent associées à d'autres cultures, le café le plus souvent (effet municipalités  $p < 0.01$  ; var. expliquée 61%).
2. La macrofaune du sol est associée à une meilleure fertilité chimique et à une meilleure santé des plantes. L'application du modèle linéaire généralisé à ces interactions montre une corrélation négative ( $r = -0.38$  ;  $p = 0.09$ ) entre l'indicateur de maladie (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

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

corrélations avec chacun des sous indicateurs, même si elles sont positives, ne sont pas significatives.

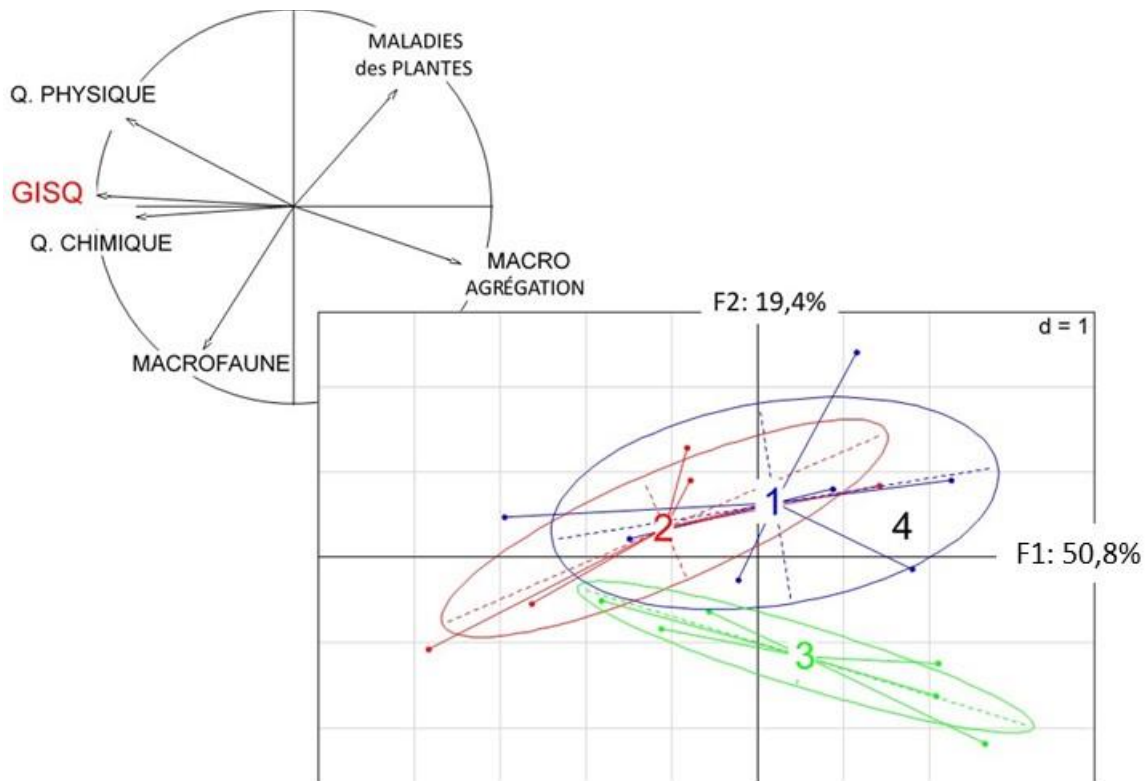


Figure 3 : Ordination des 20 fermes (regroupées en 4 types de systèmes de production) représentatives de Colombie en fonction des indicateurs de qualité du sol (Fertilité chimique, qualité physique et macrofaune du sol et occurrence des maladies). Types 1, 2 et 4 : production intensive avec des niveaux moyens à élevés d'application de pesticides) avec prévalence élevée des maladies ; Type 3 : systèmes n'utilisant pas les pesticides, cultures associées. L'axe horizontal 1 de l'ACP représente divers degrés d'intensification de la production, du type 2 au type 4. L'axe vertical 2 sépare le type 3 sans application de pesticides, des autres.

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 (Figure 4).

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

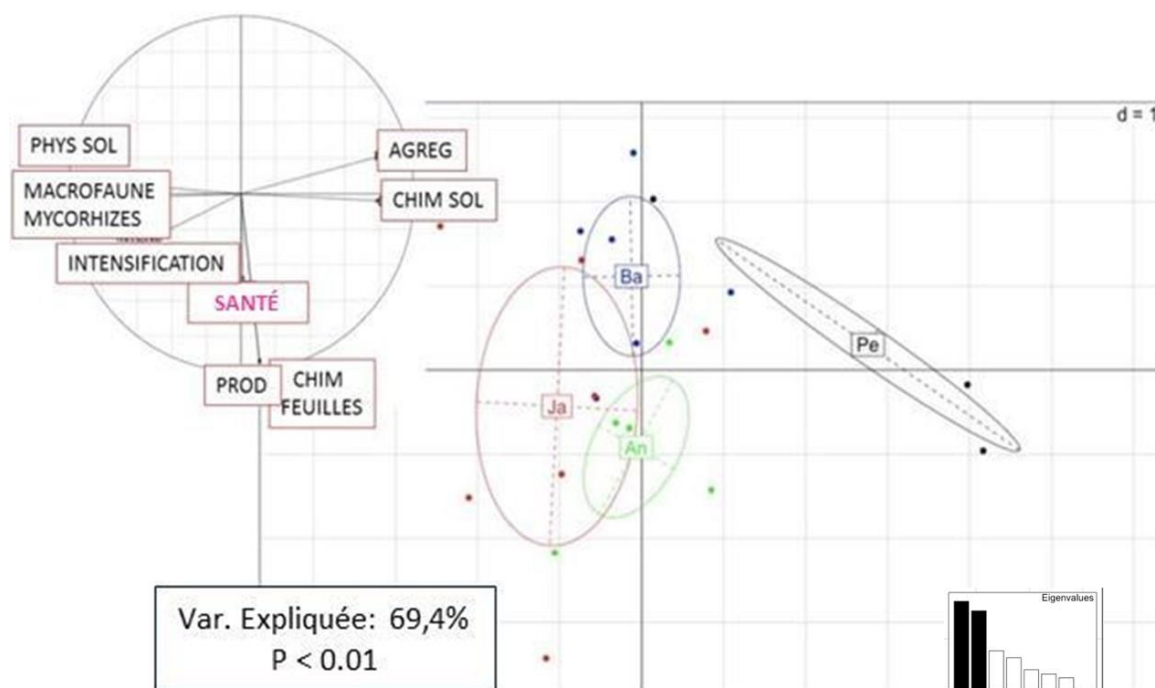


Figure 4: Projection des 20 exploitations de Guadeloupe (partie droite de la figure) regroupées en fonction du précédent cultural et des indicateurs qui les caractérisent (cercle de corrélations, partie gauche) dans le plan factoriel 1/2 d'une analyse en composantes principales. Ja : jachère ; An : culture d'ananas ; Ba : bananes ; Pe : cultures pérennes. L'axe horizontal 1 sépare les plantations pérennes avec une fertilité chimique et une agrégation du sol meilleure que les autres, mais des qualités physiques et biologiques inférieures. L'axe 2 sépare les plantations avec précédent d'ananas et quelques unes issues de jachères, avec une meilleure production et un état sanitaire supérieur.

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

**Ce diagnostic général 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 physique, chimique et biologique du sol pour éviter les maladies et les parasites, avec particulièrement, une opposition claire entre la fréquence des maladies et la présence d'une macrofaune active dans le sol.**

### *Phase 2 : Quelles alternatives proposer : 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 :



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

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 sans nécessité d'appliquer des herbicides.
3. L'usage de plants sains pour éviter la transmission des maladies dès la plantation.

A la Guadeloupe, l'expérimentation prend ainsi 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 de tiges),
- 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 (Figure 5 ).

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 des valeurs des indicateurs 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 la couverture de *Paspalum* qui a le plus d'impact sur ces indicateurs (12% de la variance expliquée,  $p=0.03$ ) et l'application de vermicompost (10% de variabilité expliquée,  $p=0,06$ ).

L'expérimentation menée à la Guadeloupe compare dans 3 exploitations le système conventionnel au système agroécologique qui associe la fertilisation avec le vermicompost, l'usage de plants sains (PIF : plants issus de fragments) et la couverture du sol avec la légumineuse herbacée *Arachis pintoi*. La qualité du sol (macrofaune, agrégation) est améliorée par la pratique agroécologique tandis que les populations du nématode *Radopholus sp.*, le plus agressif, sont fortement réduites. La production n'est pas différente entre les deux systèmes.

En Colombie, l'expérimentation compare le système conventionnel qui utilise des engrais chimiques et le désherbage chimique avec le système agroécologique de Fertilisation Bio Organique (FBO®) : dans le fond des tranchées de 1,50m de long, 30 cm de large et 45 cm de profondeur creusées à proximité 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. Deux variantes à ce dispositif comprennent l'ajout de lixiviats de troncs de bananiers en décomposition et l'inoculation de mycorhizes.

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

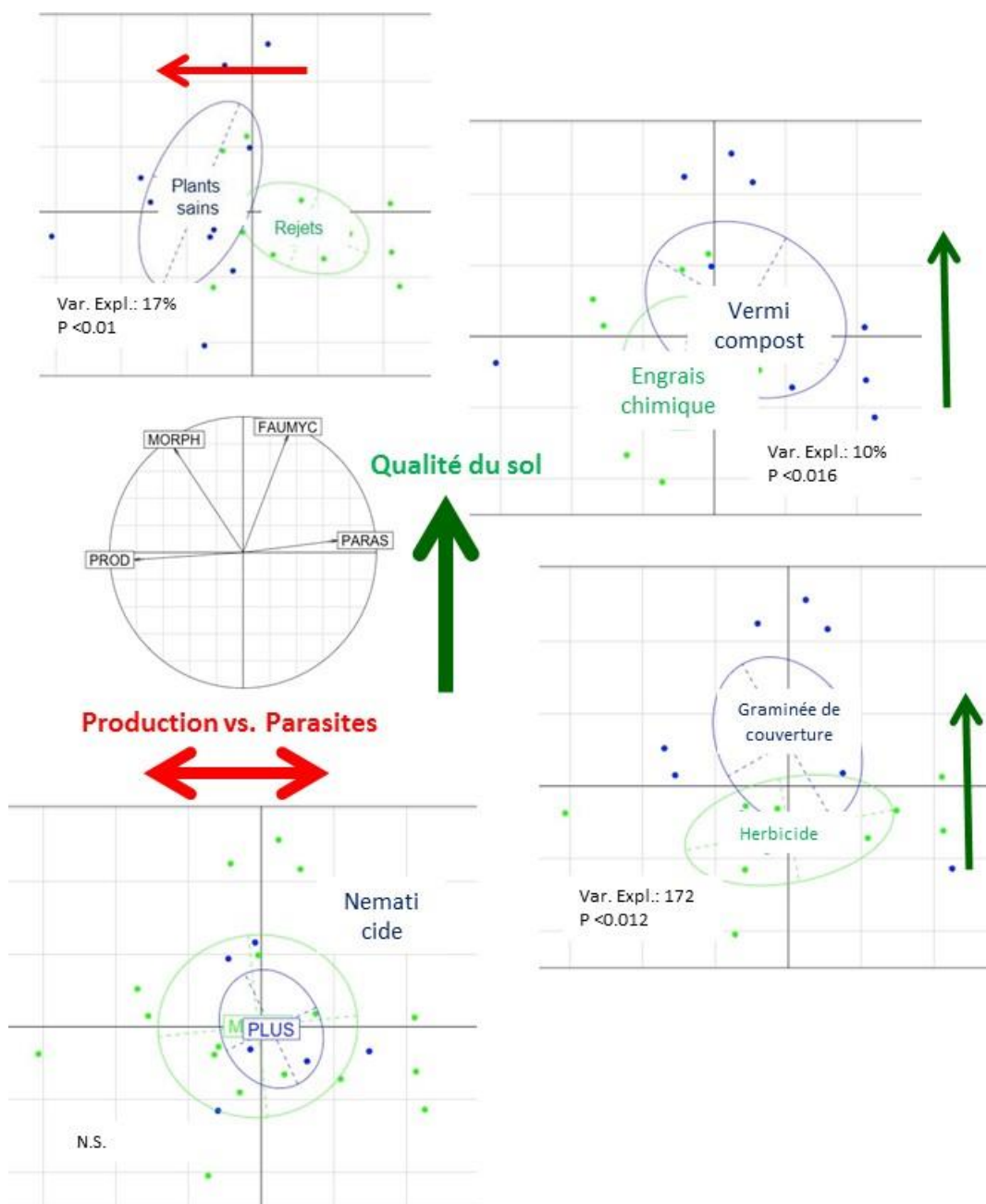


Figure 5: Effet des diverses pratiques agroécologiques sur la production et la densité de parasites (axe 1 horizontal) et la qualité du sol (axe 2 vertical). Les points représentant les répétitions expérimentales sont regroupés pour tester 4 hypothèses, de a à d. Si l'usage des plants sains (a) et, dans 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.

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 augmentation corollaire 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.**

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

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 bénéfiques.

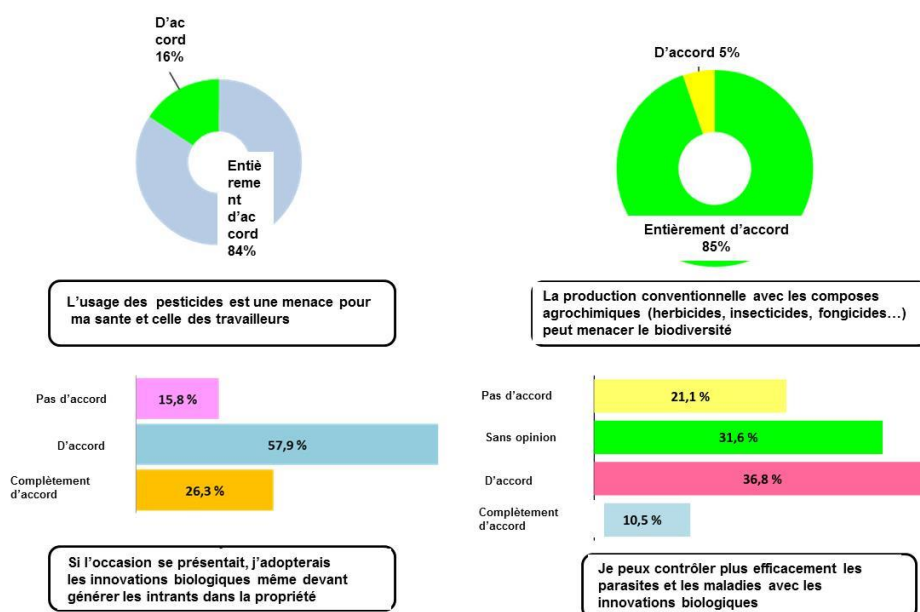
**Les diverses options testées dans nos expérimentations offrent des solutions intéressantes pour le contrôle des parasites telluriques. La technique des Plants Issus de Fragments de tiges testée en Guadeloupe a montré une grande efficacité dans ce domaine en évitant une infection initiale des plantes. 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 bonne santé relative des plantes est associée à un meilleur développement des peuplements de macroinvertébrés du sol.**

**La production a été toujours 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.**

### 3. Comment stimuler l'adoption des technologies agroécologiques ? Motivations des producteurs et Politiques publiques

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.



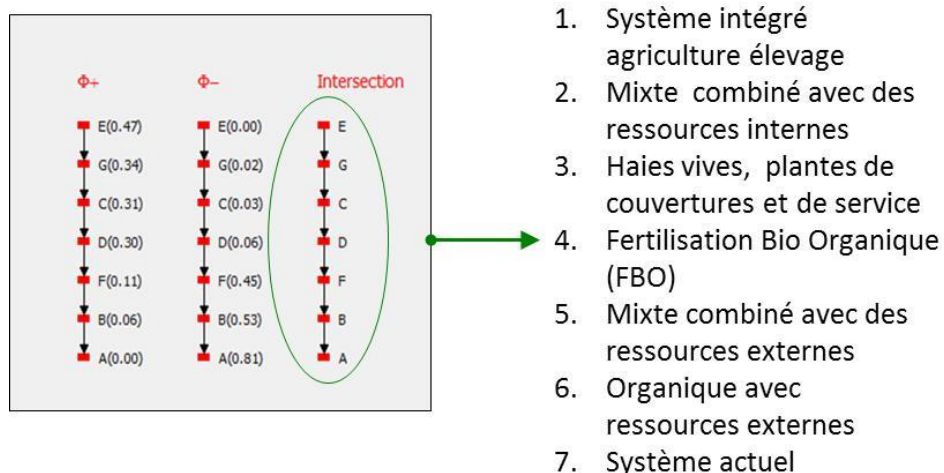
## ALTERBIO Alternatives Biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananiers plantain

Figure 6 : Attitudes des producteurs vis à vis de la problématique du contrôle chimique et des alternatives possibles.

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>1</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.

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.



<sup>1</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

Figure 7 : 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.

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) .

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. 8).

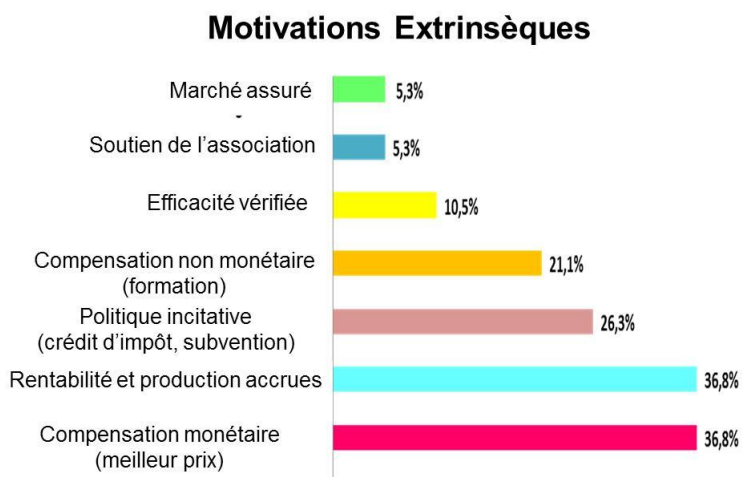


Figure 8 : Analyse des éléments extérieurs qui pousseraient les producteurs Colombiens à adopter les alternatives de production agro écologiques.

**En Guadeloupe**, avec une méthodologie différente (« choice experiment »), deux enquêtes différentes ont permis d'analyser les motivations techniques et les freins économiques aux 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 (tableaux 1 et 2). PIF : Plants sains Issus de Fragments, PDS : plantes de service, VMC : vermicompost.

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

Tableau 1 : Attributs et leurs niveaux 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 2.

Tableau 2 : 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 €

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.

Chacun des 72 répondants a répondu aux cartes de choix des deux Choice Experiments qui présentent diverses combinaisons des niveaux des attributs retenus (tableau 3).

Il ressort que globalement les agriculteurs de Guadeloupe sont prêts à innover en adoptant les plants sains (PIF : plantes issues de fragments) 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.

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

Tableau 3 : 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>

**Les planteurs de banane plantain de Guadeloupe ont opté pour un appui à l'innovation 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.**

### 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 des bananiers plantains. Deux facteurs sont apparus dominants : l'âge des plantes et l'usage excessif des produits agrochimiques. L'usage exclusif des engrais chimique qui garantit 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 favorise de plus l'érosion superficielle du sol. Les pesticides, lorsqu'ils étaient appliqués, n'ont eu aucun effet.

Les options agroécologiques proposées dans les expérimentations en Guadeloupe 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, fumier ou branchages de la légumineuse *Gliricidia sepium*), l'inoculation d'organismes bénéfiques (mycorhizes et/ou vers de terre).

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

La communication régulière des résultats du projet aux producteurs et leur propre analyse développées au cours de plusieurs séminaires les a conduits à réévaluer leurs systèmes de 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 évaluée à 18.000 l de glyphosate pour le département du Quindio) 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, entre les producteurs et 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, les 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 production de services écosystémiques et l'amélioration prévisible de la vie à la campagne vaut certainement un tel investissement. L'accélération du développement d'une agriculture moins dépendante des produits agrochimiques dépendra 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, car 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. Il reste que 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.

Finalement, un élément important, peu commenté dans ce rapport et en dehors, est le problème de la relève générationnelle et de l'image de la profession d'agriculteur. L'âge



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

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 sur lesquels ils n'ont aucune prise. 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.

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) souligne la 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.

- Réalisations pratiques et valorisation :

### Fiches techniques

Des fiches techniques ont été réalisées et mises à la disposition des producteurs sur les thèmes suivants : Préparation des plants sains issus de fragments (PIF), des lixiviats de troncs et régimes, vermicompostage, installation des couvertures de *Paspalum* et fertilisation Bio organique (voir annexes).

### Interactions avec les associations de producteurs

En Colombie, nos résultats ont convaincu l'association des producteurs de banane plantain (ASOPLATANO) de dissuader les producteurs d'effectuer le désherbage chimique au pied des plants (v. coupure de presse en annexe).

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

Ce projet a mis en contact deux communautés scientifiques qui échangent peu, celle de la caraïbe (INRA, UAG, CIRAD) avec l'université Nationale de Colombie et le Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Il a aussi mis à contribution deux communautés d'agriculteurs bien différentes, celle traditionnelle et fortement structurée de la région du Quindio en Colombie et celle plus dispersée et nouvelle de la Guadeloupe.

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

Cette diversité voulue au début du projet a permis de tester différentes options techniques dans différents contextes. Il y aura à la fin un effet additif, les techniques analysées dans chacun des deux pays pouvant servir dans l'autre.

### POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

1. Clermont-Dauphin C, Cabidoche YM, & Meynard JM (2004) Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies. *Soil Use and Management* 20:105-113.
2. Henriques W, Jeffers RD, Jr. TEL, & Kendall RJ (1997) Agrochemical use on banana plantations in latin america: perspectives on ecological risk. *Environnement Toxicology and Chemistry* 16(1):91-99.
3. Lafont A, *et al.* (2007) Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radopholus similis*. *Pedobiologia* 51(4):311-318.
4. Loranger-Merciris G., Cabidoche Y.-M., Deloné B., Quénéhervé P., & Ozier-Lafontaine H. (2012.) How earthworm activities affect banana plant response to nematodes parasitism. *Applied Soil Ecology* 52:1-8.
5. Mateille T (1993) Effects of banana-parasitic nematodes on *Musa acuminata* (AAA group) cvs Poyo and Gros Michel vitro plants. *Trop Agr* 70(4):325-331.
6. Queneherve P, *et al.* (2006) Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. *Crop Protection* 25(8):860-867.
7. Queneherve P, Salmon F, Topart P, & Horry JP (2009) Nematode resistance in bananas: screening results on some new *Mycosphaerella* resistant banana hybrids. *Euphytica* 165(1):137-143.
8. Weber OB, Baldani JI, & Dobereiner J (2000) Diazotrophic bacteria in banana plants. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 35(11):2277-2285.

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

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

#### **PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES**

Publications scientifiques parues

résumé

Publications scientifiques à paraître

Publications scientifiques prévues (préliminaire)

G. Loranger-Merciris, M. Dorel, H. Ozier-Lafontaine, G. Damour, B. Deloné-Louis Jeune, J. Sierra, J-L. Diman, P. Lavelle. Agroecological diagnosis in Banana Plantain (*Musa paradisiaca*) cropping systems.

Londoño, M.A., Lavelle, P., velasquez, E. Effects of production systems attributes on the occurrence of pests and diseases in plantain banana plantations of the Quindio region (Colombia).

Chagueza, Y., Velasquez, E. Asakawa, N., Lavelle, P. relationship among soil chemical, physical and biological cahracters and the occurrence of pests and diseases in plantain banana plantations of the Quindio department (Colombia).

#### **COLLOQUES**

Participations passées à des colloques

Deloné-Louis-Jeune B, Loranger-Merciris G, Ozier-Lafontaine H, Dorel M, Diman JL, Lavelle P (2011) What tools for agroecological diagnosis? Towards a methodological approach with Plantain (*Musa paradisiaca*). 47th Annual Scientific Meeting of the Caribbean Food Crops Society, Lloyd Erskine Sandiford Centre, Bridgetown, Barbados, July 3-9, 2011, POSTER.

Forite C, Ogisma A, Delone-Louis-Jeune B, Loranger-Merciris G, Ozier-Lafontaine H, Diman JL (2011) An holistic approach to cropping practices, a prerequisite for an agroecological diagnosis of plantain cropping systems in Guadeloupe. 47th Annual Scientific Meeting of the Caribbean Food Crops Society, Lloyd Erskine Sandiford Centre, Bridgetown, Barbados, July 3-9, 2011, POSTER.

Lavelle, P., Londoño, A.M., Chagueza, Y. et Velasquez, E. Alternativas biológicas al uso de pesticidas en las plantaciones de plátano. MUSALAC (International Congress on Musaceae). Medellin, Colombia.

Participations futures à des colloques

#### **THESES**

Thèses passées

Deloné-Louis-Jeune Brunise (soutenance le 01 octobre 2014)

Thèses en cours

Londoño Angela, Contexte socioéconomique et conditions pour l'adoption d'innovations agroécologiques dans les plantations de banane plantain (Adopción potencial de alternativas biológicas por cultivadores de plátano del Quindío. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira). Juin 2015.

Chagueza Yamileth, Alternativas biológicas al uso de pesticidas en cultivos de platano del Quindio. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira). Juin 2015.

#### **ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION**

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

Articles de valorisation parus  
Articles de valorisation à paraître  
Articles de valorisation prévus

### AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS

Actions vers les médias (interviews...) effectuées

4.07.2012 : interviews à la télévision locale (Guadeloupe 1<sup>ère</sup>) et sur radios locales de Guadeloupe (RCI, Guadeloupe 1<sup>ère</sup>)

2.10.2014 : interviews à la télévision locale (Guadeloupe 1<sup>ère</sup>) et sur radios locales de Guadeloupe (RCI, Guadeloupe 1<sup>ère</sup>)

Actions vers les médias prévues

### ENSEIGNEMENT - FORMATION

Enseignements/formations dispensés

#### Encadrements d'étudiants

Ogisma A. (2011) Diagnostic agri-environnemental en exploitations de banane plantain en Guadeloupe : logiques décisionnelles, performances productives et agro écologiques des pratiques associées. Rapport de stage de Master 2. Master Écosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités, Université des Antilles et de la Guyane. Responsables de stage : Jean-Louis DIMAN (INRA) et Harry OZIER-LAFONTAINE (INRA).

Forite C. (2011) Diagnostic agroécologique de plantations de bananes plantain en Guadeloupe . Mémoire de fin d'études. ISTOM Ecole d'Ingénieur en Agro-Développement International. Responsable de stage : Jean-Louis DIMAN (INRA)

Ramaël D. (2012) Diagnostic agroécologique de la culture du bananier plantain en Guadeloupe: Effet des systèmes de culture et des itinéraires techniques sur l'état biologique et chimique des sols et l'état sanitaire des plantations. Master Écosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités, Université des Antilles et de la Guyane. Responsables de stage : Gladys LORANGER-MERCIRIS (UAG) et Harry OZIER-LAFONTAINE (INRA).

Jean-Junior A. (2012) Diagnostic agro-écologique des systèmes de culture à base de bananiers plantains en Guadeloupe: Etat physico-chimique des sols et état sanitaire de la culture. Master Écosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités, Université des Antilles et de la Guyane. Responsable de stage : Marc DOREL (CIRAD).

Schemla V. (2013) Prévention des bioagresseurs en utilisant divers agents de contrôle biologique dans des plantations de bananes plantains. Master Écosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités, Université des Antilles et de la Guyane. Responsables de stage : Gladys LORANGER-MERCIRIS (UAG) et Jean-Louis DIMAN (INRA)

Lincertin K. (2014) Fonctionnement démographique de deux populations de vers de terre épigés utilisés dans la fabrication de vermicomposts en milieu tropical humide. Master des métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation : FORMATEUR EN DEVELOPPEMENT DURABLE de l'école supérieur du professorat et de l'éducation d'aquitaine (ESPE). Responsable de stage : Jean-Pierre CINNA (INRA)

Enseignements/formations prévus

### EXPERTISES

Expertises menées

Expertises en cours

Expertises prévues

### METHODOLOGIES (GUIDES...)

Méthodologies produites

Fiches techniques pour agriculteurs (le vermicompostage ; la méthode PIF ; échantillonnage de la

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

macrofaune du sol ; mise en place d'une plante de service en bananeraie ; la méthode FBO ; la production de lixiviats à partir de hampes de banane plantain)

Méthodologies en cours d'élaboration

Méthodologies prévues

**AUTRES**

Précisez...

## RESUMES

### En français

---

#### RESUME COURT

Le projet ALTERBIO a montré un lien significatif entre l'occurrence des maladies et des parasites et l'usage de produits phytosanitaires et le précédent cultural dans les plantations de banane plantain. Les options agroécologiques testées ont permis d'améliorer sensiblement la qualité des sols et des plantes tout en maintenant la production au niveau des systèmes conventionnels. Les producteurs impliqués dans le projet souhaitent passer à des pratiques plus agroécologiques mais ne le feront qu'avec l'appui de politiques publiques ciblées.

#### RESUME LONG

**Contexte :** la banane plantain est un aliment stratégique produit en majorité par de petits exploitants, avec une demande croissante. L'ajustement de la production à la demande est rendu difficile par l'impact sans cesse croissant des maladies et des parasites : maladies fongiques (cercosporiose), bactériennes (*Ralstonia*), virales, nécrose des racines par les nématodes phytoparasites ou attaque des pseudo troncs par les charançons.

**Objectifs :** le projet ALTERBIO avait trois objectifs :

1. identifier d'éventuels éléments des systèmes de production et des itinéraires techniques qui favorisent les maladies et les parasites et vérifier ainsi l'hypothèse que des plantes vigoureuses cultivées dans un sol de bonne qualité sont moins sujettes aux maladies et parasites.
2. expérimenter des options techniques agroécologiques qui permettent de se substituer à l'usage des pesticides pour le contrôle des maladies et parasites ;
3. Analyser avec les producteurs les conditions pour l'adoption des innovations proposées ;

#### Méthodologie

Un vaste ensemble de méthodes adaptées aux divers objectifs a été mis en œuvre :

1. Une enquête avec un questionnaire fermé 74 questions réparties en 5 blocs auprès de tous les producteurs de la Guadeloupe (76) et d'un échantillon de 94 producteurs représentatifs de l'ensemble des producteurs du département du Quindio (Colombie) ;
2. Un diagnostic agroécologique, dans un sous échantillon représentatif de 20 fermes, des conditions physiques et chimiques du sol, des peuplements de macroinvertébrés, de nématodes parasites et libres et de mycorhizes (comptage des spores et évaluation de l'infection des racines) et de l'état sanitaire des plantes (nécroses racinaires, indicateurs de prévalence des diverses maladies et parasites).
3. Trois expérimentations menées suivant des protocoles adaptés pour comparer diverses options :
  - Huit associations d'éléments de pratiques agroécologiques (usage de vermicompost, plants sains issus de fragments, couverture de *Paspalum notatum*) et conventionnels (désherbage chimique, fertilisation chimique, plants « baionnettes » prélevés sur place, contrôle chimique des nématodes ;

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

- Méthode brevetée FBO de fertilisation Bio Organique qui consiste à créer aux abords de la plante des îlots de sol (tranchées) de fonctionnalité maximale avec l'introduction de deux types d'apports organiques de rapide et lente décomposition respectivement et l'inoculation de vers de terre endogés .
- Création à la Guadeloupe, d'un prototype agroécologique (plants issus de fragments de tiges « PIF », vermicompost et couverture d'*Arachis pintoï*) comparé à un itinéraire technique conventionnel (engrais chimique, plant « baïonnette »).

### 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 où les effets sont complexes entre des variables nombreuses et souvent redondantes . 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 multiquantitatives . Des tests de Monte Carlo sont utilisés pour tester la signification des effets suggérés par la projection des points dans les espaces factoriels définis.
- Certaines variables qui expriment divers éléments d'un effet particulier (ex. Les paramètres de la Fertilité chimique, les différents groupes des communautés de macroinvertébrés du sol) ont été regroupées sous forme d'indicateurs synthétiques, dans certains cas obtenus par simple addition des variables, dans d'autres cas, tirés des axes factoriels des analyses multivariées suivant une méthodologie développée par Velasquez et al. (2007).
- 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 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.

### Principaux résultats obtenus

**Phase 1.** Le dépouillement des questionnaires a montré que les systèmes de production observés à la Guadeloupe dérivent tous du système de production de bananes dessert, utilisé tel quel (type 1), avec moins d'intrants mais plus de soins aux plantes (types 2), quelques aménagements (type 3) ou un mode de gestion radicalement différent (type 4). La replantation se fait après la récolte, avec des plants nouvellement importés.

En Colombie, une première analyse factorielle multiple montre une relation significative entre les systèmes de production, l'état phytosanitaire et la situation géographique (altitude et pente). Dans l'espace factoriel d'une Analyse en Composantes Multiples de l'ensemble des variables qui caractérisent les exploitations, l'occurrence des maladies et atteintes parasitaires

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

se superpose aux variables qui caractérisent les systèmes intensifs conventionnels, avec usage important de produits agrochimiques dans des monocultures en plaine, sur de grandes surfaces (groupes 1, 2 et 4). **La relation entre l'indicateur de maladies et celui de fréquence des applications de pesticides est significative, indiquant que l'application des pesticides favorise les maladies, ou au moins est impuissante à en venir à bout.** Il n'existe en revanche pas d'effet des engrais chimiques.

Les diagnostics écologiques faits dans 20 exploitations de chaque pays éclairent les mécanismes à la base de cette relation. L'indicateur de maladies est plus associé sur l'axe 1 aux systèmes conventionnels les plus intensifs (1, 2 et 4) et s'oppose sur l'axe 2 aux systèmes mixtes peu intensifs (3). Une corrélation négative et significative existe entre l'indicateur de maladies et l'indicateur général de qualité du sol qui en résume les qualités physique, chimique, la biodiversité (faune et mycorhizes) et l'agrégation biologique. A la Guadeloupe, la même analyse met en évidence le rôle des précédents de culture. Le précédent ananas est celui qui permet le meilleur état phytosanitaire : il y a moins de charançons et de nématodes parasites, des taux de nécrose racinaire inférieurs et une meilleure production. La jachère favorise plutôt la qualité physique et biologique du sol, tandis que la culture pérenne ne favorise ni la production, ni l'état phytosanitaire ni la qualité du sol.

**Phase 2.** L'expérimentation dans les exploitations a testé une série d'options associées dans diverses combinaisons: apport de lombricompost, plantes de couverture (*Paspalum* ou *Arachis pintoï*), usage de plants sains au semis à la Guadeloupe, méthode de Fertilisation Bio Organique (inoculation de vers de terre et amendements organiques dans des tranchées au pied des plantes), avec ou sans lixiviats de troncs et apports de préparations mycorhiziennes en Colombie.

Ces diverses options ont affecté différemment l'état sanitaire des plants, surtout amélioré par l'usage des plants sains en Guadeloupe et l'amélioration de la qualité du sol par les amendements organiques et les plantes de couverture. Les apports organiques augmentent dans tous les cas la macrofaune du sol et son activité mesurée par la macroagrégation du sol. En corollaire, on observe une diminution des nématodes phytoparasites les plus virulents. L'application de nématicides dans le témoin conventionnel n'a eu aucun effet. Dans tous les cas, la production dans les systèmes agro écologiques a été maintenue au niveau de celle du système conventionnel.

### Phase 3 : Adoption de l'innovation

Après la présentation et la discussion des résultats de chaque exploitation illustrés sous forme de diagrammes « radar » des indicateurs et des résultats des expérimentations, deux méthodes différentes ont été utilisées pour analyser les conditions de l'adoption des innovations.

En Colombie, une enquête analysant l'attitude des 95 exploitants ayant participé au projet depuis le début, montre une conscience claire du danger que représentent les pesticides pour la santé des opérateurs et de l'environnement. La majorité de ces exploitants (84,2%) se montrent disposés à adopter des innovations biologiques, quoique seulement 47,3% d'entre



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

eux pensent qu'elles peuvent permettre un contrôle efficace des bioagresseurs. Les préférences exprimées au cours d'entretiens individuels avec les producteurs et les autres parties prenantes ont été analysées par la méthode de modélisation multicritères NAIADE. Elle montre un rejet du système conventionnel (classé en dernière position) tandis que les systèmes de production intégrant la production sur l'exploitation d'intrants organiques et la mise en œuvre de méthodes écologiques de contrôle biologiques sont préférées. La méthode FBO est classée en position intermédiaire ; le handicap représenté par un coût élevé en main d'œuvre devra être compensé par la création d'outils spécifiques pour sa mécanisation. La première motivation pour adopter les techniques innovantes est le souci de ne plus dégrader l'environnement (35,8%) devant l'utilisation des ressources propres non encore mobilisées (15,8%), l'harmonie avec le voisinage et l'élimination du risque pour la santé (10,5% chacun). Les conditions extérieures nécessaires à l'adoption sont la compensation monétaire et l'accroissement de la rentabilité (36,8% chacun), l'existence de politiques incitatives sous forme de subventions (26,3%) ou de formation (21,1%). Le soutien de la recherche (10,5%), des associations (5,3%) et l'assurance d'un marché pour les produits (5,3%) complètent ce tableau.

En Guadeloupe, la méthode de « choice experiment » a montré que globalement les agriculteurs plantain de Guadeloupe sont prêts à innover en adoptant les plants Sains (Plants Issus de Fragments « 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.

La mise en œuvre des innovations nécessiterait un système de préfinancement de 50% du montant à investir, une aide sous forme de mesure agri environnementale et un appui technique individuel pour les premiers adoptants, sur les aspects non maîtrisés de l'itinéraire technique.

### **Sorties opérationnelles pour décideurs, applications éventuelles** **Recommandations**

Le projet ALTERBIO a validé l'approche agroécologique pour lutter contre les bioagresseurs des bananiers plantain :

- en vérifiant que l'hypothèse globale que des plantes plus saines poussent dans un sol de bonne qualité écologique et *a contrario*, en démontrant la stimulation des bioagresseurs dans des systèmes basés sur l'usage exclusif des produits agrochimiques ;
- en testant avec succès divers éléments d'un itinéraire technique innovant : l'usage de plants sains (Plants issus de fragments), la fertilisation organique avec du vermicompost et divers autres substrats organiques, l'usage de plants de couverture (*Paspalum* ou *Arachis pintoï*) et l'inoculation de vers de terre

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

dans des tranchées remplies de deux types d'apports organiques (méthode FBO).

Le travail effectué avec les exploitants dans les deux pays montre clairement leur désir de mettre en œuvre des systèmes agroécologiques alors qu'ils rejettent de plus en plus le système conventionnel basé sur l'usage exclusif de produits agrochimiques. Les principaux freins à l'innovation sont une relative incertitude dans l'efficacité de méthodes encore très jeunes et le coût relativement élevé de leur mise en place. L'adoption de ces innovations nécessite donc des politiques publiques ciblées qui assurent :

- la diffusion de l'information sur les techniques agroécologiques innovantes;
- le soutien financier à l'installation des innovations sous forme de Mesures Agri Environnementales par exemple ou de paiement de services écosystémiques;
- l'assistance technique, au moins pour les premiers adoptants ;
- le soutien à une recherche participative ciblée sur les itinéraires techniques ;
- le développement d'une recherche spécifiquement dédiée à l'approche holistique des systèmes agricoles pour développer l'agroécologie.

### MOTS-CLÉS

BANANE PLANTAIN, TECHNIQUES AGROECOLOGIQUES, CONTROLE DES BIOAGRESSEURS, GUADELOUPE, COLOMBIE.

### SHORT SUMMARY

The Alterbio project showed a significant relationship between the occurrence of diseases and pests in plantain plantations, the application of pesticides and the nature of previous cropping systems. The tested agroecological options have significantly improved the quality of soil and plants while maintaining production at the level of conventional systems. The producers involved in the project are willing to move on to more agroecological practices but will do so with the support of targeted public policies.

### EXTENDED SUMMARY

**Background:** Plantain banana is a strategic food with increasing demand worldwide, produced mainly by small farmers. The adjustment of the production to demand is complicated by the ever increasing impact of diseases and parasites: fungal diseases (Sigatoka), bacterial

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

(Ralstonia), viral infections, necrosis of roots by plant parasitic nematodes attack or mining of pseudo trunks by weevils.

### **Objectives: Alterbio project had three objectives:**

1. identify possible elements of production systems and technical procedures that favor diseases and parasites, while checking the hypothesis that vigorous plants grown in good quality soils are less prone to diseases and pests.
2. experiment agroecological technical options to replace the use of pesticides to control pests and diseases;
3. Analyze with producers the conditions for the adoption of the proposed innovations.

### **Methodology**

A broad set of methods adapted to various objectives were implemented:

1. The application of a closed questionnaire, of 74 questions divided into five blocks, to all producers of Guadeloupe (67) and a representative sample of 94 producers of the 2267 ones registered in the Quindio department (Colombia);
2. Agroecological diagnostic, in a sub set of 209 representative farms, of physical and chemical soil conditions, macroinvertebrate, parasites and free-living nematodes and mycorrhizal communities (counting spores and evaluation of the root infection) and plant health indicators (root necrosis, prevalence of the different diseases and parasites).
3. Three experiments conducted according to appropriate protocols for comparing various options:
  - Eight combinations of a set of 3 elements of agroecological practices (use of vermicompost, healthy plants issued from fragments ("PIF"), *Paspalum notatum* grass cover) and 4 conventional (chemical weed control, chemical fertilizers, seedlings taken on site, chemical control of nematodes);
  - Bio Organic fertilization Patented Method (FBO®) that consists in introduction of two types of organic inputs of fast and slow decomposition respectively in trenches dug close to the plant and further inoculated with local endogeic earthworms
  - Establishment of a prototype of agroecological ("PIF" , vermicompost and cover of *Arachis pintoii*) management compared to a conventional system (chemical fertilizer, locally emergent seedlings).

### **Data Processing**

- Verification of the various working hypotheses required the collection of a large number of variables to describe the agronomic, ecological and socio-economic plantations.
- Multivariate analysis is the tool used for the treatment of such data sets where the relationships between many variables are complex and often partly or entirely redundant. We have used various types, depending on the type of data: Principal Component Analysis for quantitative data sets; Multiple Factor Analysis to analyze the relationship between quantitative and qualitative data groups; Multiple Component Analysis for multiquantitative data. Monte Carlo tests were used to test the significance of the effects suggested by the projection of points in the factorial spaces defined.
- Some variables that express various elements of a particular effect (eg. parameters of the chemical Fertility, different groups of soil macroinvertebrate communities) were grouped in the form of synthetic indicators, in some cases obtained by simple addition of variables, in other cases, from the factorial axes of multivariate analyzes using a methodology developed by Velasquez et al. (2007).

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

- Some relationships between single or composite variables (combined in synthetic indicators) identified in these analyzes were submitted to univariate analyzes to better describe the phenomena involved. We used ANOVA for this reason there, generalized linear models (glm) and, in the case of data sets with hierarchically nested structures, mixed linear models.

### **Main results**

#### **Phase 1. Diagnostics**

Questionnaires showed that production systems observed in Guadeloupe all derive from the banana production system, used as such (type 1), with less inputs but the same care for plants (type 2), some adjustments (type 3) or a radically different management mode (type 4). Replanting is done after harvest with newly imported plants in all cases.

In Colombia, an initial multiple factor analysis showed a significant relationship between the tables of data on the production system, plant health and geographical location (altitude and slope) respectively. In the factorial F1/F2 space of a Multiple Component Analysis of all the variables that characterize the farms, the occurrence of disease and pest damage is superimposed with the variables that characterize conventional intensive systems, with extensive use of agrochemicals in monocultures on large flat areas (groups 1, 2 and 4). A significant positive correlation operated with mixed linear model was observed between an indicator of disease and pest attacks and an indicator of the intensity of pesticide application. Ecological diagnostics made in 20 farms in each country d this result. The indicator of disease inversely and significantly correlated with the General Indicator of Soil Quality measured according to Velasquez et al (2007) was more associated on axis 1 to the most intensive conventional systems (1 and 4) and opposed on axis 2 to low intensity mixed mountain systems. In Guadeloupe, the same analysis highlights a major role on incidence of pests and diseases of the nature of the previous crop. Pineapple cropping before plantain is the one that promotes the best plant health: there is less weevil and parasitic nematodes, root necrosis rates are lower and production is better than with other precedents. Fallow rather promotes physical and biological soil quality, while perennial cropping is associated with low production, plant health and soil quality.

#### **Phase 2. Experimentations.**

On farm experiments have tested the following options, associated in various combinations: organic fertilization with vermicompost, cover plants (*Paspalum notatum* or *Arachis pintoi*), use of clean seedlings (PTF) at planting in Guadeloupe, Bio Organic Fertilization method with or without decomposing dead trunk liquid compost and contributions of mycorrhizal preparations in Colombia.

These options have affected differently the health of plants, with significant effects of the use of healthy seedlings (PIF) in Guadeloupe, and improved quality of the soil with organic amendments and cover crops. Organic inputs are increasing in all cases soil macrofauna and its activity measured by soil macroaggregation. As a corollary, there is a decrease of the most virulent plant parasitic nematodes. The application of nematicides in the conventional control had no effect. In all cases, production in agro-ecological systems was maintained at the same level as that in the conventional system.

#### **Phase 3: Adoption of innovation**

After the presentation and discussion of the results of each operation illustrated in "radar" charts of the farm indicators and results of the experiments, two different methods were used to analyze the conditions for the adoption of innovations.

In Colombia, a survey examining the attitudes of 95 farmers involved in the project from the beginning, showed a clear awareness of the danger of pesticides for the health of operators and the environment. The majority of farmers (84.2%) are willing to adopt biological innovations, though only 47.3% of them think they can operate an effective control of pests.

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

Preferences expressed during individual interviews with producers and other stakeholders have been analyzed by the modeling method NAIADE. It shows a rejection of the conventional system (ranked in last place), while the production systems incorporating on-farm production of organic inputs and the implementation of environmentally friendly biological control methods are preferred. The FBO method is classified in an intermediate position: the inconvenient represented by a high cost in labor will need to be offset by the creation of specific tools for its mechanization. The primary motivation for adopting innovative techniques is the concern for environmental damage (35.8%), the use of on farm available resources (15.8%), harmony with the neighborhood and elimination of health risk (10.5% each). External conditions for the adoption are a higher selling price for the product and increased profitability (36.8% each), the existence of incentive policies in the form of grants (26.3%) and training (21.1 %). Support by research (10.5%) and producers associations (5.3%) and a suitable market for products (5.3%) complete the picture.

In Guadeloupe, the "choice experiment" method showed that plantain farmers are willing to innovate by adopting healthy PIF plants (Plants Derived Fragments "PIF") -that might increase the duration of their banana plantation from one single to two or three cropping cycles- and organic fertilization with vermicompost. These innovations should not bring additional work that exceed 20 days and a cost of setting up greater than € 1000 per hectare planted.

The implementation of innovations requires a 50% pre-financing system of the total investment, aid in the form of agri environmental measures and individual technical support to early adopters on uncontrolled aspects of the management option.

### KEY WORDS

PLANTAIN BANANA, AGROÉCOLOGICAL PRACTICES, PEST AND DISEASE MANAGEMENT, GUADELOUPE, COLOMBIA.

### Recommendations

The Alterbio project has validated the agroecological approach to fight against pests of plantain by:

- verifying that the overall hypothesis that healthier plants grow in soil with good ecological quality and conversely, by demonstrating the stimulation of pests in systems based on the exclusive use of pesticides to control pests and diseases;
- successfully testing various components of an innovative technical process: the use of healthy plants ("PIF" plants produced from fragments), organic fertilization with vermicompost and other organic substrates, the use of cover plants (*Paspalum notatum* or *Arachis pintoii*) and inoculation of earthworms in trenches filled with two types of organic inputs (FBO® method).
- The work done with farmers in both countries clearly showed their desire to implement agro-ecological systems as they increasingly reject the conventional system based on the exclusive use of agrochemicals. The main barriers to innovation are a relative uncertainty in the effectiveness of methods that are still very young and the relatively high cost of setting them up. The adoption of these innovations therefore requires targeted public policies that ensure:
  - the dissemination of information on innovative agroecological techniques;
  - financial support for the installation of innovations in the form of Agri Environmental Measures or payment for ecosystem services;
  - technical assistance, at least for the first adopters;
  - support for targeted participatory research on technical management options;

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

- the development of a specifically dedicated research on holistic approaches to develop agro-ecological cropping systems.