



HAL
open science

Prévention des bioagresseurs en utilisant divers agents de contrôle biologique dans des plantations de bananes plantains.

Virgile Schemla, Gladys Loranger-Merciris, Jean-Louis Diman

► **To cite this version:**

Virgile Schemla, Gladys Loranger-Merciris, Jean-Louis Diman. Prévention des bioagresseurs en utilisant divers agents de contrôle biologique dans des plantations de bananes plantains.. *Ecologie, Environnement*. 2013. hal-03179686

HAL Id: hal-03179686

<https://hal.inrae.fr/hal-03179686v1>

Submitted on 24 Mar 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

MASTER EN SCIENCES – TECHNOLOGIES -SANTÉ

Mention : ECOLOGIE

Spécialité : Écosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités

**Prévention des bioagresseurs en utilisant divers agents
de contrôle biologique dans des
plantations de bananes plantains.**

Virgile Schemla



Directeur (s) de stage :
Gladys Loranger-Merciris
Jean-Louis Diman

INRA : Antilles-Guyane Domaine de Duclos- prise d'eau
97170 PETIT-BOURG

Mémoire soutenu le : 24 Juin 2013

Résumé :

En Guadeloupe, la longévité des systèmes de culture à base de bananes plantains est précaire spécialement en raison des bioagresseurs telluriques. De ce fait, un système de culture agro-écologique a été mis en place. L'hypothèse testée est que la création et le renforcement des interactions écologiques sont susceptibles de favoriser la résistance des bananiers aux agressions et de contrôler un certain nombre d'agents pathogènes. Le traitement proposé comprend un amendement organique (vermicompost), une plante de service, et l'assainissement des plants de bananiers. L'expérimentation a permis de comparer le système de culture innovant et le système conventionnel avec pesticides. Dans les deux cas la plantation perturbe significativement la faune du sol, mais le système agro-écologique est plus résilient. Le coût du package agro-écologique proposé est significativement plus élevé, mais une modélisation prévisionnelle de la production couvre dès la première récolte tous les coûts.

Mots clés : itinéraire technique, agro-écologie, faune tellurique, modélisation, bioagresseurs, vermicompost,

Abstract :

In Guadeloupe, the longevity of plantains cropping systems is precarious mainly because of soil pests. Thus, an agro-ecological farming system was introduced. We hypothesized that creating and enhancing ecological interactions will promote banana resistance to attack. The suggested treatment included an organic amendment (vermicompost), a covering plant and sanitized banana plants. The experiment compared the innovative culture system and the conventional culture system with pesticides. In both cases, soil fauna was significantly disturbed, but the agro-ecological system was more resilient. The cost of agro-ecological package was significantly higher, but a predictive production's modeling showed that the first crop covers all costs.

Keywords: crop management technique, agro-ecology, soil fauna, modeling, pests, vermicompost

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à tous les membres du service d'écologie des sols de l'INRA, à commencer par ma directrice de stage, Mme Gladys Loranger-Merciris, pour son encadrement agréable et constructif. Ils sont à l'intention de Mlle Frédérique Razan et Mme Chantale Flereau pour leurs implications en temps, en énergie et en sympathie, sans oublier ma voisine de bureau, Brunise Deloné, pour son aide et son soutien.

Ils se dirigent également vers le laboratoire de pédologie de Mme Lucienne Desfontaines.

Je tiens également à remercier Jean-Louis Diman pour ces remarques pertinentes et ces conseils tant sur le fond que la forme de ce rapport.

Mes regards se portent aussi vers Pauline Rio, pour son aide précieuse en économie et sa collaboration.

Ils sont aussi et bien entendu destinés aux agriculteurs et leurs employés pour leurs participations et leurs enseignements.

Enfin ils s'adressent à mon compère de terrain Sylvestre Jacoby-Koaly, pour sa bonne humeur, son courage et ses conseils.

Table des matières

REMERCIEMENTS	1
I. INTRODUCTION.....	1
II. ELEMENTS DE CONTEXTE	2
2.1. LA BANANE PLANTAIN, RÉALITÉ ET PERSPECTIVES.....	2
2.2 MODALITÉS DE CONDUITE D'UNE BANANERAIE EN GUADELOUPE.....	3
2.3 BIO-AGRESSEURS, MOYENS DE LUTTE CONVENTIONNELS ET CONSÉQUENCES PHYTOSANITAIRES.....	4
2.3.1-Le charançon noir (<i>Cosmopolites sordidus</i> , Germar 1824).....	4
2.3.2-Les nématodes (espèces endoparasites et semi-ectoparasites)	4
2.3.3-L'enherbement.....	5
2.4. DES INNOVATIONS AGRO-ÉCOLOGIQUES.....	6
2.4.1 -Un matériel végétal sain, les Plants Issus de Fragments de tiges (PIF).....	6
2.4.2 -L'apport de matière organique au sol : le vermicompost	6
2.4.3 -Le contrôle de la flore adventice et la capture de nutriments par une plante de service	7
2.5 BIODIVERSITÉ TELLURIQUE, RÔLES ET ENJEUX	8
2.5.1 -Les ingénieurs écologiques (vers de terre, fourmis, termites).....	9
2.5.2 -Les régulateurs biologiques, transformateurs de litière (arthropodes, enchytréides).....	9
2.5.3 -Les régulateurs biologiques, prédateurs et parasites	9
2.5.4 -Les ingénieurs chimiques ou décomposeurs (bactéries, actinomycètes, champignons).....	9
2.6 OBJECTIFS	10
2.6.1 -Objectifs économiques.....	10
2.6.2 -Objectifs agro-écologiques	10
III. MATERIELS ET METHODES	11
3.1 CONDITIONS EXPÉRIMENTALES.....	11
3.2 LES FACTEURS DE L'ÉTUDE.....	12
3.2.1- <i>Caractéristiques chimiques du sol : pH_{H2O} et pH_{KCl}</i>	12
3.2.2 - <i>Organismes telluriques et flore</i>	12
3.2.3 - <i>Données biométriques</i>	12
3.2.4 - <i>Données économiques</i>	12
3.3 LES TRAITEMENTS.....	12
3.3.1 - <i>Itinéraire technique conventionnel (ITK1)</i>	13
3.3.2 - <i>Itinéraire technique agro-écologique (ITK2)</i>	13
3.4 UNITÉS ET DESIGN EXPÉRIMENTAUX.....	15
3.5 TECHNIQUES D'OBSERVATIONS ET ACQUISITION DES DONNÉES.....	16
3.5.1 - <i>Organismes telluriques et flores</i>	16
3.5.2 - <i>Données biométriques</i>	17
3.6 ANALYSES DES DONNÉES.....	18
3.6.1 - <i>Analyse de la mésofaune</i>	18
3.6.2 - <i>Données biométriques, prévision et modélisation de la croissance des plants</i>	18
IV. RESULTATS	19
4.1 pH DU SOL.....	19
4.2 LA FAUNE TELLURIQUE DES DEUX ITINÉRAIRES TECHNIQUES	19
4.2.1 - <i>Les nématodes</i>	19
4.2.2 - <i>La mésofaune</i>	20

4.2.3 -Abondance en spores de Mycorhizes	26
4.3 ÉVOLUTION DE L'ENHERBEMENT	27
4.4 ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES COÛTS DE CHAQUE TRAITEMENT	28
4.5 MODÉLISATION DE CROISSANCE PAR INFÉRENCES BAYÉSIENNES	29
4.5.1 -Pour l'itinéraire technique agro-écologique.....	29
4.5.2 -Pour l'itinéraire technique conventionnel.....	30
4.6 PRÉVISION DE PRODUCTION DES PARCELLES.....	31
V. DISCUSSION	31
5.1 LA BIODIVERSITÉ OBSERVÉE, CONSTATS ET PERSPECTIVES.....	31
5.2 PERSPECTIVES ET LIMITES DE L'APPROCHE ECONOMIQUE	33
5.3 QUESTIONS D'ECHANTILLONNAGE	34
VI. CONCLUSION	34
VII. PERSPECTIVES.....	34
VIII. REFERENCES	35
ANNEXES	I
1 Indices de biodiversité.....	I
2. Espèces rencontrées dans la mésofaune.....	II
3 Choix du modèle de croissance logistique et détail statistiques	II
4 Détails du coût des ITK 1 pour chaque agriculteur p. IV.....	III
5 Détails du coût des ITK 2 p.V.....	III
6 Histoire et perspectives de la spéculation bananière aux Antilles Françaises.....	VI
7 Test non paramétrique des différences de pH	VII

I. Introduction

La culture de la banane est depuis près d'un siècle, une composante essentielle de l'économie guadeloupéenne. Mais aujourd'hui, le contexte économique et les considérations environnementales actuelles obligent à penser des systèmes de culture différents. Le projet ALTERBIO « Alternatives biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananes plantains » dans lequel s'inscrit ce stage, envisage de mieux comprendre les éléments qui structurent la culture de la banane plantain et leurs impacts environnementaux pour mettre au point des méthodes de cultures alternatives viables économiquement et respectueuses de l'environnement fragile de Guadeloupe.

L'état des lieux, précédemment réalisé (Forite, 2011 ; Auguste 2012 ; Ramaël, 2012), a permis de proposer la mise en place de systèmes de culture innovants permettant de concilier les objectifs environnementaux et économiques. Il s'agit particulièrement de travailler à augmenter la longévité des cultures, aujourd'hui victimes d'une pression accrue des ravageurs, et de la dégradation de la qualité du sol du fait de l'usage excessif d'intrants chimiques. L'agro-écologie est une discipline qui appréhende ce type de problématiques agricoles en intégrant les interactions écologiques qui ont lieu dans un système de culture.

Les objectifs de cette étude sont : 1. la mise en place de systèmes de culture à base de banane plantain innovants ; 2. l'estimation des modalités nécessaires à leur adoption.

L'hypothèse testée est que la création et le renforcement des interactions écologiques dans le sol sont susceptibles de favoriser la résistance des bananiers aux agressions et de contrôler un certain nombre d'agents pathogènes

Les pratiques conventionnelles de trois agriculteurs et le système de culture innovant sont comparés, du point de vue économique, agronomique et écologique.

II. Eléments de contexte

2.1. La banane plantain, réalité et perspectives

La banane plantain est le type de Musacées le plus produit et le plus consommé dans le monde (Ramaël, 2012). A l'inverse des variétés exportées massivement vers les pays occidentaux (Europe et Amérique du Nord principalement), elle est avant tout consommée localement, cuite, comme aliment de base. La banane plantain constitue dans la zone intertropicale un pilier de la sécurité alimentaire pour de nombreuses populations (Temple *et al.* 2000). Néanmoins cette culture peine aujourd'hui à suivre efficacement la croissance démographique élevée des pays concernés.

En Guadeloupe, la banane plantain est généralement classée parmi les cultures vivrières, comme appoint amylicé à l'alimentation des familles. Elle est cultivée principalement au sein de petites exploitations à faible trésorerie, et les plus gros producteurs la cultivent en marge de leurs cultures principales (Forite, 2011). En raison d'une demande en accroissement sur le marché local, sa culture a tendance à s'intensifier (Nkendah, 2003). Pour les planteurs de bananes "Cavendish" touchés par la forte concurrence des pays d'Amérique du Sud sur le marché européen ("banane dollar"), il s'agit là d'une culture de diversification, souvent mise en place par les planteurs les plus fragilisés par cette conjoncture (Delcombelle, 2005).

Cette intensification se traduit par la mise en place de monocultures intensives de plantains à forts intrants chimiques. Les rendements ainsi obtenus sont nettement supérieurs à ceux observés dans le reste de la Caraïbe (Auguste, 2012), mais la durée de vie de ces bananeraies n'excède pas trois ans. En général, l'état d'infestation parasitaire du matériel végétal est (malgré l'intensité des traitements) tel que le terrain est impropre à la culture de banane pour au moins un an moyennant des conditions d'assainissement précises. La marge d'amélioration des systèmes est donc grande. D'une part certains types de bananeraies durent aisément une vingtaine d'années en Amérique du Sud ou en Afrique (Gold, 1991), d'autre part, la lutte chimique n'est plus ni le seul procédé ni nécessairement le plus économique des moyens de contrôle des pathogènes.

Il convient donc d'identifier les contraintes auxquelles sont confrontés les agriculteurs, au sein de leurs systèmes de culture, et qui imposent l'emploi d'autant d'intrants par les agriculteurs.

2.2 Modalités de conduite d'une bananeraie en Guadeloupe

La banane plantain est un hybride issu du genre *Musa*, qui regroupe les plus grandes herbes connues. La variété étudiée ici, est la « French », qui est la plus répandue en Guadeloupe.

« Une bananeraie durable et productive se gagne à la plantation » (Abadie, 2002). Ainsi les coûts d'installation d'une plantation sont seront moins lourds à amortir si la plantation dure. Les récoltes ont lieu à partir de 9 mois après plantation, mais souvent les cycles se décalent rapidement une fois la première récolte effectuée, ce qui conduit à des récoltes tout au long de l'année jusqu'à la fin de vie de la plantation.

Les rejets depuis le bulbe assurent en effet dès le second cycle un chevauchement des récoltes puisque ces rejets se développent tout au long de la croissance du plant mère. Mais ces mêmes rejets en mobilisant les ressources du sol obligent à un contrôle de leurs nombres pour optimiser le rendement voire pour limiter les épisodes de récoltes. La coupe de ces rejets s'appelle l'œilletonnage.

L'entretien de la parcelle est essentiel. Il concerne avant tout le contrôle des adventices ou mauvaises herbes, des parasites et ravageurs, l'œilletonnage et le soin aux fruits. Mais aussi l'assainissement du matériel végétal à la plantation qui s'avère crucial. La conduite d'une bananeraie dépend bien souvent des capacités en temps et en argent de l'agriculteur. La production bananière avec un ratio de main d'œuvre entre 0.7 et 1.5 hommes par hectare est coûteuse en temps de travail par rapport à d'autres cultures tropicales (Temple *et al.*, 2008).

Le précédent cultural s'avère crucial pour une bananeraie durable, celui-ci peut impliquer une contamination du terrain par les parasites du bananier. Les facteurs importants à l'échelle de la parcelle sont la disponibilité nutritive, la texture et la qualité de drainage du sol, ainsi que le microclimat, pour la température, la pluviométrie mais aussi l'exposition aux vents. En effet les bananiers sont très sensibles aux vents violents, ce sont des herbacées géantes. Le succès d'un système de culture bananier est donc largement conditionné par la maîtrise des contraintes. Celles-ci détermineront le choix des pratiques culturales à mettre en place. Il convient donc d'identifier les principales contraintes auxquelles sont confrontés les agriculteurs, au sein de leurs systèmes de culture, et qui conduisent en particulier à l'emploi d'autant d'intrants.

2.3 Bio-agresseurs, moyens de lutte conventionnels et conséquences phytosanitaires.

Les maladies et ravageurs de la banane plantain sont nombreux, évolutifs et très nuisibles. Certains nuisibles sont extrêmement récents (Cercosporiose noire) sur le territoire et très localisé, mais pèsent d'ors et déjà de par leur virulence comme une nouvelle menace sur la production. Néanmoins la lutte chimique n'assure pas la viabilité des plantations qui sont ainsi davantage pensées comme des cultures annuelles plutôt que pérennes (Gold, 1991). En Guadeloupe, les principaux nuisibles du bananier sont les suivants :

2.3.1-Le charançon noir (Cosmopolites sordidus, Germar 1824)

« La destruction d'un parasite tel que le Charançon du bananier n'est certes pas une tâche facile. Le temps est passé où l'on pouvait croire que, par la seule vertu d'un puissant insecticide, on viendrait à bout, sans coup férir, de ce redoutable ravageur » (Grassé, 1950).

Les maux de la banane ne sont pas récents, le charançon est toujours aujourd'hui le problème majeur de la culture bananière.

La lutte chimique reste le principal dispositif mis en place, bien souvent, sans véritable contrôle des quantités d'insecticides en jeu. Les limites de cette approche sont les coûts financiers non négligeables, l'apparition d'insectes résistants (Gold, 1991), et des préjudices sanitaires aussi bien pour les sols et les rivières que pour l'homme (Bonny, 2010).

Le choix d'une méthode aussi extrême s'explique par les dégâts considérables causés par le ravageur. Les larves, se développent à l'intérieur du bulbe de bananier, et entraînent des retards de croissance, une fragilité mécanique des plants, et une productivité moindre (Forite, 2011). De plus en creusant des galeries, ce parasite peut favoriser l'infestation par des parasites secondaires (Castrillon, 1991).

2.3.2-Les nématodes (espèces endoparasites et semi-ectoparasites)

Les lésions causées par les nématodes parasites sont des contraintes majeures à la culture de la banane (Loranger-Merciris *et al.*, 2012). Les nématodes s'installent dans le cortex parenchymateux des racines et entraîne la lyse de ses cellules. Ils peuvent remonter dans le rhizome du bananier (Gowen, 1995). Les conséquences physiologiques sont pléthores : l'accès à l'eau ou aux nutriments (Carlier, 2002) est limité, l'ancrage de la plante est affaibli et avec lui l'augmentation du risque de chute du bananier. La production est ainsi significativement diminuée tant au niveau du nombre de fruits produits par pied, que de leurs poids. De plus les phases de floraison et de maturation sont retardées (Speijer, 2000).

La lutte contre les nématodes est un point crucial de la conduite d'une bananeraie. En effet, l'infestation par les nématodes entraîne dans bien des cas l'abandon des plantations. Les méthodes de lutte contre les nématodes consistent avant tout dans le choix d'une parcelle relativement saine. Ce qui n'est pas chose facile puisque certaines plantes hôtes des nématodes poussent librement dans les jachères, qui ont vocation à assainir. La culture peut parfois nécessiter un assolement rigoureux (Gowen, 1991). La lutte chimique est relativement courante, avec l'emploi de nématicides toxiques, coûteux et dangereux à manipuler pour un personnel non expert. De plus elle peut entraîner malgré la diminution de l'abondance totale de nématodes, une augmentation de l'abondance des espèces les plus nuisibles (Ramaël, 2012).

2.3.3-L'enherbement

En milieu tropical, l'enherbement d'une parcelle est très rapide. Il peut en un mois, atteindre un mètre de hauteur. D'une part, cette flore adventice mobilise des ressources en eau et nutriments non négligeables, d'autre part elle peut être hôte des parasites du bananier vus précédemment. Enfin elle limite l'accessibilité aux champs.

Le contrôle de cette flore passe généralement par l'utilisation d'herbicides. Les traitements sont essentiels surtout en début de plantation, avant que l'ombrage des feuilles de bananier n'inhibe en grande partie la croissance de cette flore. Ils peuvent être répétés tous les mois. Cette lutte chimique, une fois encore, a un coût économique et environnemental.

Jusque dans les années 1980, dans le contexte d'industrialisation de l'agriculture, avec pour objectif principal l'augmentation des rendements, la nutrition des cultures est basée principalement sur les intrants (Feller, 2004). L'équilibre des interactions sol-plante-atmosphère passait donc par le concours permanent de l'agriculteur. Mais cette approche en négligeant les sorties de matière organique depuis le système a entraîné des pollutions importantes et parfois irréversibles (nitrates dans les rivières, ou dans les nappes phréatiques), sans parler de l'emploi souvent excessif et parfois contre productif de produits phytosanitaires dangereux. Cette dépendance aux intrants a été dramatique pour l'agriculture de certains pays pauvres, moins à même de faire face à l'augmentation du prix des intrants.

Ces trois bioagresseurs et les pratiques associées ont un coût environnemental et économique qui, à long terme, peut s'avérer désastreux pour l'utilisation des terres ou la santé humaine.

Dans ce contexte, chacun de ces problèmes peut être appréhendé non pas du point de vue de l'agronome mais de celui de l'écologue.

2.4. Des innovations agro-écologiques

L'agroécologie s'efforce de retracer l'origine des coûts environnementaux des pratiques conventionnelles, pour proposer des solutions moins onéreuses et durables. Elle préconise ensuite l'utilisation des connaissances et outils de l'écologie pour concevoir des systèmes agricoles durables.

2.4.1 -Un matériel végétal sain, les Plants Issus de Fragments de tiges (PIF)

La qualité sanitaire des bananiers plantains (nématodes, charançons) est un problème mondial, et la demande d'un matériel assaini explose (Kwa, 2002). La méthode PIF permet à moindre coût, de produire en masse et en quelques mois du matériel sain. Il s'agit de multiplier dans un environnement contrôlé et assaini, après traitement anti-infectieux, des bulbes sains dont le méristème principal est inhibé pour récupérer les rejets issus des méristèmes secondaires. Diagnostiquer à vu d'œil les infestations n'est pas toujours évident avec des endoparasites. Ainsi l'échange de baïonnettes (rejets prêts à planter) entre agriculteurs peut répandre les parasites. Cette méthode, plus sûre, est un outil performant pour la réduction des pesticides et des contaminations par l'usage de plants infestés.

2.4.2 -L'apport de matière organique au sol : le vermicompost

Le compostage reproduit en situation contrôlée les processus d'humification des résidus organiques dans les sols, menant à l'élaboration d'un amendement organique « hygiénisé » et stable (Simpfor, 2011).

Le vermicompost est le produit de cette activité associée aux effets de fragmentation et de conditionnement du sol par les vers de terre. Cet amendement organique a des effets bénéfiques sur la croissance des plantes, il modifie la structure du sol, permet l'accessibilité aux nutriments, augmente les populations microbiennes, contrôle les populations de

nématodes phytoparasites (Edwards, 1988 ; Kahsnitz, 1992 ; Galli & Tomati, 1995 ; Doube *et al.*, 1997 ; Gilot, 1997).

En Guadeloupe, et sous conditions contrôlées, des amendements organiques ont diminué l'infestation des racines de bananiers par les nématodes phytoparasites (Tabarand *et al.*, 2011). Ces amendements semblent profiter aux populations de nématodes prédateurs, qui contrôlent alors les populations de parasites.

Il y a peu d'études sur l'intérêt du vermicompost dans le contrôle de ces populations phytoparasites de la banane. Néanmoins le ratio de C : N est progressivement diminué par l'apport de vermicompost (Dominguez, 2004) et ce ratio a été linéairement corrélé à la diminution des infections par nématodes (Rodriguez-Kabana, 1987).

2.4.3 -Le contrôle de la flore adventice et la capture de nutriments par une plante de service

L'association de peuplements végétaux s'effectue sur la base des propriétés des espèces. Dans le cas de la monoculture de banane, pour contrer l'enherbement et éviter l'emploi d'herbicides, une plante de service peut inhiber le développement de la flore adventice en interceptant la lumière et en occupant l'espace au sol. L'association de plantes avec des systèmes racinaires différents peut également stimuler l'installation de la faune tellurique. De plus cette plante peut apporter des nutriments (légumineuses et fixation de l'azote atmosphérique (Dorel *et al.*, 2011).

Ces innovations constituent un « package » issu des diagnostics antérieurs (Forite, 2011 ; Auguste 2012 ; Ramaël, 2012) mettant en avant la biodiversité, comme enjeu de la durabilité, problématique en Guadeloupe. Ce « package », et en particulier le vermicompost, sont issus d'une prise en compte des nombreuses interactions qui interviennent dans le système de culture, et en particulier dans le sol.

Quantifier la durabilité d'un système de culture est une approche intellectuelle utilisée depuis le 19^{ème} siècle (Thaer, 1811-1816). L'idée étant de représenter et prédire l'évolution de paramètres agro-environnementaux les uns par rapport aux autres. Aujourd'hui, on parlera de système sol-plante-atmosphère à l'échelle d'une parcelle, contenant l'ensemble de ces paramètres pouvant être interconnectés, et ils sont nombreux. La plante peut-être vue comme une interface, sensible aux variations des paramètres du sol et de l'atmosphère.

Ainsi il y a tout lieu d'estimer des paramètres pédologiques, dans l'étude de la croissance ou du développement d'une plante.

« Les modes d'occupation des sols et de gestion des terres ont des effets importants sur la nature des restitutions organiques et, par les techniques culturales qui en découlent, sur un certain nombre de facteurs qui affectent les cycles biogéochimiques et les communautés microbiennes du sol » (Attard *et al.*, 2011). Avec l'augmentation des connaissances sur les interactions dans le sol, portant par exemple sur les phénomènes de recyclage de matière organique, les pistes étudiées visent à plus d'autonomie des systèmes de cultures. Néanmoins les paramètres du sol utilisés dans les modèles ne prennent presque jamais en compte directement la faune présente mais plutôt les paramètres qu'elle contrôle (Feller, 2004). Ainsi la structure du sol ou l'accessibilité des nutriments est le résultat pour une bonne d'une activité biologique (Colman, 2008). Ainsi le fonctionnement du sol va évoluer suivant la biodiversité qu'il contient. Des études mettent en évidence que la biodiversité concernée est diverse (micro-organismes, mésofaune, macrofaune). Le maintien de cette biodiversité en connaissance des éléments qu'elle contrôle, est donc une garantie de qualité du sol. Cette biodiversité peut être classée par rôle et selon l'échelle son action sur le sol.

De Darwin aux années 1960, l'essentiel des connaissances sur l'activité de la faune du sol concernait les vers de terre (Huhta, 2006). Ces derniers modifient la structure du sol en se déplaçant (Darwin, 1881). Aujourd'hui, les connaissances quant à leurs rôles sur les propriétés du sol sont nombreuses. Dans certaines forêts, les quantités d'azote mobilisées par ces populations de vers de terre peuvent être au moins égales à celle issue de la chute des feuilles (Satchell, 1967). Le rôle mécanique et chimique de la faune du sol n'est donc pas même négligeable dans ces proportions. Ce rôle peut être subdivisé les fonctions et échelles d'activité (Eglin, 2010) :

2.5.1 -Les ingénieurs écologiques (vers de terre, fourmis, termites)

Ce sont les organismes responsables du maintien de la structure du sol par la formation d'un réseau de pores et de structures biogéniques, d'agrégats, ou par le transport de particules. Ils répartissent les ressources en eau et en matière organique (M.O.) dans les différentes strates du sol.

2.5.2 -Les régulateurs biologiques, transformateurs de litière (arthropodes, enchytréides)

Ils fragmentent les débris végétaux et accélèrent ainsi la décomposition de la matière organique.

2.5.3 -Les régulateurs biologiques, prédateurs et parasites

Ils contrôlent les effectifs des populations des autres groupes fonctionnels.

2.5.4 -Les ingénieurs chimiques ou décomposeurs (bactéries, actinomycètes, champignons)

Ce sont les organismes responsables de la transformation du carbone à travers la décomposition de la MO et transformation des nutriments. (N, P, S)

Dans un système interdépendant comme le système sol-plante-atmosphère, tous ces groupes fonctionnels ont des conséquences sur le développement et la croissance des plantes. Leur rôle est établi dans le recyclage des nutriments, et leur accessibilité pour les plantes. Mais aussi dans la régulation des processus hydrologiques, la détoxification de composés chimiques nocifs, ou la suppression d'organismes indésirables (Altieri, 1999). Le nombre d'espèces animales indépendamment des groupes cladistiques ou trophiques, affecte significativement la réponse de la plante aux processus du sol (Cragg, 2001). A contrario une agriculture intensive peut induire la diminution voir la perte de l'un des éléments de la diversité fonctionnelle (Dan *et al.*, 2009).

Ces connaissances ont donné jour à une conception de l'agriculture basée sur ses interactions avec l'environnement. L'objectif d'une augmentation de la productivité est conservé mais intègre la préservation des propriétés écologiques du sol d'autant que celles-ci y contribuent.

Dans ces systèmes de culture dits «agro-écologiques » il est envisagé de mettre en place et d'exploiter ces propriétés.

2.6 Objectifs

L'objectif central de cette étude est de mettre en place et tester un « package » agro-écologique. Les éléments qui structurent l'analyse de ce système de culture s'axent sur des dimensions économiques, agronomiques et écologiques.

2.6.1 -Objectifs économiques

Ils nécessitent une compréhension des pratiques culturelles actuelles. Ce projet est ainsi dans la continuité des diagnostics agro-écologiques et économiques réalisés dans le programme de recherche ALTERBIO. Pour être en mesure de proposer des systèmes de culture adoptables, il faut saisir les logiques décisionnelles des agriculteurs.

Les innovations agro-écologiques doivent donc être en adéquation avec les impératifs de rentabilité des acteurs. Les besoins matériels, en main d'œuvre, l'aspect pratique des dispositions à prendre, sont autant d'éléments qui conditionnent l'adoption du package et donc sa réussite.

2.6.2 -Objectifs agro-écologiques

Il s'agit toujours d'estimer l'impact du système de culture innovant sur la productivité des parcelles, mais en intégrant la qualité de l'état écologique des sols comme un facteur de cette productivité.

III. Matériels et méthodes

3.1 Conditions expérimentales

L'expérimentation a lieu chez trois agriculteurs. Deux sont présents dans le croissant bananier (fig. 1), au Sud de la Basse-terre, dans la commune de Capesterre (La Sarde). Les indicatifs de ces deux agriculteurs utilisés dans les graphiques et tableaux seront par la suite BE et AAF. Les deux parcelles sont distantes de moins de 200mètres. Le troisième agriculteur est situé plus au nord, dans la commune de Petit-Bourg à Valombreuse (indicatif NS). Les plantations ont eu lieu en saison sèche entre Février et Mars 2013. Les trois agriculteurs ont un précédent cultural similaire. Le type de sol est le même dans les trois exploitations, il s'agit d'un nitisol. Le précédent cultural est le même dans les trois champs : Jachère depuis au moins un an et demi.



Fig. 1 : Le croissant bananier en Guadeloupe et les deux sites. (Tixier, 2004)

-  Capesterre
-  Petit-Bourg

3.2 Les facteurs de l'étude

3.2.1-*Caractéristiques chimiques du sol : pH_{H_2O} et pH_{KCl}*

La concentration en ions H^+ est cruciale dans les cycles biogéochimiques du sol. Elle est importante pour l'accessibilité des nutriments par les plantes.

3.2.2 -*Organismes telluriques et flore*

La biodiversité est recueillie, à quatre niveaux différents :

- La mésofaune : il s'agit des microarthropodes (entre 0.2 et 4mm)
- Les nématodes : l'identification et le comptage de certaines espèces de nématodes est un indicateur direct de l'état d'infestation des parcelles.
- Les spores de mycorhizes : elles peuvent exprimer par leur abondance, un degré d'accessibilité aux nutriments puisqu'elles prolongent les systèmes racinaires.
- L'enherbement : il constitue une bioagression "végétale" et permet de caractériser l'état de contraintes dans lequel se situe l'exploitant.

3.2.3 -*Données biométriques*

Les circonférences et hauteurs des bananiers sont des indicateurs immédiats de la bonne santé d'une parcelle. Elles peuvent être corrélées au rendement attendu.

3.2.4 -*Données économiques*

Pour envisager l'adoption du package agro-écologique par les agriculteurs, il faut nécessairement estimer son coût, par rapport à celui d'un traitement conventionnel. Les coûts en main d'œuvre et en matériel ont donc été évalués.

3.3 Les traitements

Dans cette étude les traitements correspondent aux pratiques culturales conventionnelles d'une part, du "package" agroécologique d'autre part. Les méthodes employées par les agriculteurs pour répondre aux contraintes spécifiques à leur exploitation définissent des itinéraires techniques différents. (ITK).

Ces pratiques, seront regroupées pour les trois agriculteurs, au sein du traitement « conventionnel ». Ce choix se justifie par la proximité relative de ces pratiques en elles par rapport à la distance qui les sépare de celle de l'itinéraire technique agro-écologique.

Le détail de ces pratiques agricoles est présenté dans le tableau 1.

Afin de simplifier la lecture des graphiques et tableau de ce document, un jeu de couleur spécifique aux deux itinéraires techniques a été adopté :

Dégradés de rouge pour l'itinéraire technique conventionnel : ITK1

Dégradés de Bleu pour l'itinéraire technique agroécologique : ITK2

3.3.1 -Itinéraire technique conventionnel (ITK1)

Le tableau ci-dessous illustre les pratiques conventionnelles rangées au sein du même itinéraire technique.

Tab. 1 : Détails de l'itinéraire technique conventionnel pour chaque agriculteur (ITK1)

AAF	ITK1_Itinéraire conventionnel	BE	ITK1_Itinéraire conventionnel	NS	ITK1_Itinéraire conventionnel
Début : plantation	14.03.2013	Début : plantation	08.03.2013	Début : plantation	19.02.2013
Parage		Parage		Parage	
Taille du bulbe des pieds pour enlever des parasites potentiels		Taille du bulbe des pieds pour enlever des parasites		Taille du bulbe ..	
Pralinage		Pralinage		Pralinage	
Trempage des pieds dans un Insecticide				Trempage des pieds dans déjection animale	
Fertilisation_chimique		Fertilisation_chimique		Fertilisation_chimique	
DAP Phosphate diammoniqu 1 et 2 mois après plantation		DAP deux mois après plantation		Urée à la plantation	
		Urée un mois après plantation			
Fertilisation_organique		Fertilisation_organique		Fertilisation_organique	
				Germiflor deux mois après plantation	
désherbage chimique		désherbage chimique		désherbage chimique	
Basta deux mois après plantation		Basta deux mois après plantation		Réglone deux mois après plantation	
désherbage manuel		désherbage manuel		désherbage manuel	
		deux mois et demi après plantation			
Disposition des plants et trouaison		Disposition des plants et trouaison		Disposition des plants et trouaison	
allongé sillon		allongés trouaison		allongés trouaison	

Tous ces agriculteurs utilisent à la fois, des intrants chimiques et des pesticides. Dans les trois cas, l'origine des plants de bananiers est différente, et les pieds sont plantés couchés. Les bananiers à venir sont ainsi issus d'un rejet de ces pieds, disposant des ressources nutritives du bulbe.

3.3.2 -Itinéraire technique agro-écologique (ITK2)

Il intègre les innovations agro-écologiques présentées précédemment.

a) Plants PIF :

Les PIF ont été préparés dans une serre sur le site de l'INRA. Une croissance en pot des PIF avec engrais (Starter) est effectuée (entre 0.5 et 2 mois) avant leur installation au champ, Elle est nécessaire car ces plants n'ont presque pas de réserve, la partie bulbeuse étant petite. Ces plants à l'inverse des rejets des agriculteurs sont plantés droit dans le sol.

b) Le vermicompost :

La préparation du vermicompost implique une surface relativement étendue (fig. 2). Il implique un arrosage régulier pour la survie des vers. De plus il faut retirer les vers du produit fini, pour assurer les cycles suivants. Les quantités utilisées sont les suivantes :

1.5 kg par plant à la plantation ;
3kg par plant deux mois après celle-ci (déjà réalisé), et 3kg par plant à 6 mois



Fig.2: Piscines de vermicompost.

c) Les plantes de services (PDS):



Fig. 3 : Parcelle agro-écologique du champ NS, avec plantes de service.

L'espèce retenue en tant que plante de service est *Arachis pintoï*. Cette plante rampante peut atteindre 100% de taux de couverture en six mois. Sur la figure 3, l'installation des PDS date de moins de deux mois. Des boutures ont été récupérées dans un champ de cette espèce puis mises sous serre pour croître et développer un système racinaire conséquent. La densité de PDS retenue pour raison pratique et économique est de 4 boutures au m².

L'installation de ces plantes s'est avérée coûteuse en main d'œuvre. La méthode retenue implique des trouaisons de 10cm de profondeur (environ 25 boutures entre 4 bananiers).

3.4 Unités et design expérimentaux

Le design expérimental implique 450 bananiers pour une surface totale de 1800m² réparti entre les deux traitements comme le montre la figure 4. Théoriquement, la disposition des parcelles aurait dû être la même pour les trois agriculteurs (comme celle d'AAF). Mais pour des raisons pratiques liées à l'activité des agriculteurs il n'a pas pu en être ainsi. Chaque parcelle contient 9 bananiers centraux sur lesquels sont effectués les mesures biométriques et 16 bananiers de bordures (fig.5).

Ces plants de bordures ne présentent pour l'ITK1 aucune différence avec les neufs plants centraux. En revanche pour l'ITK 2, il s'agit de baïonnettes parées et pralinées à l'eau de Javel et à un nématicide. C'est le traitement effectué sur les bulbes de PIF sans la phase de croissance en pot. Ces plantes de bordures sont plantées couchées

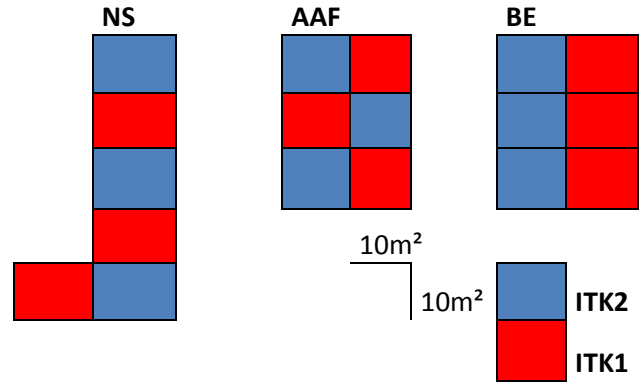


Fig. 4 : Répartition spatiale des parcelles de chaque agriculteur suivant le traitement.

Pour les facteurs pédologiques et chimiques, l'unité expérimentale est la parcelle, mais les données biométriques ont un degré de précision supplémentaire, le bananier.

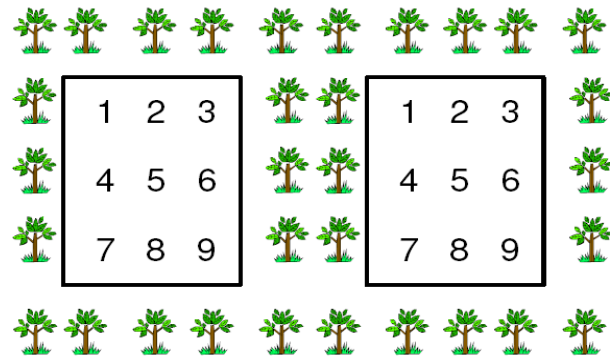


Fig. 5 : Schéma de deux parcelles avec plants centraux et plants de bordures.

Six parcelles, tirées d'une autre expérience, pour des itinéraires techniques similaires, ont été utilisées (Projet Banabio, Deloné, données

non publiées). Ces bananeraies (organisées de la même façon) sont à un stade plus avancé (8 mois) et permettent une projection dans le temps plus poussée (Indicatif des parcelles : Conventionnel ; ITK1_T6 ou T8 & agroécologique ; ITK2_T6 ou T8 mois). Les facteurs concernés par l'utilisation de ces parcelles sont la mésofaune et la circonférence des bananiers.

3.5 Techniques d'observations et acquisition des données

3.5.1 -Organismes telluriques et flores

a) La Mésofaune :

Deux carottes de 0.0015 m^3 pour un échantillon ont été prélevées dans un cercle de 1m de rayon autour du bananier central de chaque parcelle. La faune est extraite par la méthode de

Berlèse. Les échantillons de sol sont mis sous une lampe deux semaines et la chaleur invite la faune à fuir en direction d'un récipient d'alcool à 70°. Le comptage a lieu sous loupe binoculaire. L'identification est faite par grands groupes taxinomiques.

b) Les nématodes :

Un échantillon composite de trois carottes de 0.0022 m³ a été prélevé suivant un transect diagonal entre les neufs pieds et passant par le bananier central. Les nématodes sont extraits par élutriation à partir de 300g de sol, puis comptés au microscope optique.

c) Les spores de mycorhizes :

Elles sont issues du même prélèvement au champ que pour les nématodes. 100g de sol sont collectés ; les spores sont extraites par centrifugation et comptées à partir de la suspension.

Pour ces trois facteurs, il y a eu trois campagnes de relevés. La première a eu lieu après le labour, pendant la plantation (= à T0). A cette époque les parcelles n'ayant pas encore été définies dans les différents champs, les moyennes des relevés (cinq par agriculteur) obtenues pour les différents facteurs, constituent une situation initiale commune aux deux ITK. Enfin à un et deux mois après plantation (=T1&T2), un échantillon par parcelle a été récolté. De plus pour la mésofaune, des prélèvements sur les six parcelles de l'expérience Banabio ont été réalisés.

d) L'enherbement :

Il est déterminé par un transect, d'un mètre carré tout les deux mètres pour un total de cinq mètres carrés étudiés. Les données de chaque espèce observée correspondent à un taux de recouvrement du sol. Ce facteur a été étudié avant le labour chez les trois agriculteurs et à T2 pour NS seulement, à cause des rythmes de désherbage.

3.5.2 -Données biométriques

Les circonférences et les hauteurs ont été mesurées à dix centimètres du sol, pour les neuf bananiers centraux de toutes les parcelles avec une fréquence discontinue (contraintes matérielles). Les circonférences relevées sur les parcelles de l'expérience Banabio, (T6 et T8) ont été recueillies de la même manière.

3.5.3 -Données économiques

Les données relatives au temps de travail sont directement estimées à partir des activités agricoles pratiquées durant ce stage. Les coûts journaliers proviennent des déclarations des agriculteurs, tout comme le sont les quantités de produits (intrants et autres) utilisées par ces derniers. Pour le prix des intrants, il provient des prix pratiqués dans le commerce.

3.5.4 -pH du sol

Un grand nombre des données chimiques sont à ce jour en cours d'analyse, mais les $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et pH_{KCl} sont disponibles à T0 & T1 pour les 18 parcelles (six par agriculteur).

3.6 Analyses des données

L'analyse a été réalisée avec les logiciels R, Winbugs et Microsoft Office Excel.

La variabilité entre les trois agriculteurs n'est pratiquement pas considérée dans les résultats présentés.

3.6.1 -Analyse de la mésofaune.

La biodiversité de la mésofaune est analysée avec quatre indices de biodiversité conventionnels :

Shannon et Simpson (sous forme de nombre de Hill) pour l'analyse synthétisée des paramètres de richesse spécifique et d'équité, l'indice d'équitabilité de Piélou, et l'indice de divergence de Kullback – Leibler pour comparer les différents milieux selon les fréquences des espèces communes. Les distributions observées seront dans ce rapport souvent présentées sous forme de diagramme rang/abondance qui attribue aux clades, un rang décroissant suivant leurs effectifs. L'ensemble des espèces rencontrées et le détail des indices sont présentés en annexes 1 & 2.

3.6.2-Données biométriques, prévision et modélisation de la croissance des plants

Un modèle linéaire reliant circonférence des bananiers et poids des régimes existe (Auguste, 2012)

Un modèle de type logistique a été déterminé par inférences bayésiennes (fig. 6) grâce aux circonférences observées sur les 18 parcelles de l'expérience et celle à six et huit mois de l'expérience connexe. Il est utilisé pour prédire l'évolution de la circonférence durant le cycle de culture.

$$c(t) = \frac{C}{1 + e^{(t-m)}}$$

C : Circonférence maximale
t : le temps en jour
m : une variable

Fig. 6 : Le modèle logistique de croissance proposé

Des analyses multi-variées (Ancova, régression multiple, ACP) ont été effectuées avec comme variable à expliquer la croissance des plants (exprimés par la croissance ou la taille finale) et comme variables explicatives, la plupart des facteurs présentés, mais les corrélations n'étaient pas significatives.

IV. Résultats

4.1 pH du sol

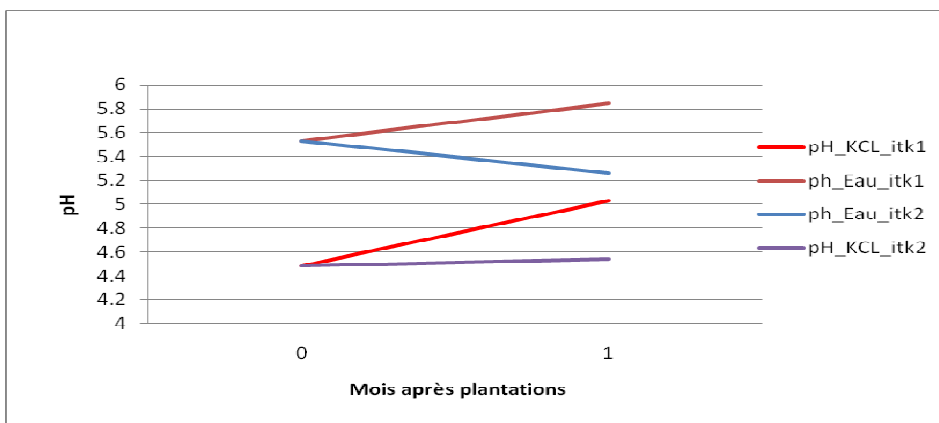


Fig. 7 : Evolution des moyennes des pH_{H_2O} et pH_{KCl} des deux itinéraires techniques entre la plantation et le premier mois.

Toutes les données de ce graphique (cf. fig.7) ont un écart-type variant autour de 1, ce qui est relativement élevé au regard des évolutions des moyennes constatées. De plus, des tests non paramétriques (cf. annexe 7) ne permettent pas de différencier les moyennes observées à t1.

4.2 La faune tellurique des deux itinéraires techniques

4.2.1 -Les nématodes

Ils sont regroupés en deux catégories, l'une correspond aux phytoparasites connus, l'autre catégorie représentent les autres espèces non identifiées.

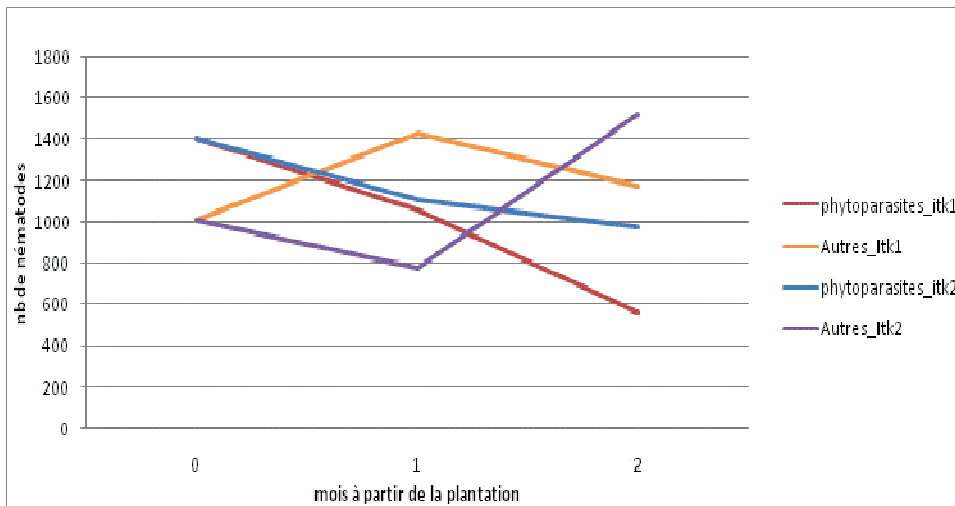


Fig. 8 : Abondances (pour 900g) des populations de nématodes pour les deux itinéraires techniques, à la plantation, à un, puis deux mois après.

Pour les deux itinéraires techniques, les populations de nématodes phytoparasites diminuent. Cette diminution est plus marquée dans les parcelles conventionnelles.

En revanche l'abondance des autres espèces évolue différemment pour chaque itinéraire. Un mois après plantation l'abondance pour l'itinéraire technique agro-écologique a diminué mais augmente au pas de temps suivant. C'est l'inverse pour l'autre itinéraire mais dans les deux cas l'abondance finale est supérieure à l'abondance initiale.

Néanmoins la variabilité est comprise entre 300 et 1700. Il s'agit du même ordre de grandeur que les évolutions observées.

4.2.2 -La mésofaune

Tout d'abord le nombre de relevé est différent entre T0 (3x5x2) et les relevés à T1 ou T2 (3x3x2). Les effectifs pour T0 ont été recalculés. Cette différence d'échantillonnage a pu créer un biais.

Deux clades sont dominants dans l'ensemble des relevés, il s'agit des collemboles et des acariens.

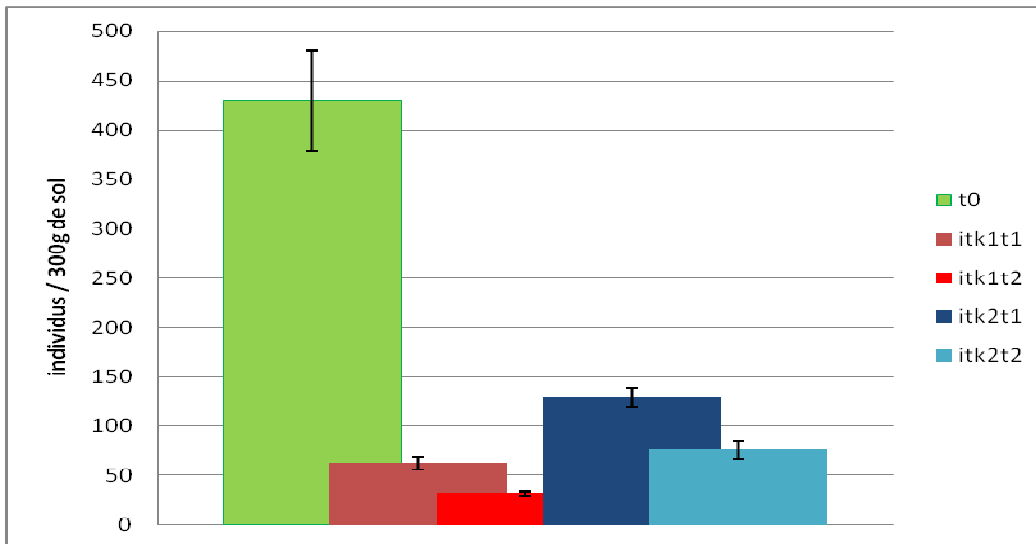


Fig.9: histogramme des moyenne des abondances de méso-faunes toutes clades confondues du temps 0 au temps 2 pour les deux itinéraires techniques.

Ce graphique (fig. 9) montre la diminution des effectifs aux pas de temps T1 et T2 dans les deux ITK. Il montre qu'elle est plus marquée dans l'itinéraire conventionnel.

a) Evolution de la mésofaune entre T0 et T1

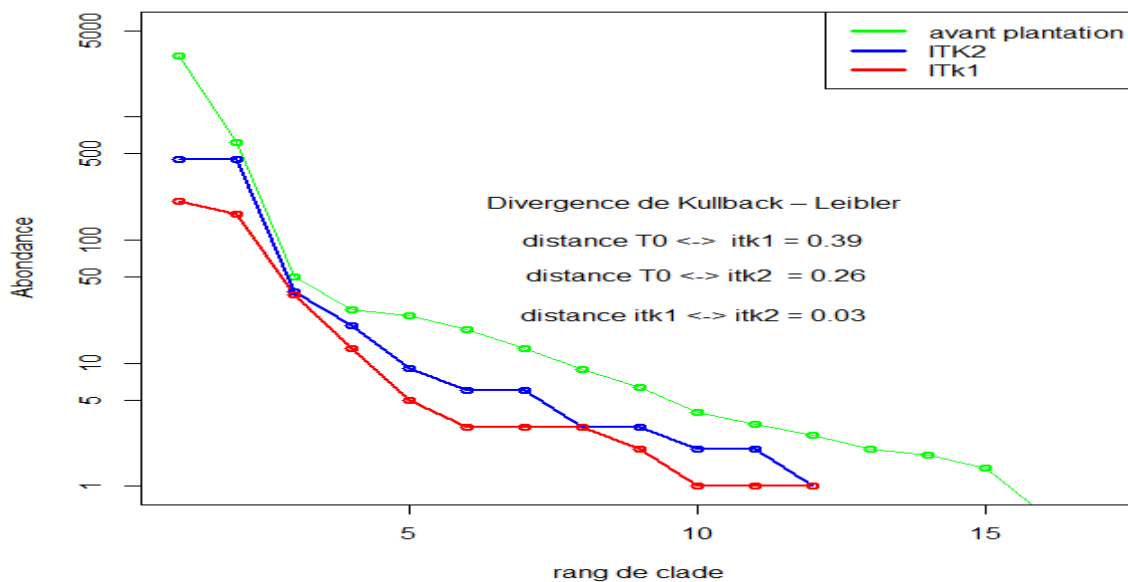
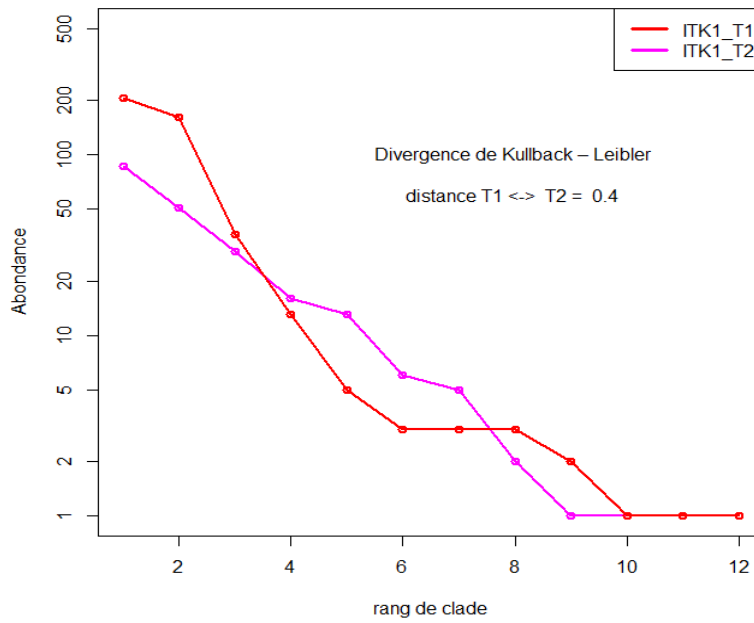


Fig.10: Diagramme rang de clade /abondance pour la mésofaune cumulée des trois parcelles au temps 0 et pour chaque itinéraire technique un mois après plantation et indices de divergence entre distribution

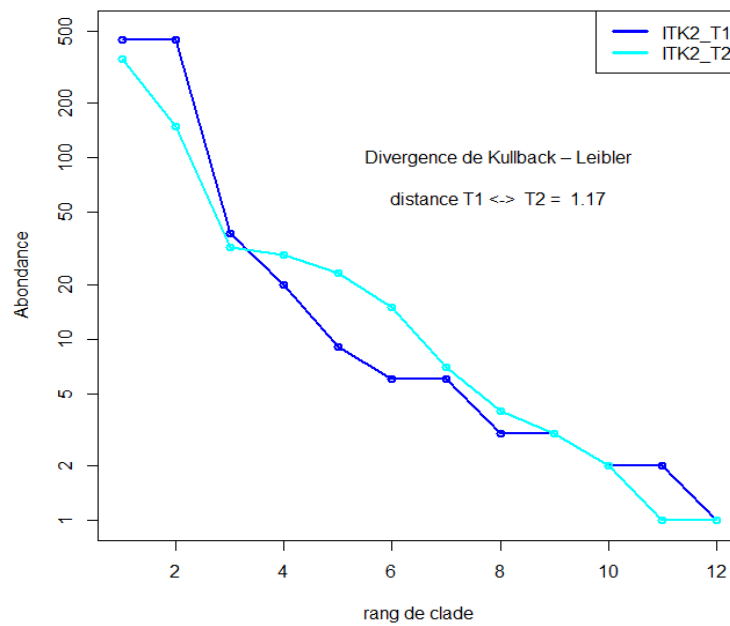
Un mois après la plantation, le nombre de clades observé diminue dans les deux itinéraires (fig. 9). De plus, la distance calculée entre les distributions montre que les parcelles agro-écologiques et conventionnelles sont plus proches entre elles. Aucune des trois courbes ne se croisent (fig. 10), la distribution des effectifs reste globalement la même. Mais les effectifs de chaque clade évoluent davantage par rapport au temps que par rapport au traitement. Ainsi l'effectif de collemboles qui constituait à lui-seul 80% du peuplement n'en représente plus désormais que 50% pour l'ITK2 et 30% pour l'ITK1.

b) -Evolution de la mésofaune entre T1 et T2

Les indices de divergences entre T1 et T2 (fig. 11) sont supérieurs à ce qui a été observé jusqu'à présent. Les effectifs de coléoptères ont significativement augmenté dans les deux itinéraires techniques (149 pour ITK1 et 51 pour ITK2). Les populations d'hétéroptères et de thrips, jusque là très faible atteignent aux alentours de 30 individus par itinéraire.



ITK1



ITK2

Fig.11: Diagrammes rang de clade /abondance, pour la méso-faune cumulée de chaque itinéraire technique (rouge : ITK1 & bleu :ITK2) entre un et deux mois après plantation et indices de divergence entre distribution de chaque ITK

L'indice de divergence calculé entre les deux traitements à T2 reste faible (0.01). Par ailleurs pour l'itinéraire technique conventionnel, la dominance n'est plus partagée entre acariens et collemboles. Ces derniers voient leur effectif divisé par presque 10 contre un facteur aux

alentours de 3 pour les acariens. Dans les deux cas on observe une augmentation des effectifs des espèces de moyen rang (les courbes T2 passent au dessus des courbes T1 ; fig. 11), mais l'abondance totale continue de diminuer.

Tab.(2) : Indices de biodiversités de la mésofaune au temps 0, au temps 1 et 2 pour les deux itinéraires techniques.

Indices	t0	itk1_t1	itk1_t2	itk2_t1	itk2_t2
Piélou	0.2461319	0.4931531	0.710907	0.440669	0.5323411
N1 Hill (Shannon)	2.0084118	3.4056625	5.139341	2.9892461	3.7539848
N2 hill (Simpson)	1.9133927	2.7077659	3.892321	2.4116782	2.5673092
S(nb de clades)	17	12	10	12	12
Effectifs	6445	436	210	932	616

Les indices de biodiversité du tableau ci-dessus sont plus élevés pour les ITK 1 et 2 à T2 qu'à T0 ou T1. Les écarts observés entre population de collemboles et acariens (effectifs dominants) et les autres clades sont très marqués au temps 0. Cette dominance à un poids considérable dans la construction des indices. Elle fait diminuer le paramètre d'équitabilité de la biodiversité.

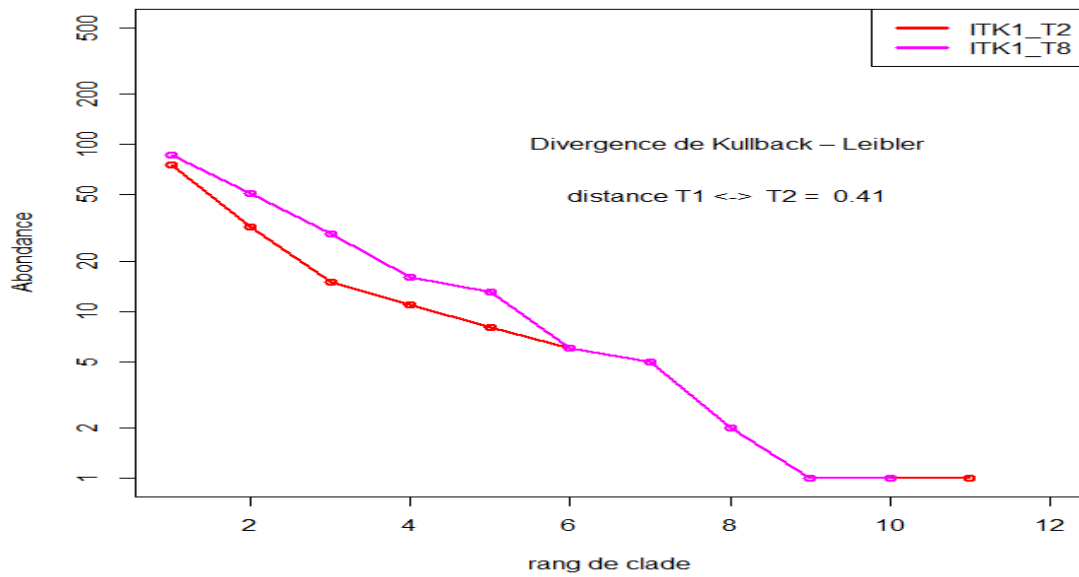
Il conviendra de discuter l'opportunité de ces indices pour estimer cette biodiversité avec les degrés de classification choisis.

La baisse des effectifs totaux et celle du nombre de clades observés entre T0 et T2 n'en reste pas moins significative.

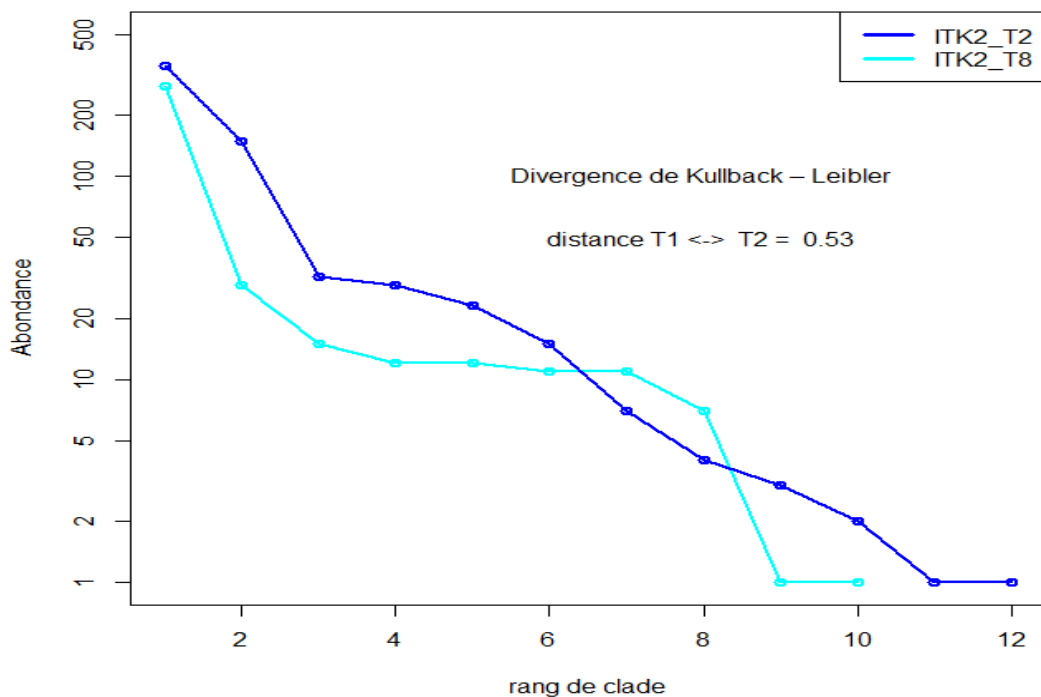
Pour obtenir une vision à plus long terme, les données de parcelles, pour des itinéraires techniques similaires, huit mois après plantation (Deloné, data unpublished), sont intégrées.

a) -Evolution de la méso-faune entre T2 et T8

Les divergences calculées entre les différents moments de la culture (T2 à T8), restent importantes dans les deux ITK (fig.11), comme c'était le cas précédemment. Même si ces divergences peuvent être imputables aux caractéristiques propres au nouveau milieu présenté, elles sont similaires ou inférieures à celle observée entre T1 et T2 (respectivement pour ITK1 et ITK2). Et ceci, alors que le pas de temps est bien supérieur.



ITK1



ITK2

Fig. 11: Diagrammes rang de clade /abondance, pour la mésofaune cumulée de chaque itinéraire technique deux mois après plantation et sur les parcelles huit mois après plantation et indices de divergence entre distribution de même ITK

En revanche la divergence de Kullback-leibler entre les deux itinéraires techniques est plus importante (0.1) qu'elle ne l'était pour les pas de temps précédents (0.03 & 0.01).

Dans le système conventionnel, l'allure de la courbe reste relativement la même, malgré l'indice élevé de divergence. Les clades présents diffèrent donc dans leurs proportions.

Cette fois-ci la diminution remarquable du nombre de collemboles observé dans l'ITK1 au pas de temps précédent, est observée pour l'itinéraire technique agro-écologique.

Tab. (3) : Indices de biodiversités, effectifs et richesse cladistiques de la méso-faune au temps 2 et au temps 8 pour les deux itinéraires techniques.

Indices	itk2_t2	Agro_t8	itk1_t2	Conv.t8
Piélou	0.53234108	0.46965159	0.71090744	0.67813786
N1 Hill (Shannon)	3.75398481	2.94884259	5.13934112	5.0840265
N2 hill (Simpson)	2.56730919	1.80067401	3.89232127	3.45853795
S (nb de clades)	12	10	10	11
effectifs	616	377	210	157

Pour les deux itinéraires, les indices sont plus faibles à T8 qu'à T2 (tab. 3). L'effectif de l'ensemble des clades de rangs 2 à 6 est plus élevé à T2 qu'à T8 dans les deux ITK. Les individus des clades de rangs moyens ont davantage de poids dans la construction des indices que ceux des clades plus rares.

De plus, la différence dans le temps entre les indices est moins marquée pour l'ITK 1 (où l'indice de divergence est plus faible).

En définitif, la diminution des effectifs est systématique d'un pas de temps à l'autre mais elle perd en vitesse. Le nombre de clades, quand bien même diminué depuis T0, est stable entre T1 et T8. Le poids des clades dominants n'explique pas à lui-seul les indices de biodiversité. Les indices élevés de biodiversité à T2 traduisent aussi une redistribution des effectifs au sein des clades.

4.2.3 -Abondance en spores de Mycorhizes

Les abondances moyennes pour tous les pas de temps et dans les deux itinéraires techniques sont sensiblement les mêmes. La densité moyenne est de 23,44 spores pour cent grammes de sol frais. Les écarts-types sont dans tous les cas du même ordre de grandeur. Il y a donc une grande variabilité entre les échantillons mais aucune identifiable entre les pas de temps ou entre les ITK.

4.3 Evolution de l'enherbement

Ces résultats sont issus d'un échantillonnage réduit (un seul agriculteur). Le temps 0 correspond ici à l'état de jachère précédent le labour et la plantation. Il y a eu chez tous les agriculteurs un désherbage précédant le labour.

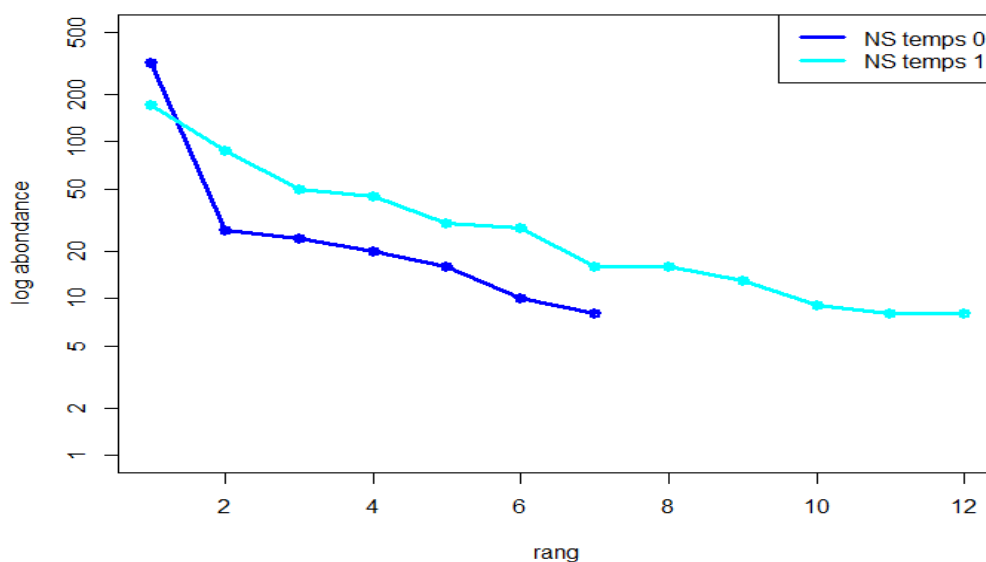


Fig. 13 : Diagramme rang d'espèce/abondance (en échelle logarithmique), pour l'enherbement de la parcelle de Petit-Bourg entre la plantation (au temps 0) et juste avant le premier désherbage (T2mois).

Au temps 0, on observe une espèce dominante et six espèces d'abondances similaires (fig. 13). A T2 le faciès est différent. Il y a davantage d'espèces, pas de dominance marquée et le taux de recouvrement est plus dense.

Tab.4 : Indices de biodiversités de l'enherbement de la parcelle de Petit-Bourg entre la plantation (au temps 0) et juste avant le premier désherbage .

NS t0	NS T2	Indices
0.5	0.81	Pielou
1.53	2.39	N1 Hill
1.73	5.29	N2 hill
7	12	Alpha de Fisher
7	12	S(richesse spécifique)
425	481	Abondance

L'état de couverture du sol est plus élevé à T2, l'équitabilité est aussi supérieure (cf. tab. (4)). La biodiversité de l'enherbement a augmenté.

4.4 Evaluation économique des coûts de chaque traitement

Le détail du calcul des coûts présentés ci-dessous est joint en annexe.

Les valeurs calculées ne correspondent pas au coût d'un cycle de culture entier. Ils sont estimés entre la plantation et T2. Pour l'ITK conventionnel, les coûts liés à la charge de travail et ceux liés aux matériels nécessaires sont à peu près du même ordre. (figure 14)

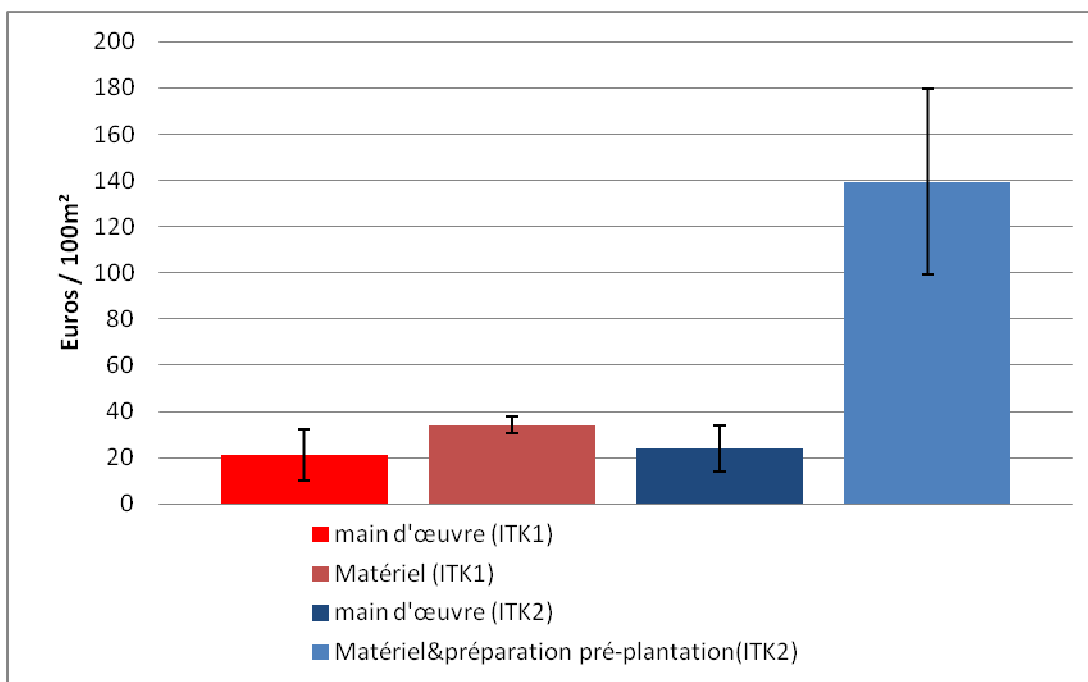


Fig. (14) : Histogramme des coûts estimés suivant l'ITK répartis entre main d'œuvre et matériels

Toujours pour l'ITK 1, la variabilité est faible pour les coûts matériels, mais relativement conséquente pour la main d'œuvre. Pour cette dernière elle représente les différentes pratiques des agriculteurs, incluant la rémunération de journées de travail. Pour l'ITK 2, les coûts de main d'œuvre sont similaires à ceux de l'ITK1. Néanmoins la répartition des coûts entre main d'œuvre et matériels n'est pas si évidente. En effet un certain nombre de données relatives à la préparation des innovations constituent à la fois un coût matériel et humain indissociable suivant les sources utilisées. La variabilité, pour cet itinéraire, correspond aux modalités proposées ci-dessous :

Tab.5 : Coûts en euros pour une parcelle de 100m² de différentes modalités pour la mise en place de l'ITK 2, matériels et main d'œuvre comprises

Modalités envisagées	Total
PDS déjà présente	111,11
PDS à mettre en place	167,74

La plantation de boutures constitue un coût, qui pourrait être éliminé : semis de graines, choix plus fin d'une parcelle suivant la flore présente et absence de désherbage d'aucune sorte (Tab. 5).

4.5 Modélisation de croissance par inférences bayésiennes

Les données utilisées sont l'ensemble des relevés de circonférence des 18 parcelles entre 0 et 77 jours et les relevés des 6 parcelles de l'expérience Banabio à T6 et T2.

4.5.1 -Pour l'itinéraire technique agro-écologique.

Tab.(6) : Valeurs des paramètres du modèle et statistiques descriptives associées.

nœuds	2.50%	mean	97.50%	sd
B	0.02264	0.02369	0.02475	5.39E-04
C	69.57	71.51	73.57	1.018
Mu	97.39	101	104.9	1.907
tau	0.06872	0.07747	0.0872	0.004727

Les estimations des paramètres du modèle sont précises (cf. tab. 6) Il y a un écart-type de 1.018 cm pour la circonférence maximale C. La figure 15 montre la bonne corrélation du modèle avec les données.

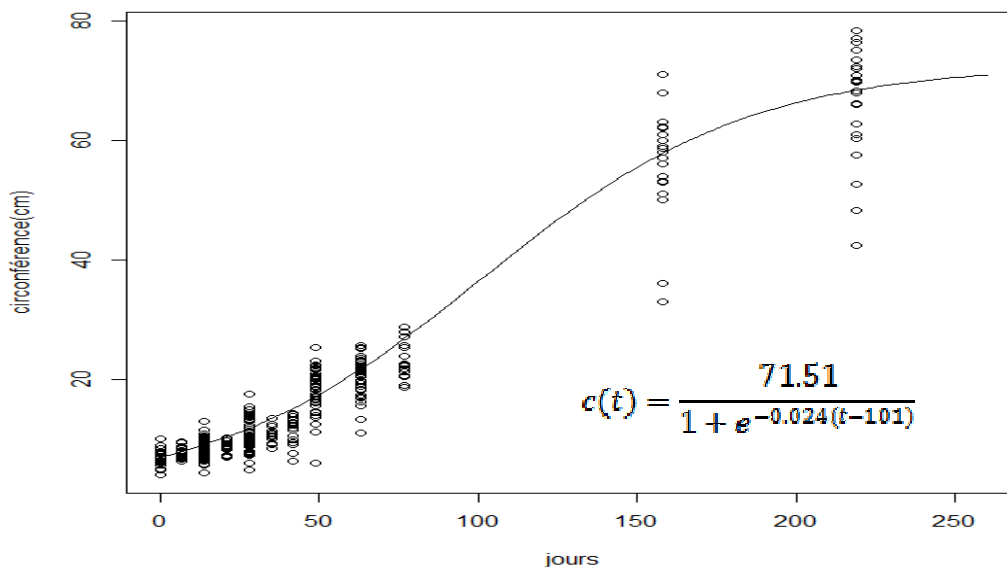


Fig. (15) : Circonférences des bananiers pour l'itinéraire technique agro-écologique des trois parcelles d'agriculteur et de la parcelle expérimentale(pour les données >150jours). La courbe avec son équation représente le modèle de croissance.

4.5.2 -Pour l'itinéraire technique conventionnel

Tab. (7) : Valeurs des paramètres du modèle et statistiques descriptives associées.

Nœuds	2.50%	Mean	97.50%	SD
b	0.02932	0.03219	0.03524	0.001509
C	57.83	60.02	62.41	1.163
m	86.94	92.55	98.89	3.047
tau	0.03215	0.03637	0.04083	0.00221

Une fois encore l'estimation des paramètres du modèle est relativement fine. Le graphique 16 montre là encore la bonne corrélation du modèle avec les données. Il y a toutefois un écart avec les valeurs obtenues à T8.

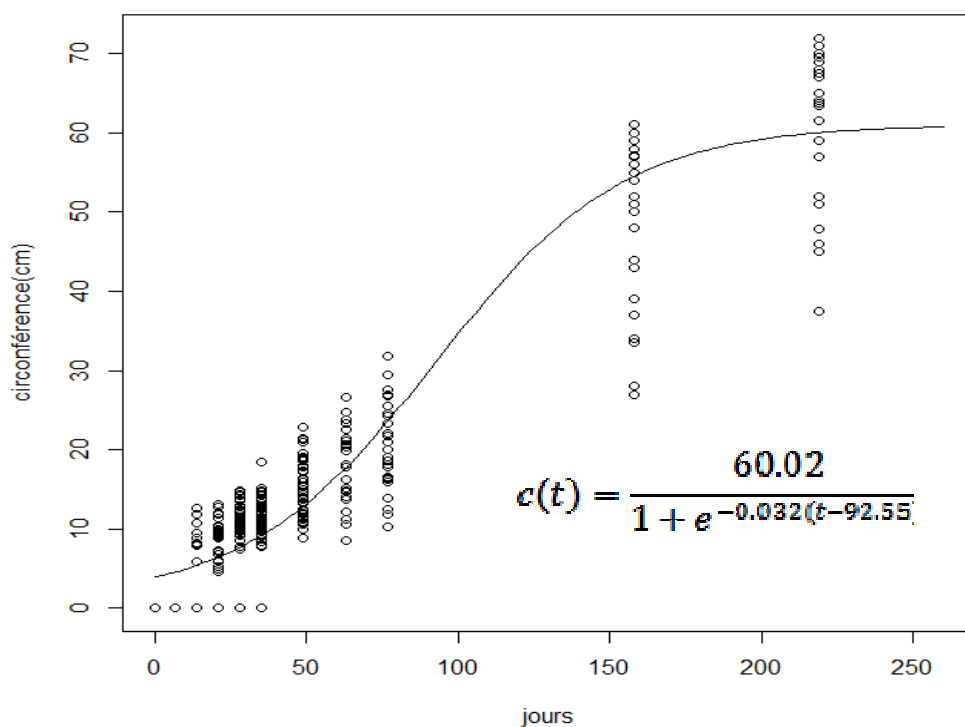


Fig. (16) : Circonférences des bananiers pour l'itinéraire technique conventionnel des trois parcelles d'agriculteur et de la parcelle expérimentale (pour les données >150 jours). La courbe avec son équation représente le modèle de croissance.

Il convient de noter que pour T8, les moyennes des circonférences observées ne sont pas significativement différentes entre les deux ITK (ITK2_T8 : 62 ; ITK1_T8 : 60)

4.6 Prévision de production des parcelles.

Auguste (2012) définit un modèle corrélant circonférence et poids de régime de banane.

Celui-ci inclut comme autre paramètre le nombre de doigts présents sur le régime. Un doigt donne une banane et il est porté par une main.

Le nombre de doigt par régime est issu de Deloné (données non publiées) sur un ensemble de 178 bananiers en Haïti, avec des précédents cultureux de jachères. La moyenne obtenue est de 86 doigts / régime.

D'après Auguste, 2012 :

Poids (kg) = $0.128 * \text{Nb de doigts} + 0.667 * \text{Circonférence} - 29.224$ avec $R^2=0.81$

Les rendements des ITK estimés sont ainsi les suivants :

ITK 1 : **1636.301 Kg** / par agriculteur sur 300m²

ITK 2 : **2211.588 Kg** / par agriculteur sur 300m²

Si ces prévisions sont vérifiées, le gain obtenu grâce à cette différence de production (**575 euros** pour un euro le kg de banane) couvrira largement les coûts supplémentaires de l'ITK2 même pour la modalité la plus chère.

V. Discussion

5.1 La biodiversité observée, constats et perspectives

Les indices de biodiversité utilisés ont mis en évidence l'importance que peut prendre un rapport de dominance d'un ou deux clades, dans la description de la biodiversité. Il est possible qu'à une échelle cladistique plus fine, les diminutions d'espèces d'acariens et de collemboles soient appréhendées différemment par les indices. L'effectif initial cumulé de 5100 collemboles et 1000 acariens contient peut-être plus d'espèces que celui des autres clades. Cette incertitude a rendu l'interprétation des indices plus délicate. Néanmoins, ces outils mettent en évidence à quel point la diminution des effectifs touche en priorité ces clades dominants.

Dans un contexte agro-écologique, il convient d'assurer une biodiversité fonctionnelle qui n'est pas nécessairement liée à la biodiversité des clades observés. A l'échelle cladistique utilisée, il n'a pas été possible de qualifier cette biodiversité fonctionnelle. La distribution de la faune en transformateurs de litière, ingénieurs du sol et prédateurs définit les interactions écologiques essentielles à la fourniture de services écosystémiques soutenant la production (dégradation de la matière organique, mise à disposition des nutriments) (Lavelle & Spain 2001).

Les collemboles sont essentiellement des saprophages (se nourrissent de matériel végétal décomposé) et des fongivores (Lavelle & Spain 2001). La disparition du matériel végétal est sans doute l'une des causes principales de la chute de leurs effectifs. En effet cette diminution est très rapide, 90% de disparition le premier mois.

La diminution d'effectif des acariens est proportionnellement moins importante. En effet la variété des régimes trophiques (saprophages, omnivores, prédateurs, parasites) dans ce clade peut expliquer une meilleure résilience.

Les nématodes sont affectés différemment selon leur groupe fonctionnel (phytoparasites, non phytoparasites). Il n'est pas possible de distinguer la cause de la diminution des phytoparasites. En effet il peut s'agir du traitement (assainissement des plants, nématicides) ou de la présence de plantes hôtes dans le précédent jachère. Le groupe non phytoparasite participe à la régulation des phytoparasites (Loranger-Merciris et al., 2012). Dans l'itinéraire technique agroécologique, cette nématofaune non parasite semble augmenté, suivant une tendance supérieure à l'autre itinéraire. Lors du diagnostic agro-écologique, il a été montré que dans les parcelles à moindre intrants, la nématofaune était plus riche mais moins virulente (Auguste, 2012 : Ramaël 2012). Il y a malgré la variabilité des échantillons un effectif total supérieur dans les parcelles agroécologiques.

Les perturbations ou les stress peuvent être des moteurs de la biodiversité en favorisant l'installation d'espèces plus diverses là où une ou quelques espèces monopolise les ressources et l'espace. C'est semble-t-il le cas de l'enherbement des parcelles NS.

Pour l'évolution de l'enherbement la distribution observée à T2 présente des caractéristiques propres à la colonisation d'un milieu « vide ». La diversité de la flore adventice n'est pas nécessairement problématique, mais elle constitue un risque puisque elle est alors moins maîtrisable ou prévisible. L'enherbement observé à T2 est surprenant. D'une part il est très rapide puisqu'il dépasse celui de la jachère en deux mois, d'autre part il est plus dense.

Toutefois il convient de rester mesuré sur ce dernier point, vu la faiblesse de l'échantillonnage. Ce facteur a néanmoins justifié l'une des approches proposées quant aux coûts des innovations.

5.2 Perspectives et limites de l'approche économique

L'évolution de l'enherbement constatée permet de réfléchir à d'autres modalités pour le contrôle de la flore adventice. En effet, le désherbage chimique crée une perturbation qui peut être favorable à un panel de plantes opportunistes. De plus l'observation de différents champs montre un élément problématique : le développement de plantes résistantes, particulièrement efficaces face au désherbage mécanique ou manuel constitue un coût en main d'œuvre supplémentaire. Néanmoins les PDS et plus généralement l'association culturale semble un bon moyen de répondre à ces problèmes, de manière pérenne. Les associations culturales doivent permettre aux espèces intégrées de tirer avantage les unes des autres.

L'adoption des amendements organiques par les agriculteurs passe par plus de clarté quant aux coûts et bénéfices de cette innovation. Les protocoles de production dans la recherche sont lourds car la composition du produit fini doit être connue pour être étudiée. Cette distance est un frein relativement important.

Les prévisions de production de banane n'intègrent ni les pertes potentielles, qui peuvent être plus élevés si les régimes sont lourds, ni la différence d'origine génétique des plants. Néanmoins, il serait véritablement valorisant pour le package agro-écologique si elles se confirmaient.

5.3 Questions d'échantillonnage

En ce qui concerne la mésofaune, le fait que les relevés aient été effectués dans un volume plus élevé pour T0 augmentent la probabilité de collecter de nouveaux clades.

Par ailleurs la variabilité entre agriculteurs a peut-être un impact non négligeable.

Les traitements comparés présentent aussi une grande variabilité, l'absence de plante de service pour BE (pour des raisons de temps), et les différences des pratiques entre agriculteurs ont une influence sur l'absence d'un certain nombre de données dans cette étude.

L'indépendance des parcelles devrait pouvoir être irréprochable, de fortes pluies ont eu lieu pendant l'étude, entraînant probablement des biais. Mettre en place un cloisonnement végétal à la manière des ripisylves pourrait en plus d'assurer cette indépendance, simplifier l'étude des échanges en leur sein, et les préserver de certaines agressions.

VI. Conclusion

L'installation des bananeraies a eu un impact sur la biodiversité. Dans le sol, la distribution des effectifs entre clades a changé, les effectifs des clades dominants ont diminué très rapidement, marquant une baisse impressionnante des effectifs totaux. Entre un et huit mois, le nombre de clades observés est stable, les effectifs totaux continuent de diminuer mais à un rythme moins élevé. Les différences entre itinéraires techniques pour la biodiversité du sol apparaissent tardivement.

Les estimations de la production des deux itinéraires techniques font du système agro-écologique le plus rentable et ce malgré des coûts initiaux supérieurs.

VII. Perspectives

Les parcelles de l'expérimentation vont faire l'objet d'une étude à long terme. Les coûts du package agro-écologique seront d'autant moindre que la longévité des bananeraies sera grande. L'impact de la plantation sur la biodiversité du sol mériterait une analyse du réseau trophique et des clades qui le compose. La variabilité entre agriculteurs pourrait constituer avec le même jeu de données un nouveau mémoire.

VIII. Références

Abadie C., 2002, Création et conduite d'une bananeraie au Cameroun : le cas du bananier plantain, Njombé (CMR), CARBAP.

Altieri, M.A., 1999, The ecological role of biodiversity in agroecosystems, *Agriculture, ecosystems and Environment* 74, 19-31.

Attard E., Le Roux X., Laurent F., Chabbi A., Nicolardot B., et Recous S., 2011, Impacts de changements d'occupation et de gestion des sols sur la dynamique des matières organiques, les communautés microbiennes et les flux de carbone et d'azote. *Etude et Gestion des Sols*, 18 (3), pp. 147-159

Auguste J-J., 2012, Diagnostic agro-écologique des systèmes de cultures à base de bananiers plantains en Guadeloupe : état physico-chimiques des sols et état sanitaire de la culture, U.A.G., Rapport Master 2 ECOTROP.

Bonny S., 2010, L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis. ISDA 2010 Montpellier : France 2-4.

Carlier J., 2002, Evaluation globale de la résistance des bananiers à la Fusariose, aux maladies foliaires causées par les *Mycosphaerella* spp. et aux nématodes. Guide technique INIBAP 7.

Castrillon, C. 1991. Manejo del picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar) en platano y banano de la zona cafetera de Colombia.

Colman, D.C., 2008. From peds to paradoxes: Linkages between soil biota and their influences on ecological processes. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 271-289

Cragg, J-B., Bardgett, R.D., 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decompositions processes. *Soil Biol. Biochem.* 33, 2073-2082

Dalgaard T., Hutchings N., Porter J., 2003, *Agroecology, Scaling and Interdisciplinarity. Agriculture Ecosystems and Environment* 100: 39-51.

Dan F.F., Gogol-Prokurat M., Nogeire T., Molinari N., Trautman Richers B., Lin B.B., Simpson N., Mayfield M.M., DeClerck F., 2009, Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa, *Ecology letters*, 12: 22-33

Darwin C., 1881, *The formation of vegetable moulds, through the action of earthworm.* University of Chicago Press.

Delcombel E., 2005, *Organisation de l'action collective des agriculteurs pour le développement de l'agriculture guadeloupéenne*, Thèse de doctorat en économie, UAG, Cirad-Tera, Montpellier.

Dominguez J., 2004 *State-of-the-Art and New Perspectives on Vermicomposting Research*, Universidade de Vigo, Spain, CRC Press LLC, p. 402-403.

Doube, B.M., Williams, P.M.L., and Willmott, PJ. 1997. The influence of two species of earthworm (*Aporrectodea trapezoides* and *Aporrectodea rosea*) on the growth of wheat, barley and faba beans in three soil types in the greenhouse, *Soil Biol. Biochem.*, 29:503-509.

Edwards, C.A. and Neuhauser, E.F.,1988, *Earthworms in Waste and Environmental management*, SPB, The Hague, the Netherlands, pp. 21-31.

Eglin T., Blanchart E., Berthelin J., de Cara S., Grolleau G., Lavelle P., Richaume-Jolion A., Bardy M., Bispo A. . 2010. *La vie cachée des sols*, MEEDDM, 20pp.

Dorel M., 2011, Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière, *Innovations agronomiques* 16 (2011),1-11.

Feller, C.,2004, Les bases écologiques d'une fertilité durable des écosystèmes tropicaux cultivés et leurs perspectives. C.R. Académie d'Agriculture de France, séance du 5 mai 2004

Forite Claire, 2011, Diagnostic agroécologique de plantations de bananes plantain en Guadeloupe, ISTOM, Rapport de fin d'études.

Gilot, C. 1997, Effects of a tropical geophageous earthworm, *M. allomala* (Megascolecidae), on soil characteristics and production of a yam crop in Ivory Coast, *Soil Biol. Biochem.*, 29:353-359

Gold C.S., 1991, Introduction: biological and integrated control of highland banana and plantain Pests and Diseases, éd. C.S. Gold & Gemmil, Cotonou, Bénin, p.199.

Gowen S, 1995, Pests. In : Bananas and plantains (éd.). Chapman and Hall, London. P. 282-402.

Gowen S., 1991, Yield losses caused by Nematodes on Different Banana varieties and some management techniques appropriate for farmers in Africa, biological and integrated control of highland banana and plantain Pests and Diseases, C.S. Gold & Gemmil (éds.), Cotonou, Bénin, p.199.

Grassé, P., 1950, Recherche sur le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*, Germ., Institut des fruits et agrumes tropicaux, sociétés d'éditions techniques coloniales, Paris.

Huhta V., 2006, The role of soil fauna in ecosystems : a historical review, Jyväskylä University, Finland.

Kahsnitz, H.G. 1992, Investigations on the influence of earthworms on soil and plant, *Bot. Arch.*, 1:315-331.

Lavelle, P. & Spain, A.V. 2001, Soil Ecology. *Kluwer Scientific Publications, Amsterdam.*

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.

Mengue Efanden, C., L. Temple, K. Tomekpe, 2003, Sélection variétale par des producteurs du Centre du Cameroun, *InfoMusa- Vol 12 - N°1*, p. 4-13

Nkendah, E. Akyeampong 2003, Données socioéconomiques sur la filière plantain en Afrique Centrale et de l'Ouest (1), p. 8-13 / KIT(D3066) INFOMUSA (Pays-Bas), vol. 12

Rodriguez-Kabana, R., Morgan-Jones, G., Chet, I., 1987. Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant Soil* 100, 237–247.

Ramaël, 2012, Diagnostic agro-écologique 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 des plantations, U.A.G., Rapport Master 2 ECOTROP.

Satchell, J.E., 1967, Lumbricidae. In : Burges, A., Raw, F (eds), *Soil Biology*. Academic Press, London, p. 259-322.

Sidibe, A., Faustin Ontsougou, Bakary M. Traore, Sériba Keita, Nadou Paul Sanogo, 2006, Adaptabilité du bananier plantain (*Musa paradisiaca*) aux conditions pédo-climatiques de Katibougou, MSAS, p. 113-116

Symphor A., 2011, Elaboration et caractérisation de composts et de vermicomposts à base d'effluents d'élevage et de déchets verts. U.A.G, Rapport Master 2, ECOTROP.

Speijer P. R. and Kajumba , 2000, Yield loss from parasitic nematods in East African Highland Banana. *Acta. Hort.* 540 : 453-459.

Tabarant P., Villenave C., Risede J.M., Estrade J.R., Thuries L., Dorel M., 2011, Effects of four organic amendments on banana parasitic nematodes and soil nematode communities, *Applied soil ecology* 49 (2011) 59-67

Thaer A.D., 1811-1816. Principes raisonnés d'agriculture. Traduit de l'allemand par E.V.B. Crud, J.J. Pechoud ed., 4 tomes ; Paris

Tixier P., 2004, Conception assistée par modèle de système de cultures durables : Application aux systèmes bananiers de Guadeloupe, Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier, p. 7.

Tomati, U., Galli, E. 1995, Earthworms, soil fertility and plant productivity, Acta Zool. Fenn., 196:11-14.

Temple L., Tentchou. J. 2000, Orientation sectorielle de la politique agricole sur le bananier plantain au Cameroun. Document CRBP. 207/CRBP/2000.

Temple L. 2008, Les déterminants de la compétitivité des filières bananes de Martinique et de Guadeloupe, CIRAD, Montpellier.

ANNEXES

1 Indices de biodiversité

Classé suivant les paramètres étudiés

-Équité et richesse

N2 : Simpson
En nombre de Hill

$$N2 = \frac{1}{\sum_i^S p_i^2}$$

N1 : Shannon en
nombre de Hill

$$\ln(N1) = - \sum_i^S p_i \ln p_i$$

-Équité

Indice de piélou

$$\frac{- \sum_i^S p_i \ln p_i}{\ln S}$$

-Rapport entre deux
distributions :

Indice de Kullback-
Leibler

$$T = \sum_{i=1}^S q_i \ln \frac{q_i}{p_i}$$

Pi : la fréquence du clade i pour un total de S clades

qi : la fréquence du clade i pour un total de S clades dans un autre échantillon

2. Espèces rencontrées dans la mésofaune

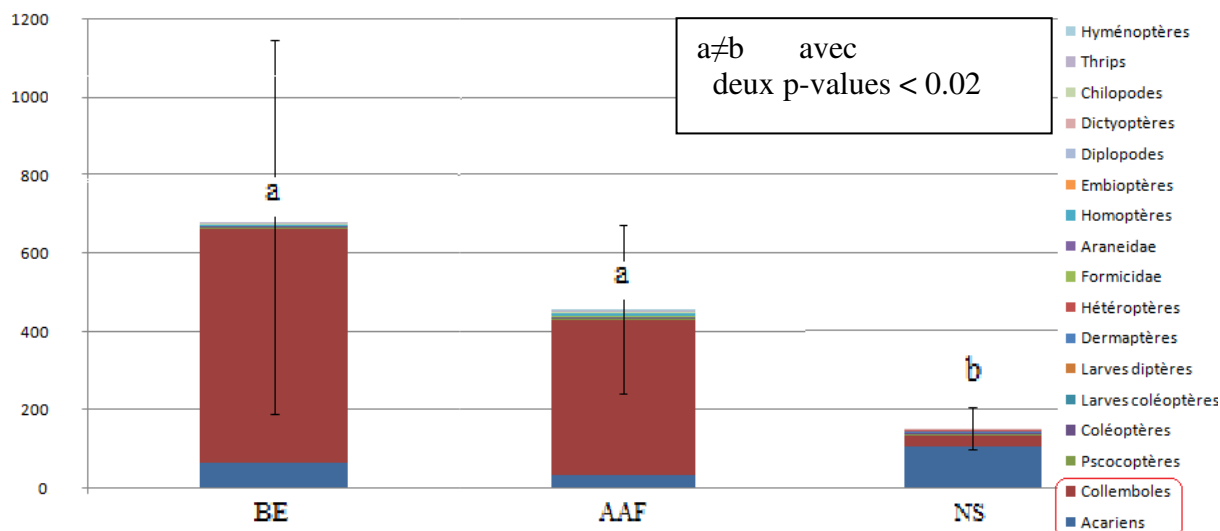


Fig.(17) : Histogramme des effectifs de mésofaune avant plantation (temps 0) pour les trois agriculteurs. (Moyenne de cinq échantillons par parcelle et test de Wilcoxon sur les moyennes toute clades confondues)

Les effectifs totaux des parcelles de Capesterre sont en moyenne, significativement supérieurs. Les effectifs des trois agriculteurs concernent avant tout les familles de collemboles et d'acariens. Alors que les distributions BE et AAF sont proches dans les quantités et la qualité de leurs peuplement, la parcelle NS présente une proportion d'acariens supérieure aux autres et même supérieure dans l'absolu malgré un effectif global moindre

3 Choix du modèle de croissance logistique et détail statistiques

Le choix du modèle s'est fait par défaut. Le choix initial s'était porté sur un modèle « libre » (Richards) pour contrôler le point d'inflexion. Il aurait pu représenter la modalité de plantation, couchée ou debout des deux ITK. En effet ce paramètre se traduit par le délai avant le bourgeonnement des pieds plantés couchés (ITK1).

Dans les deux ITK, les mêmes Priors ont été utilisés pour paramétrer le modèle.

beta=0.09, tau=0.5,mu=100,ciota=80

beta=0.01, tau=0.7,,mu=500,ciota=90

Pour le paramètre C définissant la circonférence maximale, ses estimations sont issues de la littérature. Les autres sont issues des premières répétitions exploratoires du modèle.

Le nombre de répétitions est de 52000 pour les deux itinéraires. La relation modélisée est la suivante :

$$MM[i] <- C / (1 + \exp(-B * (t[i] - m)))$$
$$d[i] \sim \text{dnorm}(MM[i], \text{tau})$$

Avec :

$$C \sim \text{dnorm}(0.0, 1.0E-6)I(00, 00)$$
$$m \sim \text{dnorm}(0.0, 1.0E-6)I(0,)$$
$$B \sim \text{dnorm}(0.0, 1.0E-6)I(0, 0.1)$$
$$\text{tau} \sim \text{dgamma}(0.001, 0.001)$$

4 Détails du coût des ITK 1 pour chaque agriculteur p. IV

5 Détails du coût des ITK 2

p.V

<i>Itinéraire conventionnel</i>														
AAF	BE	NS												
Matériel														
Achat des plants														
	coût	coût unitaire/nb pied	coût	coût unitaire/nb pied	coût	coût unitaire/nb pied	coût	coût unitaire/nb pied	coût	coût unitaire/nb pied	coût			
matériel stat	0,5	75	37,5	matériel stat	0,5	75	37,5	matériel stat	0,5	75	37,5			
Pralinage														
€/l	quantité(Kg)	€/kg	quantité(Kg)	€/kg	quantité(Kg)	€/kg	quantité(Kg)	€/kg	quantité(Kg)	€/kg	quantité(Kg)			
gresil	12	0,05	0,6					déjection animale	0	0,05	0			
Fertilisation														
€/kg	quantité(Kg) / nb de pied	€/kg	Kg /pied	nb de pied	€/kg	quantité(Kg) / nb de pied	€/kg	quantité(Kg) / nb de pied	€/kg	quantité(Kg) / nb de pied	€/kg			
DAP	3,5	0,2	75	52,5	DAP	3,5	0,1	75	26,25	Urée**	3,3	0,1	75	24,75
				Urée**	3,3	0,1	75	24,75	Germiflor	2	0,15	75	22,5	
désherbage chimique														
€/l	quantité(l) /ha.surface	€/l	quantité(l) /ha.surface	€/l	quantité(l) /ha.surface	€/l	quantité(l) /ha.surface	€/l	quantité(l) /ha.surface	€/l	quantité(l) /ha.surface			
Basta	36,67	6	0,03	6,60	Basta	36,67	6	0,03	6,60	Réglone*	15	2	30,00	
Main d'œuvre														
Parage														
jours/pied	nb de pied	coût journalier	jours/pied	nb de pied	coût journalier	jours/pied	nb de pied	coût journalier	jours/pied	nb de pied	coût journalier			
main d'œuvr	0,0025	75	50	9,38	main d'œuvr	0,0025	75	80	15	main d'œuvr	0,0025	75	65	12,19
Fertilisation														
jours/pied	nb pied	coût journalier	jours/pied	nb pied	coût journalier	jours/pied	nb pied	coût journalier	jours/pied	nb pied	coût journalier			
DAP	0,0047	75	50	17,68	DAP	0,0047	75	80	28,29	Urée	0,0047	75	65	22,98
				Urée	0,0047	75	80	28,29	Germiflor	0,0047	75	65	22,98	
désherbage chimique														
jours/ha	surface	coût journalier	jours/ha	surface	coût journalier	jours/ha	surface	coût journalier	jours/ha	surface	coût journalier			
Basta	2,33	0,03	50	3,50	Basta	2,33	0,03	80	5,60	Réglone*	2,33	0,03	65	4,55
désherbage manuel														
			h/ha	surface		h/ha	surface							
			8	0,03	80	19,2								
Total														
										127,75	Total	191,47	Total	177,45

Itinéraire agroécologique									
Matériel									
									Coût
Main d'œuvre									
									Coût
Achat ou préparation des plants PIF									
		coût unitaire	nb pied						
PIFcoûtdeproduction		2,25	75	168,75	PIFcoûtdeproduction			Coûts compris dans matériel	
Pralinage									
		quantité(Kg)							
Nématorin	12	0,05		0,6	main d'œuvre	0,0025	75	65	12,19
Fertilisation									
		kg/pied	nb pied						
vermicomp	0,410523196	4,5	75	138,55158	mise en place au champ	0,0027	75	65	13,23
désherbage écologique_Plante de service									
		bouture/m2	surface(m²)						
achat_boutu	0,125	4	300	150	Mise en place au champ	0,0036		1200	4,2857148
désherbage manuel									
						jours/ha	surface	coût journalier	
						8	0,03	65	15,60
457,9016									
Total									
							503,2069376	45,305359	
*guide pratique pays de la Loire désherbage céréales pailles_Chambre d'agriculture pays de la Loire									
**http://www.agrigate.ch/fr/prix-de-marche/prix-production-vegetale/engrais/									
Le reste des prix est issu du commerce, les temps de travail de mon expérience									

6 Histoire et perspectives de la spéculation bananière aux Antilles Françaises

C'est en 1939 que la spéculation bananière devient en Guadeloupe et selon son gouverneur de l'époque, un triomphe.

Cette « monoculture en partie double » (banane et canne) inquiète dès 1946, le gouverneur de Nattes qui craint pour la subsistance des cultures vivrières à même d'éviter le recours à l'importation d'un certain nombre de produits de nécessité. Ces craintes, vieilles de plus d'un demi-siècle, s'accroissent des conséquences d'une utilisation abusive, pendant des décennies, d'intrants toxiques pour le sol et les hommes. Ce qui représenta dès lors, une inquiétude fondamentale dans le débat quant à l'évolution de toute la filière.

La banane antillaise s'est développée grâce aux mesures de protectionnisme qui la favorisait sur le marché français puis européen face aux importations étrangères soumises aux quotas. Hors à partir de 2006, au nom du libre échange, les quotas ont été remplacés par une taxation douanière, de moins en moins contraignante (176 euros la tonne en 2006, 114 euros prévu en 2017) La banane dessert passée devant la canne à sucre en termes d'exportation constitue à elle-seule 75% du fret vers l'Europe et justifie économiquement le convoiement aux Antilles de denrées indispensables et non productibles sur place. Elle est de plus pourvoyeuse d'emplois stables. Ainsi en 1946 comme aujourd'hui, la filière banane représente près de 40% de la masse salariale agricole en Guadeloupe, soit le premier employeur privé des Antilles françaises (un actif sur vingt).

Néanmoins l'évolution défavorable pour les planteurs antillais des règles du marché, va représenter et constitue d'ors et déjà une étape importante pour les Antilles françaises. Ainsi entre 2003 et 2010, le recensement indique moitié moins d'exploitations. Le bond des recettes douanières (600 millions en 2006) qui profite davantage aux grands planteurs, doit permettre une réorganisation de la culture banane aux Antilles pour s'adapter au chamboulement de ce secteur économique, mais aussi aux impératifs de la vie insulaire.

Les pistes exploitées correspondent par exemple à la réduction des intrants, qui sont pour la plupart importés (72 % de réduction déjà réalisé en 10 ans avec le plan « banane

durable »). Promouvoir la qualité environnementale de la banane en Guadeloupe à travers des innovations agro-écologiques, peut permettre la création de labels apportant crédit et sécurité à toute la filière. En effet des études de consommation montrent que les consommateurs de métropole supporteraient cette démarche malgré des prix plus élevés.

Ces possibilités d'innovations agro-écologiques reposent sur des partenariats dans la recherche, intégrant une bonne compréhension des impératifs structurels de la filière. Il est clair que la protection environnementale peut être présentée économiquement sous un jour favorable, si tant est qu'à long terme, la production s'en trouve pérennisée et des catastrophes évitées. Néanmoins l'exportation de banane étant si importante pour garantir le fret d'importation, une diminution des rendements à l'heure actuelle pourrait grandement fragiliser l'ensemble de la société guadeloupéenne. C'est finalement un choix sociétal de grande ampleur qui s'impose à la Guadeloupe. Cette « monoculture en partie double » est sur le fil, elle s'oppose à une vision d'un commerce régionaliste plus caribéen que métropolitain. Avec de fait une Europe moins exclusive que ne l'était la France des colonies, les Antilles sont aujourd'hui bien plus libres de choisir de nouveaux partenaires commerciaux, d'avoir comme il se disait des colons libéraux, le « cœur hollandais ».

7 Test non paramétrique des différences de pH

Wilcoxon rank sum test

data: pH_KCl_itk1 and pH_KCl_itk2

W = 28, p-value = 0.2883

data: ph_Eau_itk1 and ph_Eau_itk2

W = 29, p-value = 0.3401