Effets de la conversion à l'agriculture biologique sur l'abondance et la diversité de la macrofaune saprophage dans la canne à sucre en Martinique

Août 2015

Mathieu Coulis

Cette étude a été cofinancée pas l'Union Européenne, la Région Martinique et l'EARL Domaines Thieubert (Distillerie Neisson).

Table des matières

Introduction 1

Matériels & méthodes 5

Site d'étude : 5

Méthodes d'échantillonnage : 7

La macrofaune du sol : 7

Analyses statistiques : 9

Résultats 11

Composition et abondance des communautés d'invertébrés du sol en fonction des terroirs : 11

Effet de la conversion à l'agriculture Bio sur l'abondance et la composition des communautés d'invertébrés du sol : 15

Discussion 17

Les communautés de macroinvertébrés saprophages dans la canne à sucre : 17

Effets de la conversion à l'agriculture Bio sur les communautés d'invertébrés : 21

Conclusion et perspectives 24

Remerciements 25

Bibliographie 26

Annexes 22

Introduction

La biodiversité de la faune du sol est essentielle pour maintenir la fertilité des sols tropicaux [1]. Divers groupes d'organismes remplissent des fonctions complémentaires et agissent en synergie dans le fonctionnement des agroécosystèmes [2,3]. Les microorganismes sont les principaux décomposeurs, ils participent activement à minéralisation et favorisent ainsi la libération des nutriments contenus dans les résidus de culture. Leur activité est fortement modulée par l'action de la macrofaune du sol. D'une part, les « litter transformers » (diplopode, isopodes, escargot, insectes,…) fragmentent les débris végétaux grossiers. Leur activité favorise les microorganismes décomposeurs qui ont plus facilement accès à la matière organique (MO). D'autre part, les vers de terre, également appelés ingénieurs de l'écosystème, incorporent les débris végétaux dans les horizons minéraux du sol et participent ainsi à la formation d'agrégats organo-minéraux stables. Ces structures constituent un capital de fertilité pour le sol puisqu'elles permettent d'améliorer sa structure physique et d'assurer une libération lente et continue des nutriments. De plus, l'activité des organismes saprophages est particulièrement importante pour le maintien de la fertilité des sols tropicaux qui sont soumis à de fortes pressions environnementales telles que le lessivage et le risque d'érosion dus aux précipitations tropicales [4]. Il est donc essentiel de préserver ou de permettre le retour d'une importante biodiversité dans les agrosystèmes tropicaux.

Il est reconnu depuis longtemps que les pesticides peuvent avoir un effet toxique sur des organismes non ciblés [5]. Ces produits phytosanitaires constituent donc une menace pour les invertébrés du sol et leur utilisation excessive pourrait avoir d'importantes conséquences sur l'ensemble de la communauté [6,7]. De récentes études en conditions contrôlées ont mis en évidence les effets toxiques de certains herbicides sur les organismes du sol [8,9]. Cependant, ces tests écotoxicologiques sont souvent réalisés sur des espèces généralistes de milieu tempéré. Par exemple, le ver de terre de compost *Eisenia foetida*, vivant en milieu tempéré, est souvent utilisé alors qu'il a été montré qu'il est plus résistant que d'autres espèces de milieu tropical [10]. De plus il est difficile d'extrapoler les résultats de ces tests réalisés en conditions très contrôlées, c'est pourquoi il est important d'étudier l'effet des herbicides *in situ*. Or peu d'études de terrain ont été réalisées sur ce sujet et se sont principalement focalisées sur des agroécosystèmes tempérés [11–13].

Tableau 1 : Caractéristiques des principales zones étudiées (terroirs).

	Rochetière (St Pierre)	Courbaril (Le Carbet)	Godinot (Le Carbet)	Thieubert (Le Carbet)
Altitudes	55 - 110 m	160 - 195 m	210 - 240 m	7 - 100 m
Type de sol	Sols peu évolués sur cendre	Sols Brun rouille à Halloysite	Sols Brun rouille à Halloysite	Sols peu évolués sur cendre
Argiles (%)	5	13	14	10
Limons (%)	12	18	17	16
Sables (%)	83	69	69	74
Code de la zone	Ro	Cb	Go	Th
Nb de parcelles cultivées	10 (29.0 ha)	2 (5.0 ha)	4 (2.8 ha)	7 (7.4 ha)
Nb de parcelles échantillonnées	3 (15.3 ha)	2 (5.0 ha)	1 (1.3 ha)	5 (5.6 ha)
Date des échantillonnages	20/02/2015 - 09/03/2015	11/03/2015 - 18/03/2015	17/04/2015 - 22/04/2015	20/03/2015 - 21/04/2015

La canne à sucre est l'une des plus importantes cultures en milieu tropical avec plus de 26 millions d'hectares cultivés à travers le monde et près de 2 milliards de tonnes de cannes produites en 2013 [14]. La canne à sucre est une culture qui repart de souche après la récolte et reste en place durant 5 à 10 ans. Sa principale utilisation dans le monde est pour la fabrication de sucre et de bioéthanol. En Martinique la canne à sucre est la deuxième culture la plus importante avec 3800 ha et plus de 75% des cannes produites sont utilisées pour produire du rhum qui est un produit à forte valeur ajoutée [15]. Excepté les rats, Il n'existe pas de ravageurs qui causent de grave dégât économique à la canne en Martinique. Par contre, comme les conditions tropicales offres des conditions de croissance favorable presque toute l'année et que la canne est une culture pérenne, les adventices se développent continuellement il est ensuite difficile de s'en débarrasser. Avec la mécanisation des cultures et l'intensification, les agriculteurs utilisent de plus en plus de produits phytosanitaires pour la maitrise des adventices.

Malgré son rôle important, peu de données existent sur la biodiversité des invertébrés du sol dans la canne à sucre. De plus l'effet de l'usage intensif d'herbicides est susceptible d'avoir un impact négatif sur les invertébrés du sol, ce qui pourrait sur le long terme avoir des retombées négatives sur la fertilité. Cette étude a deux principaux objectifs : (1) contribuer à une meilleur connaissance des invertébrés saprophages dans les sols des plantations de canne à sucre en Martinique ; (2) étudier l'effet de la conversion à l'agriculture biologique (Bio) sur la biodiversité et l'abondance des communautés d'invertébrés du sol. Pour atteindre ces objectifs, une étude de terrain couplant des méthodes complémentaires d'échantillonnages a été menée sur les différentes parcelles de canne à sucre cultivées par l'EARL Domaines Thieubert - Distillerie Neisson. La surface cultivée en canne à sucre Bio dans le monde est aujourd'hui de plus de 42 000 ha [16]. En Martinique et dans les Antilles françaises il n'y a pour le moment pas d'exploitation réalisant la culture Bio de la canne à sucre. Etant donné que ce type d'agriculture est nouveau en Martinique, la Distillerie Neisson a fait le choix de ne convertir en Bio qu'une partie seulement de ses parcelles pour ne pas prendre un risque trop important. Cette configuration est une opportunité idéale pour tester, sur des parcelles dont les sols et l'historique de gestion sont similaires, l'effet de la conversion à l'agriculture biologique sur les invertébrés saprophages.

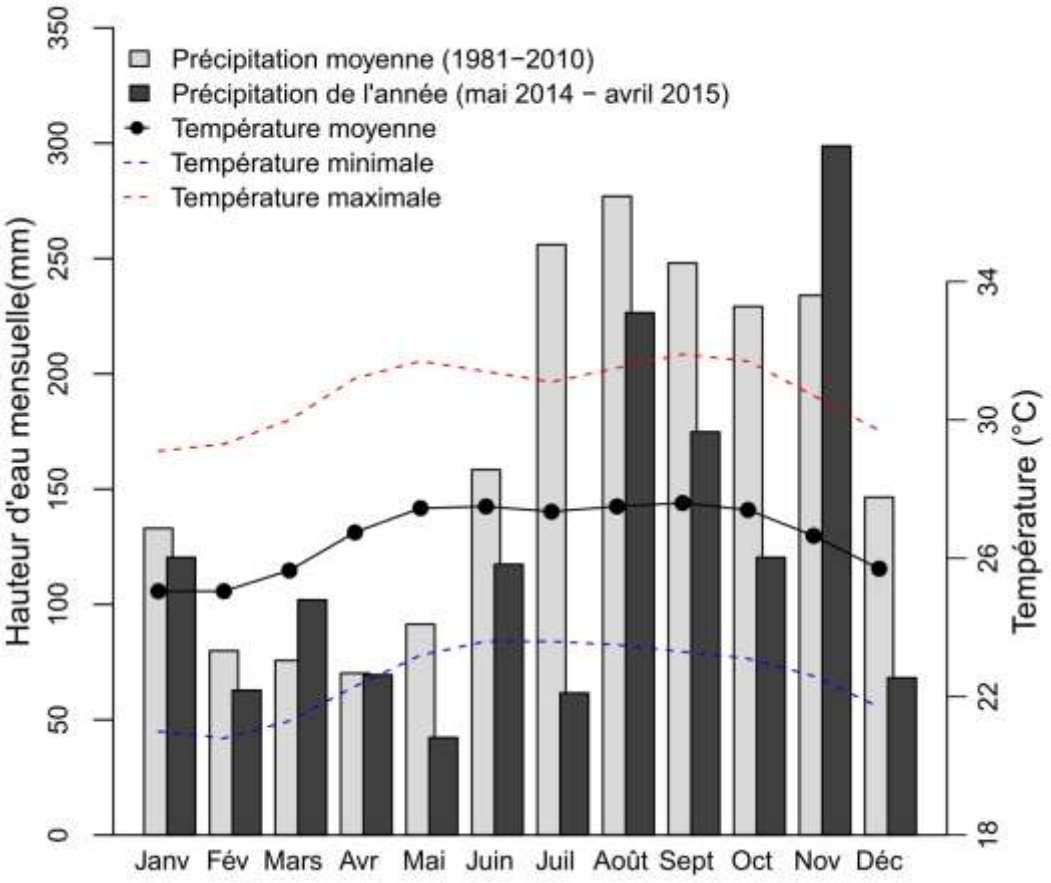

Figure 1 : Données climatiques moyennes de la station météorologique de St Pierre (coordonnées : 60°10' O, 14° 45' N, altitude : 27m) comparées aux précipitations mesurées durant l'année précédant cette étude.

Matériels & méthodes

Site d'étude :

L'étude a été réalisée en Martinique sur les terrains d'une plantation de canne à sucre située sur la côte nord caraïbe de l'ile (Distillerie Neisson). Les champs de canne sucre sont répartis sur quatre terroirs (Tableau 1). Sur l'ensemble des terroirs, le climat est de type tropical avec une saison sèche entre février et mai. La température moyenne annuelle à St Pierre (station météo la plus proche) est de 26.6 °C avec une variation saisonnière faible et des précipitations annuelles moyennes de 2000 mm (Fig. 1). L'année précédant l'étude a été particulièrement sèche, le déficit de précipitation est de 716 mm soit 36 % de moins qu'une année moyenne (Fig. 1). Les sols sont légèrement différents selon les terroirs mais dérivent tous de cendre et de roches ponces issues d'un volcanisme andésitique. On retrouve des sols peu évolués sur cendre au niveau de Rochetière et de Thieubert et des sols brun rouille à halloysite au niveau de Courbaril et de Godinot. Le sol brun rouille à halloysite est issu de l'évolution d'un sol peu évolué sur cendre et l'on retrouve sur certain parcelles des sols présentant des caractères intermédiaires entre ces deux types de sols (notamment sur Courbaril et Thieubert). Les parcelles de canne à sucre sont replantées à la main à partir de tronçon de canne de 80 cm tous les 7 ans environs. Les récoltes sont effectuées mécaniquement pour la plupart des parcelles et les résidus (feuille de canne) sont laissés sur place après la récolte formant un paillage d'environ 30 cm d'épaisseur.

Depuis 2 ans, la Distillerie Neisson s'est engagée dans une démarche de conversion à l'agriculture biologique (Bio) qui concerne 3 parcelles pour une surface totale de 2.6 ha. Deux parcelles sont en conversion depuis 1 an et une parcelle depuis 2 ans. Cette démarche de conversion consiste à ne plus utiliser d'herbicide ni d'engrais minéraux de synthèse. Le désherbage est effectué dans les parcelles en conversion Bio de manière mécanique à l'aide d'une rotobèche (2 passages par an). En comparaison, les parcelles en agriculture conventionnelle (Conv) reçoivent 2 à 3 traitements à l'herbicide par an. La zone de culture du Domaine Thieubert (Th) regroupe au total 7 parcelles ayant des propriétés similaires (sol, altitude, etc.), cette conformation permettra de faire une comparaison entre les parcelles Bio et Conv de cette zone.

Figure 2 : Plan d'échantillonnage. A gauche, carte de la côte nord caraïbe de la Martinique montrant la localisation des 11 parcelles échantillonnées. Les parcelles sont regroupées par terroirs (Rochetière : Ro, Courbaril : Cb, Godinot : Go, Thieubert : Th). La localisation de la station météorologique est indiquée sur la carte par un triangle rouge. En haut à droite, photographie aérienne d'une parcelle montrant la localisation précise des prélèvements le long d'un transect. En bas à droite, photographie d'un prélèvement. On distingue le quadra après le prélèvement des litières et du sol ainsi que le tamis et la bâche servant à faire le tri manuel des macroinvertébrés du sol.

Méthodes d'échantillonnage :

Au total 55 échantillonnages indépendants ont été réalisés dans 11 parcelles de cannes à sucre entre le 20 février et le 22 avril 2015. Dans chaque parcelle, 5 prélèvements ont été réalisés le long d'un transect (Fig. 2). Pour chaque prélèvement deux méthodes complémentaire ont été utilisées simultanément : (1) le piège Barber pour capturer les espèces les plus mobiles et rendre compte de leur activité ; (2) le prélèvement de quadra suivi d'une extraction par Tullgren pour estimer l'abondance. Pour chaque prélèvement, le piège Barber a été laissé pendant 5 jours et le quadra de sol de 25 x 25 cm a été prélevé à proximité. Les litières provenant du quadra ont été placées dans un extracteur de type Tullgren pendant 7 jours pour en extraire les organismes du sol. Tout le volume du sol sous-jacent sur 12 cm de profondeur a tamisé frai à 2 mm et la macrofaune triée manuellement. Suite aux prélèvements, toutes les plantes adventices ont été prélevées sur une surface de 2 m^2 autour du quadra, puis identifiées et séchées à 60°C pour mesurer la biomasse et la richesse spécifique. Au même moment que les prélèvements, des échantillons de litière et de sol (tamisé à 2 mm) ont été prélevés et séchés 48h respectivement à 60°C et 105°C pour déterminer l'humidité pondérale. A l'issue des extractions Tullgren, l'intégralité des litières prélevées dans les quadras a été séchée à 60°C dans le but d'estimer la masse de litière par unité de surface.

La macrofaune du sol :

Au total plus de 1600 individus ont été collectés. Cette étude se focalise sur la macrofaune (taille> 2mm) saprophage, cependant des espèces non saprophages ont été incluses dans l'étude en raison de leur importance pour le fonctionnement du sol. C'est le cas des chilopodes, des dermaptères et de certains coléoptères prédateurs jouant un rôle de régulateur des populations d'invertébrés. De la même manière, les hémiptères, les orthroptères et certain coléoptères ont également été répertorié car en tant qu'herbivores de la canne à sucre ils représentent un intérêt pour la culture. Tous les individus ont été triés puis regrouper par morpho-espèce. Ensuite lorsque la documentation était disponible les morpho-espèce ont été identifiées. Certain spécimens ont été transmis à des taxonomistes. Les experts suivant ont contribués aux déterminations : Francis Deknuydt (coleoptères), Regis Delannoye (gastéropodes), Jean-Jacque Geoffroy (diplopodes), Frank Noël (isopodes), Eric Blanchart (oligochètes).

Tableau 2 : Diversité et densité des principaux groupes d'invertébrés sur les 4 terroirs. Les valeurs de densité, de biomasse et de richesse moyenne ont été comparées par ANOVA et des tests *post hoc* de Tukey ont été effectués pour construire les groupes.

Nom du terroir (nom de la commune)	Rochetière (St Pierre)	Courbaril (Le Carbet)	Godinot (Le Carbet)	Thieubert (Le Carbet)	**Moyenne générale**
Communauté d'invertébrés saprophages					
Densité (ind.m^{-2})	303±38$^{n.s.}$	522±64 $^{n.s.}$	218±48 $^{n.s.}$	370±54 $^{n.s.}$	365±49
Richesse moyenne (nb sp.éch.$^{-1}$)	6.8±2.2^{b}	9.3±2.2^{ab}	5.6±1.5^{b}	9.4±3.0^{a}	8.3±
Richesse totale (nb sp)	30	28	14	44	60
Indice de Shannon	2,35	1,99	1,74	2,81	2,73
Indice d'équitabilité	0,69	0,60	0,66	0,74	0,67
Oligochaeta					
Densité	133±28^{b}	326±46^{a}	125±46^{b}	88±20^{b}	147±19
Biomasse (g mf.m^{-2})	15±4^{b}	44±8^{a}	9±4^{b}	8±3^{b}	16±3
Richesse spécifique totale	2	2	1	2	2
Diplopoda					
Densité	55±19 $^{n.s.}$	45±12 $^{n.s.}$	6±4 $^{n.s.}$	64±15 $^{n.s.}$	53±9
Richesse spécifique totale	7	4	4	6	9
Isopoda					
Densité	59±22 $^{n.s.}$	56±22 $^{n.s.}$	3±3 $^{n.s.}$	88±33 $^{n.s.}$	66±17
Richesse spécifique totale	3	2	1	5	6
Gastropoda					
Densité	0$^{n.s.}$	2±2$^{n.s.}$	0$^{n.s.}$	9±3$^{n.s.}$	4±2
Richesse spécifique totale	1	2	0	5	5
Insecta					
Densité	51±9^{b}	59±12^{b}	77±19^{ab}	112±12^{a}	83±7
Richesse spécifique totale	13	11	7	23	30

Analyses statistiques :

L'abondance des invertébrés du sol est exprimée en densité d'individus par mètre carré (ind.m^{-2}) et la biomasse de vers de terre en gramme de masse fraiche par mètre carré (g mf.m^{-2}). Pour comparer la diversité des invertébrés, la richesse spécifique (nombre total d'espèces), la richesse moyenne (nombre moyen d'espèces par prélèvement) l'indice de Shannon-Weaver ($H' = -\sum_i p_i \, log \, p_i$, ou p_i est l'abondance relative de l'espèce i) ainsi que l'indice d'équitabilité ($E = H'/logS$, ou S est le nombre d'espèces) ont été calculés. Les différences d'abondance, de biomasse et de diversité entre les 4 zones d'études ont été analysées par ANOVA et des tests de student deux-à-deux par la méthode de Tukey ont permis de construire des groupes. Une analyse en composante principale a permis de regrouper l'ensemble des données environnementales disponibles sur chaque site et d'étudier les relations entre ces différentes variables. Les coordonnées de chaque site sur les axes de l'ACP ont été récupérées pour être utilisées comme indicateur des conditions environnementales et mises en relation, *via* des régressions linéaires, avec l'abondance et la diversité de la communauté d'invertébrés saprophage. Des régressions linéaires entre le volume d'herbicide utilisé durant les 2 dernières années sur chaque parcelle et l'abondance des invertébrés ont également été réalisées pour chaque groupe d'invertébré du sol.

Pour analyser les différences entre les sites Bio et Conv, le jeu de donnée a été restreint au terroir Thieubert dans le but de comparer des parcelles similaires d'un point de vue des propriétés physico-chimique du sol et des conditions environnementales. Les différences d'abondance et de diversité entre les parcelles Bio et Conv ont été testés par un model linéaire généralisé (glm). Dans chaque model, l'humidité du sol ou les coordonnées des sites sur l'axe 1 de l'ACP ont été utilisées comme covariabe pour prendre en compte les effets des conditions environnementales. La fonction de lien quasi-binomial a été appliquée pour prendre en compte la distribution non-normale des résidus. Ensuite, une analyse factorielle des correspondances a été réalisée à partir de la matrice de la densité des espèces aux 25 sites échantillonnés sur Thieubert.

Pour chaque analyse, la normalité des résidus et l'homogénéité des variances ont été vérifiées. Lorsque nécessaire, une transformation log ou arc-sin a été appliquée de manière à remplir les conditions de réalisation du test. L'ensemble des analyses a été réalisée avec le logiciel R (version 3.2.0).

Tableau 3 : liste de l'ensemble des espèces d'invertébrés saprophage répertoriés (excepté les insectes).

Niveau taxonomique	Nom du taxon	Nom de l'espèce	Nb d'individus collectés
Classe	**Clitellata**		
Famille	Megascolescidae	*Amynthas rodericensis (Grube, 1879)*	15
Famille	Glossoscolecidae	*Pontoscolex corethrurus (Muller)*	492
Classe	**Gastropoda**		
Famille	Achatinidae	*Achatina fulica (Férussac, 1821)*	4
Famille	Veronicellidae	*Diplosolenodes occidentalis (Guilding, 1825)*	3
Famille	Subulinidae	*Leptinaria lamellata (Potiez & Michaud, 1835)*	2
Famille	Subulinidae	*Subulina octona (Bruguière, 1792)*	40
Famille	Succineidae	*Succinea cuvieri (Draparnaud, 1801)*	2
Ordre	**Isopoda**		
Famille	Philosciidae	*Pseudotyphloscia alba (Dollfus, 1898)*	32
Famille	Philosciidae	*sp1*	106
Famille	Dubioniscidae	*Calycuoniscus sp2*	9
Famille	Eubelidae	*Pudeoniscus sp3*	8
Famille	Platyarthridae	*Trichorhina sp4*	83
Famille	?	*sp5*	1
Classe	**Diplopoda**		
Famille	Rhinocricidae	*Anadenobolus leucostigma (Pocock, 1894)*	21
Famille	Rhinocricidae	*Anadenobolus monilicornis (von Porat, 1876)*	83
Famille	Trigoniulidae	*Trigoniulus corallinus (Gervais, 1847)*	74
Famille	Lophoproctidae	*Lophoturus longisetis (Pocock, 1894)*	28
Famille	Paradoxosomatidae	*Chondromorpha xanthotricha (Attems, 1898)*	13
Famille	Paradoxosomatidae	*Orthomorpha coarctata (Saussure, 1860)*	6
Famille	Pyrgodesmidae	*Poratia sp*	16
Famille	Trichopolydesmidae	*sp1*	9
Ordre	Spirostreptida	*sp3*	2
Ordre	**Diplura**		
Famille	Campodeidae	*sp1*	1
Classe	**Symphila**		
-	-	*sp1*	1
Ordre	**Zygentoma**		
-	-	*sp1*	c

Résultats

Composition et abondance des communautés d'invertébrés du sol en fonction des terroirs :

Sur l'ensemble de la zone étudiée, l'abondance de de la communauté d'invertébrés du sol est de 364±49 ind.m^{-2} en moyenne (Tableau 2). Le terroir du Plateau Courbaril a tendance à avoir une densité d'invertébré plus élevée que dans les autres terroirs mais les différences ne sont pas significatives. Cependant lorsque l'on analyse séparément les différents groupes taxonomiques, il apparait que la densité et la biomasse de vers de terre est significativement plus importante sur le terroir de Courbaril (Tableau 2). L'abondance des insectes est la plus forte sur Thieubert, a un niveau intermédiaire sur Godinot et est plus faible sur Courbaril et Rochetière.

Sur l'ensemble des terroirs, 59 espèces d'invertébrés du sol ont été répertoriés, dont 25 espèces de macroinvertébrés saprophages (Tableau 3). Les terroirs de Courbaril et Thieubert ont une richesse moyenne supérieure à celle des terroirs de Rochetière et Godinot. La richesse spécifique totale des vers de terre est assez similaire sur les 4 terroirs, seulement 2 espèces ont été répertoriées et elles sont présentes sur les 4 terroirs excepté Godinot ou seulement une espèce a été trouvée. Le terroir de Rochetière compte 7 espèces de diplopodes sur les 9 répertoriées au total, ce qui en fait le terroir ayant la plus forte richesse spécifique de diplopodes. A l'inverse, les terroirs de Courbaril et Godinot ont la plus faible richesse spécifique de diplopodes. Cependant il faut noter qu'une espèce de Spirostepte probablement non décrite de la science n'a été retrouvée que sur le terroir de Godinot (Image 1, en haut à gauche). Au total 6 espèces d'isopodes ont été répertoriées mais n'ont pas pu être toutes identifiées. Le nombre d'espèces retrouvée dans chaque terroir est très variable, c'est le terroir de Thieubert qui la richesse spécifique d'isopode la plus élevée. Malgré une faible abondance, 5 espèces de Gastéropodes ont été recensés sur l'ensemble des terroirs étudiées et ces 5 espèces sont toute présentes sur Thieubert. Il est intéressant de noter la présence de *Succinea cf. cuvieri* dont l'aire de répartition dans l'arc Antillais est mal connu. Enfin, bien qu'une petite partie seulement des insectes ai été inventoriés dans cette étude, la richesse spécifique de ce groupe dépasse largement celle des autres groupes. La richesse spécifique des insectes semble être proportionnelle à l'effort d'échantillonnage effectué dans chaque terroir ce qui montre que, pour ce groupe, l'inventaire est loin d'être exhaustif.

Image 1 : Photographies de macroinvertébrés du sol récoltés dans la canne à sucre. En haut à gauche, un diplopode de l'ordre des Spirostreptes étant peut être une espèce nouvelle pour la science. En haut à gauche une espèce d'isopode appartenant à la famille des Dubioniscidées. En bas à gauche, une espèce de diplopode très répandue, appelée le iule de corail (*Trigoniulus coralinus*). En bas à droite, un petit scarabée (*Ateuchus illaesum*).

L'analyse en composante principale des variables environnementales montre que les 4 terroirs peuvent être regroupés en 3 unités (Fig. 3) qui sont principalement discriminées le long de l'axe 1 qui capture à lui seul 31 % de la variabilité du jeux de donnée contre respectivement 16 et 13 % pour l'axe 2 et 3. Les sites du terroir de Rochetière sont situés sur la partie gauche de l'axe 1, ce qui indique une tendance à avoir une plus forte humidité du sol et des litières ainsi qu'une masse de litière au sol plus importante et une plus forte teneur en Carbone dans le sol. C'est également sur ce terroir que les plus importants volumes de produits phytosanitaires ont été utilisés. La deuxième unité regroupe les terroirs de Godinot et Courbaril. Outre le fait que ces deux terroirs sont situés à un niveau intermédiaire de l'axe 1, ils sont également discriminés par l'axe 2 qui indique que ces terroirs sont situés plus en altitude et ont des teneurs en P plus faible. Enfin le troisième groupe est constitué du terroir de Thieubert qui est caractérisé par un pH plus élevé, plus de Ca et de limon dans le sol ainsi qu'une humidité plus faible et des volumes de produit phytosanitaire utilisés moindres. Les coordonnées des échantillons sur l'axe 1 de l'ACP on servit d'indicateur des conditions environnementales de chaque terroir et ont été utilisé pour faire des régressions linéaires (cf. Annexe 1). Les régressions linéaires entre l'axe 1 et le rendement en canne à sucre 2015 montre que le rendement est négativement corrélé à l'axe1. Les terroirs les plus productif sont par ordre décroissant Rochetière > Courbaril/Godinot > Thieubert. A l'inverse la diversité augmente légèrement mais significativement le long de l'axe1 (R^2=0.07, p=0.023). Aucune relation significative n'existe entre l'abondance des invertébrés du sol et l'axe 1. Cependant pour les insectes, il existe une relation significative assez marquée entre l'axe 1 et l'abondance (R^2=0.17, p=0.001).

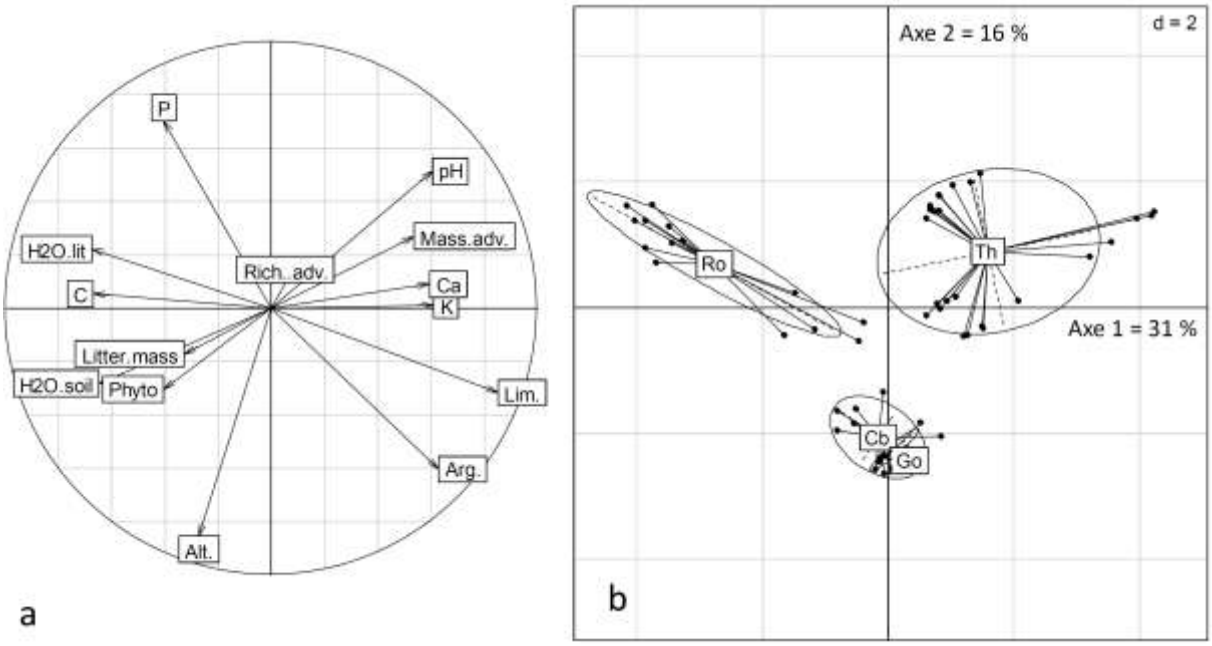

Figure 3 : Analyse en composante principale (ACP) des caractéristiques des parcelles de chaque terroir. (a) Cercle des corrélations représentant les différentes variables mesurées. (b) Représentation des échantillonnages selon l'axe 1 et l'axe 2 de l'ACP. Les échantillonnages sont regroupés selon les terroirs par des ellipses avec un intervalle de confiance de 95%.

Signification des abréviations : Alt.=altitude, Arg. = % d'argile, C = % de Carbone, Ca = % de calcium, H2O.soil = teneur en eau du sol, H2O.lit = teneur en eau des litières, Lim.= % de limon, litter.mass = masse de litière, K = % de potassium, Mass.adv.=biomasse de plante adventice, pH=pH, Phyto = volume de produit phytosanitaire utilisé, Rich.adv. = richesse spécifique des adventices.

Effet de la conversion à l'agriculture Bio sur l'abondance et la composition des communautés d'invertébrés du sol :

La conversion à l'agriculture biologie a eu un effet marqué sur l'abondance de la communauté d'invertébrés du sol du terroir Thieubert. L'abondance moyenne des invertébrés du sol est de 466±79 ind.m^{-2} dans les sites Bio contre seulement 256±32 ind.m^{-2} dans les sites Conv (p=0.005). Les abondances des différents groupes d'invertébrés ont suivi globalement la même tendance, cependant des groupes ont réagi de manière moins marquée que d'autre (Fig. 4). Les différences les plus importantes entre les sites Bio et Conv sont observées pour les isopodes et les gastéropodes avec des différences d'abondance dépassant les 100%. Les Insectes ont une abondance environ deux fois moins importante dans les sites Conv que dans les sites Bio, de plus une relation significative entre le volume total d'herbicide utilisé dans chaque parcelle et l'abondance des insectes a été mise en évidence (Fig. 5). Enfin, Bien qu'une tendance soit visible, les abondances des vers de terre et des diplopodes ne sont pas significativement différentes entre les sites Bio et Conv. Cependant, pour les vers de terre, la biomasse moyenne de la communauté est plus importante dans les sites Bio.

Contrairement à L'abondance, la composition et la diversité de la communauté d'invertébrés sont relativement similaires entre les sites Bio et Conv. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) montre que l'espace représentant les sites Bio Chevauche en partie l'espace des sites Conv (Fig. 6). Néanmoins certaines espèces contribuent de manière importante à discriminer les sites Bio et Conv dans la projection de l'AFC. C'est le cas du coléoptère *Ateuchus illaesum* (Image 1) et de la limace *Diplosolenodes occidentalis* qui n'ont été retrouvés que dans les parcelles Bio. A cela s'ajoute la présence de l'Isopode *Trichorhina sp* en abondance dans les sites Bio alors qu'il est plus rare dans les sites Conv. A l'opposé, les diplopodes *Chondromorpha xanthotrica* et *Orthomorpha coarctata* n'ont été trouvés que dans les sites Conv. L'espèce de diplopode *Trigoniulus coralinus* est également présente en forte abondance dans les sites Conv comparativement aux sites Bio. Malgré ces différences dans la composition des communautés, la diversité reste identique dans les sites Bio et Conv, que ce soit au niveau de la richesse, de l'indice de Shannon que de l'équitabilité (Fig. 4).

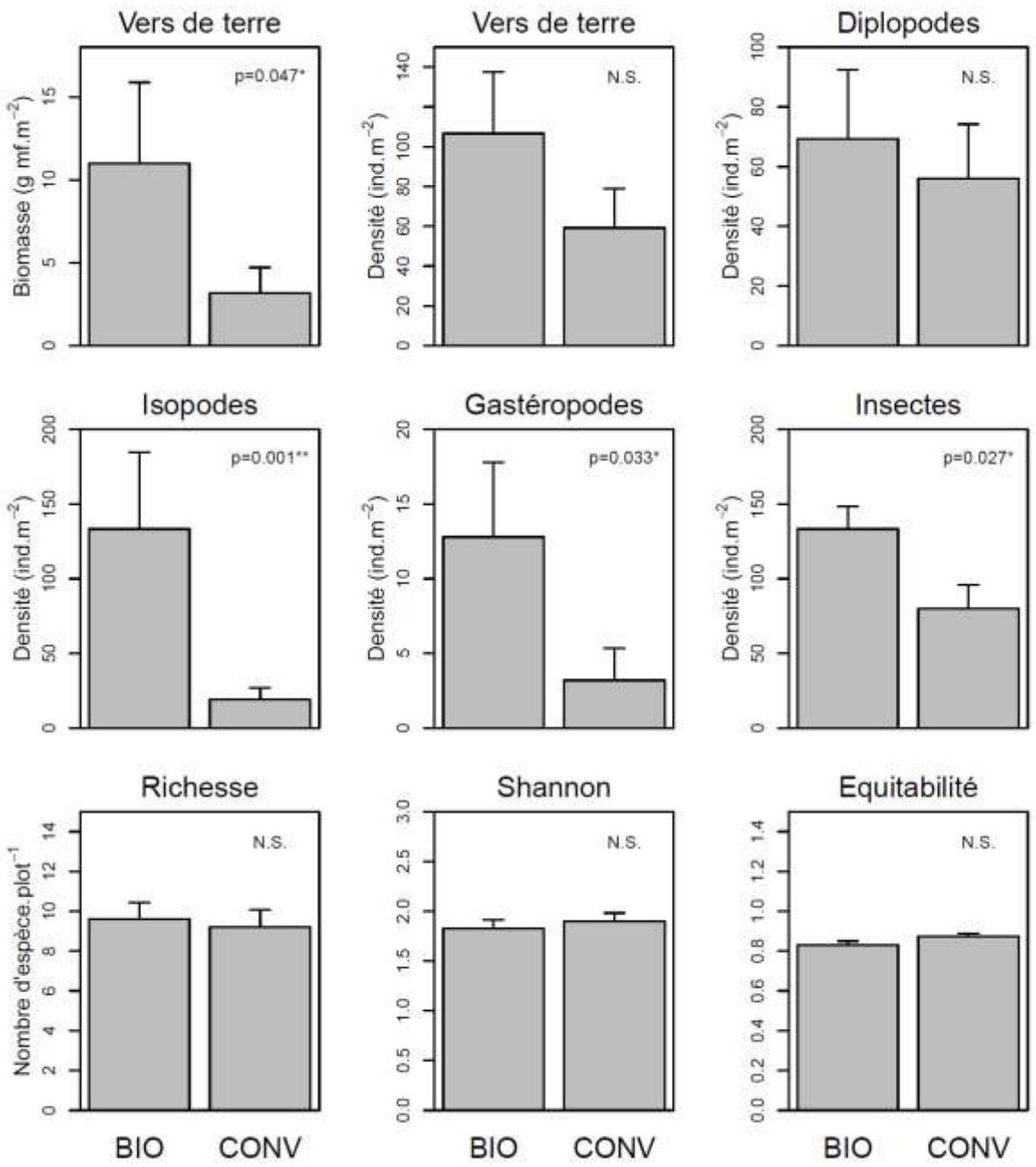

Figure 4 : Comparaison des communautés d'invertébrés du sol entre les parcelles biologiques (n = 15) et conventionnelles (n = 10). Les deux lignes du haut représentent la biomasse des vers de terre ainsi que l'abondance des 5 principaux groupes de la macrofaune saprophage. La ligne du bas représente la richesse spécifique moyenne, l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité. Les indices ont été calculés pour chaque site sur l'ensemble de la communauté de macrofaune du sol, c'est-à-dire en incluant également les espèces non saprophages.

Discussion

Les communautés de macroinvertébrés saprophages dans la canne à sucre :

Cette étude a permis de contribuer significativement à la connaissance de la biodiversité des macro-invertébrés saprophages. Malgré les collemboles et les nématodes qui avaient déjà été étudiés [17,18], la diversité des macroinvertébrés de Martinique était encore largement méconnue [19,20]. Cette étude a permis de distinguer au total plus de 60 espèces différentes. Hormis les insectes, il y a plus de 25 espèces de macroinvertébrés saprophages dont 15 dont pu être identifiées spécifiquement. On retrouve des espèces de diplopode présentes en Guadeloupe [21] telles que *Anadenobolus minilicornis*, *Anadenobolus leucostigma*, *Trigoniulus coralinus, Orthomorpha coarctata*, *Chondromorpha xanthotricha*, *Lophoturus longisetis* et le vers de terre *Amynthas rodericensis*. Hormis *les deux Anadenobolus* et le polyxène *L. longisetis* qui sont originaires des petites Antilles, ces espèces ont une répartition pantropicale et sont pour la plupart introduites [22]. L'inventaire botanique des parcelles de canne à sucre suit une tendance similaire (Annexe 2). Sur les 28 espèces recensées, environs 60% sont des espèces introduites. Ces résultats s'expliquent par le fait que les milieux insulaires sont plus sensibles aux invasions biologiques. De plus, les agroécosystèmes sont des milieux particulièrement vulnérables aux invasions biologiques de par le risque accru d'introduction [23–25] et le fort niveau de perturbation qui fournit un terrain favorable à l'établissement d'espèces invasives [26]. Il est donc essentiel de chercher à favoriser la biodiversité des communautés d'invertébrés du sol pour accroitre leur résistance face aux espèces invasives.

Cette étude réalisée dans des sols de plantation de canne à sucre en Martinique a mis en évidence des communautés d'invertébrés saprophage ayant une abondance et un niveau de diversité élevés. Par exemple dans deux sites forestiers de Guadeloupe, [27] ont recensé 7 espèces de diplopodes contre 10 dans la présente étude et 3 morpho-espèces d'isopodes contre 6 dans la présente étude. A l'inverse seulement 3 espèces de vers de terre ont été trouvé dans la canne à sucre en Martinique contre 3 espèces dans les forêts de Guadeloupe. Bien qu'un champ de canne à sucre soit un milieu perturbé, cette importante biodiversité peut s'expliquer par le fait que les différents terroirs étudiés présentes des conditions environnementales variées. La forte abondance des macroinvertébrés est un indicateur du bon fonctionnement biologique des sols. Lors d'une étude sur des vertisol en Martinique, Blanchart *et al.* [20] ont mesurés une abondance des macroinvertébrés dans la canne à sucre comprise…

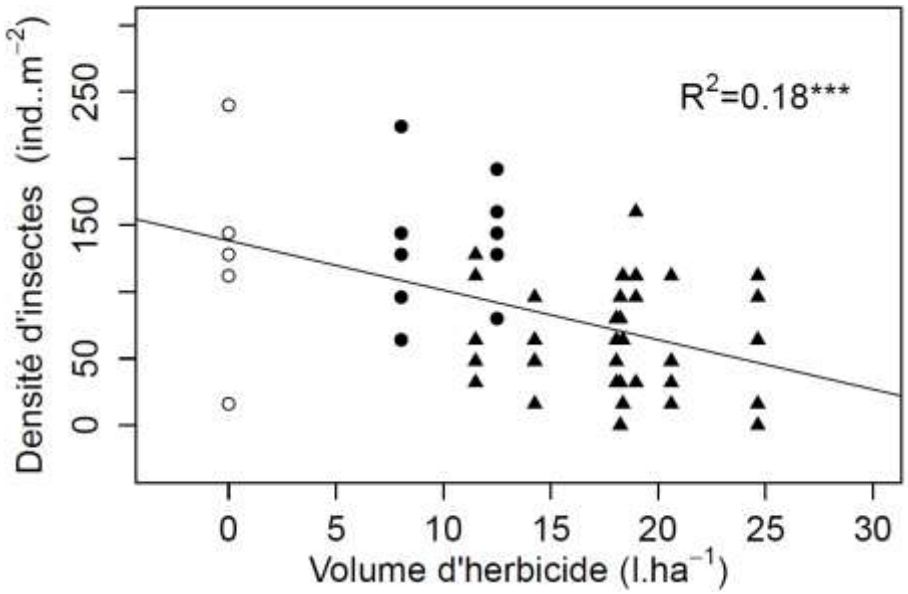

Figure 5 : **Relation entre l'abondance des insectes et le volume d'herbicide utilisé sur chaque parcelle durant les 2 ans précédant l'échantillonnage.** Les différents symboles indiquent les différentes pratiques : Bio en conversion depuis 2 ans (○), Bio en conversion depuis 1 an (●), agriculture conventionnelle (▲).

… entre 130 ind.m^{-2} (avec brulis) et 275 ind.m^{-2} (sans brulis) alors que l'abondance observé dans la présente étude varie entre 218 et 522 ind.m^{-2}. Cette différence peut s'expliquer par le fait que le brulis n'a jamais été pratiqué sur les parcelles de la distillerie Neisson. Globalement, il y a peu de données disponibles sur l'ensemble de la communauté d'invertébrés du sol dans la canne à sucre, mais plusieurs études ont déjà été menées sur les vers de terre. En Afrique du Sud, Dlamini *et al.* [28] trouvent des abondances de vers de terre comprises entre 317 et 560 ind.m^{-2} et des biomasses comprises entre 17 et 47 g.m^{-2}. Dans des plantations de canne en Australie, Spain *et al.*[29] ont observés des abondances de vers de terre comprises entre 7.5 et 276 ind.m^{-2} et des biomasses entre 1.4 et 5.2 g.m^{-2}. Cependant sur l'ile d'Hawaï, Zou *et al.* [30] mentionnent des populations de vers de terre inexistantes dans la canne à sucre. Les différences entre ces études peuvent être dues aux conditions climatiques ou aux propriétés du sol qui diffèrent. Mais plusieurs raisons peuvent expliquer la forte abondance des invertébrés saprophages dans la canne à sucre. D'une part, la canne à sucre est une culture pérenne qui n'est replantée que tous les 7 à 8 ans. Les labours, qui constituent une perturbation majeure pour les invertébrés du sol [11,31], sont donc assez limités. D'autre part, une proportion importante de la biomasse produite est retournée au sol après la récolte sous forme de paille (14 % du rendement en canne selon Hassuani [32]), ce qui constitue une importante source de nourriture pour les organismes saprophage et aide à maintenir une forte teneur en MO dans les sols. Malgré ce bon état de santé générale des invertébrés du sol dans la canne à sucre, certaines pratiques émergeantes peuvent avoir des conséquences négatives sur les invertébrés du sol. La mécanisation croissante risque d'entrainer une compaction des sols et oblige les planteurs à faire des sillons dans le sens de la pente pour permettre un accès sécurisé aux machines, ce qui augmente le risque d'érosion. Le remodelage [33] et l'augmentation de l'utilisation des herbicides représentent également des menaces pour la biodiversité des invertébrés.

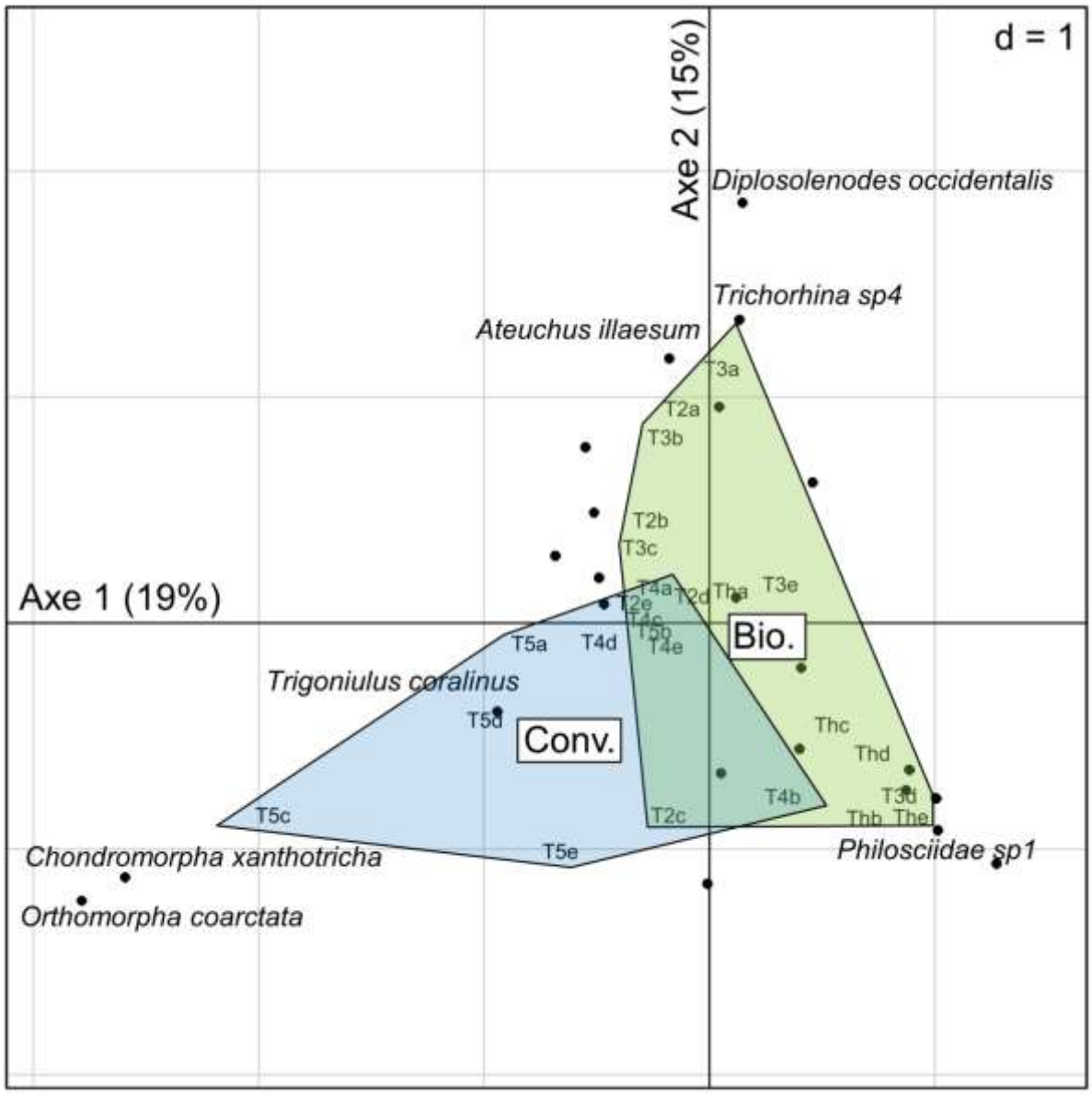

Figure 6 : Analyse factorielle des correspondances sur l'ensemble des invertébrés saprophages collectés sur le terroir de Thieubert. Les projections des sites et des espèces sont représentées dans le plan de l'axe 1 et de l'axe 2. Pour une meilleure lisibilité, seulement le nom des espèces les plus discriminantes a été indiqué.

Effets de la conversion à l'agriculture Bio sur les communautés d'invertébrés :

Les résultats de cette étude montrent que l'abondance des invertébrés du sol est significativement plus importante dans les parcelles de canne à sucre Bio que dans les parcelles Conv. Aucun engrais de synthèse ni herbicide ne sont utilisés dans les parcelles Bio, les différences observées sont donc probablement due à un effet de l'utilisation des herbicides. Dans une récente étude, Correira et Moreira [8] ont mis en évidence la toxicité de deux herbicides couramment employés dans la canne à sucre (2,4 D sel de dimethylamine et glyphosate) et qui ont été utilisés dans les parcelles conventionnelles de la présente étude. Ces deux molécules ont entrainé des effets négatifs sur la survie et la reproduction du vers de terre *Eiseinia foetida* en laboratoire. Cependant 7 autres molécules actives ont été utilisées sur les parcelles étudiées, et il n'existe pas de données ecotoxicologiques sur chacune de ces molécules. De plus nous ignorons l'effet du mélange de ces molécules entre elles (*i.e.* l'effet cocktail) et avec les additifs utilisés lors des préparations appliquées en plein champ. Il est donc important d'étudier l'effet des herbicides en conditions réalistes directement sur les communautés d'invertébrés *in situ*. En milieu tempéré, Henneron *et al.* [11] ont montrés que le passage à l'agriculture biologique avait un effet bénéfique sur la plupart des invertébrés du sol. Dans une récente synthèse bibliographique, Pelosi *et al.* [13] ont étudié l'effet des produits phytosanitaires sur les vers de terre à l'échelle individuelle et à l'échelle de la communauté. À l'échelle individuelle, les effets consistent en une réduction de la fécondité plutôt qu'en une toxicité directe liée à une hausse de la mortalité. À l'échelle de la communauté, la synthèse de 6 études comparant des parcelles Bio et Conv montre que l'agriculture Bio entraine une augmentation de l'abondance et de la biomasse des vers de terre. Ces résultats ont été obtenus en milieu tempéré, or en milieu tropical, les herbicides utilisés et les espèces d'invertébrés sont différents mais il n'y a que très peu d'étude sur le sujet. Nos résultats confirment cette tendance générale et montrent que le passage en Bio a un effet positif sur l'ensemble de la communauté d'invertébrés du sol. Cependant, certains groupes sont plus sensibles que d'autres. Les isopodes et les gastéropodes ont été fortement affectés, ce qui confirme les connaissances sur la biologie et la physiologie de ces organismes (peu mobiles, assimilent facilement et bioaccumulent les polluant, etc.) qui sont fréquemment utilisés comme des bio-indicateur [34,35]. Les vers de terre ont également été affectés, la biomasse de la communauté étant plus faible dans les parcelles Conv que dans les parcelles Bio. À l'inverse les diplopodes n'ont pas été significativement affecté par le passage en Bio. Plusieurs études montrent que les diplopodes sont peu affecté [12] ou ne réagissent pas au…

…passage en Bio [11], ce qui semble indiquer que ce groupe d'invertébré est moins sensible à l'usage des pesticide que les autres d'invertébrés du sol et confirme les études écotoxicologues montrant une faible toxicité des herbicides pour les diplopodes [36].

Contrairement à l'abondance, la diversité des communautés d'invertébrés saprophage est restée identique dans les parcelles Bio et Conv. La biodiversité est fortement influencée par d'autre facteur intervenant à l'échelle du paysage tels que la diversité des habitats environnant la parcelle, la proportion de zones non cultivées, les haies, les corridors écologiques et la présence d'autres microhabitats jouant le rôle de refuge comme les marres, les arbre morts, etc [37,38]. Il est donc possible, comme Bengtsson *et al.* le suggèrent[37], que l'effet de l'agriculture biologique sur la biodiversité soit dépendant de la structure du paysage, avec des effets positifs plus marqués dans les paysages homogènes dominés par l'agriculture intensive et moindre dans les paysages hétérogènes avec une mosaïque mélangeant les zones cultivées et les zones non agricoles. La zone ou les comparaisons entre les parcelles Bio et Conv ont été faites est située dans un paysage composé d'un mosaïque de forêts sèches, de pâturages et d'habitations, ce qui pourrait expliquer que la conversion Bio n'ai pas eu d'effet sur la biodiversité. Dans le cas présent on peut également émettre l'hypothèse que la conversion à l'agriculture biologique est trop récente (entre 2 ans et 1 an) pour qu'il y ait eu une colonisation des parcelles par de nouvelles espèces. D'autant plus que les invertébrés du sol (excepté les insectes) ne sont pas ailés et ont donc de faible capacité de dispersion.

Cependant, il est intéressant de noter que même après une courte période pendant laquelle les herbicides n'ont plus été utilisés, l'abondance augmente à nouveau. Ce retour semble immédiat et progressif comme le suggère la corrélation entre le volume de pesticide utilisé durant les deux dernières années et l'abondance des insectes (Fig. 5). On distingue nettement que les parcelles en conversion depuis 1 an seulement ont une abondance intermédiaire situé entre la parcelle en conversion depuis 2 ans et les parcelles en agriculture conventionnelles. Ce résultat montre que, même lorsque l'agriculteur n'est pas engagé dans une démarche de conversion Bio qui implique un arrêt total de l'utilisation d'herbicide, une réduction des volumes utilisés peut avoir un effet bénéfique sur les invertébrés du sol. C'est une démarche qu'il est nécessaire d'encourager car elle est soutenable pour la biodiversité des invertébrés du sol et sera bénéfique sur le long terme à la fertilité des sols agricoles.

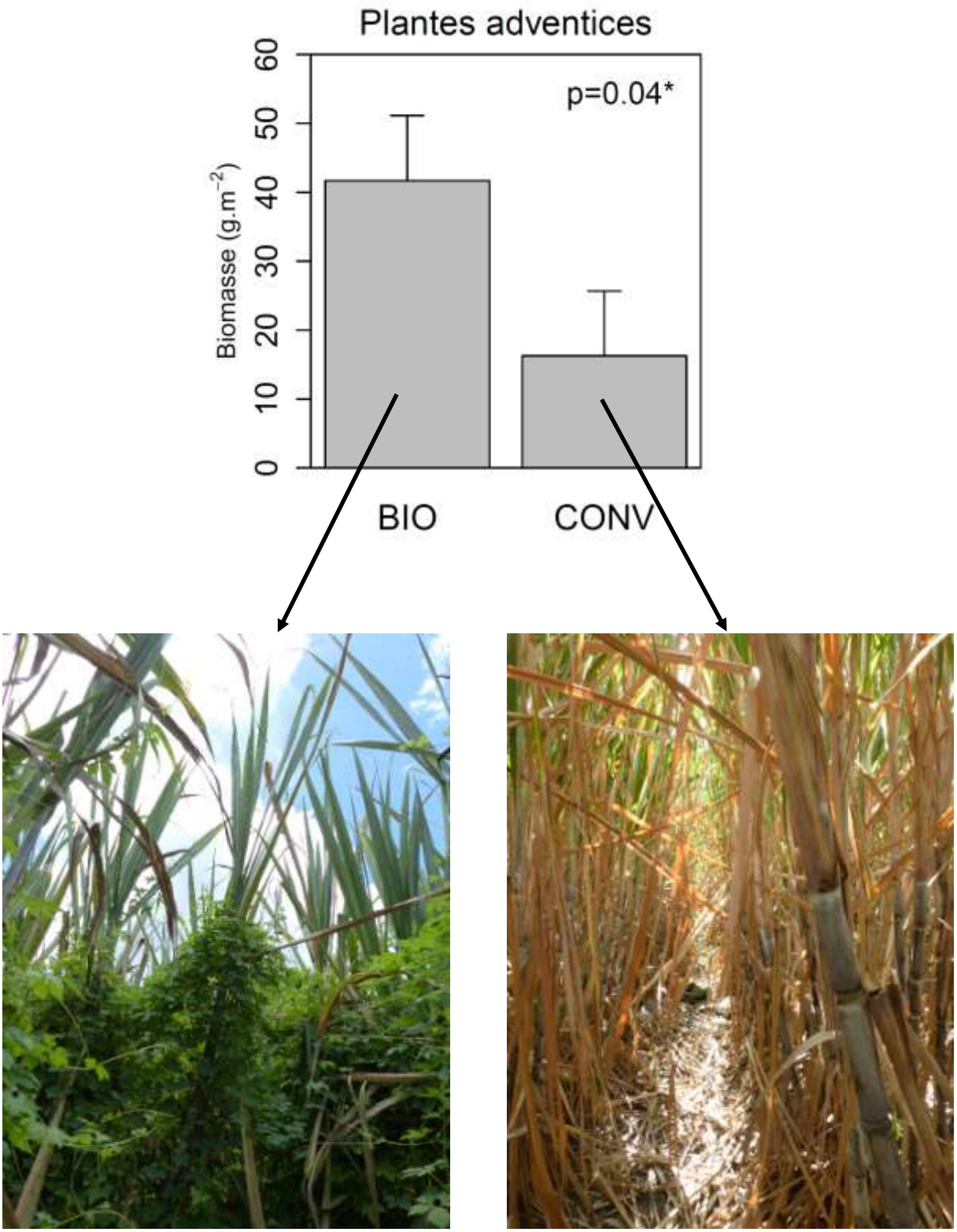

Figure 7 : Effet de la conversion à l'agriculture Bio sur la biomasse de plantes adventices. Beaucoup de parcelles Bio ont été infestées par les plantes adventices et plus particulièrement par les lianes qui arrivent à se développer même lorsque la canne est haute comme le montre les lianes de paroka (*Momordica charantia*) sur la photo de gauche. Dans les parcelles en conventionnel les traitements herbicides et notamment les pré-émergents arrivent à contrôler de manière efficace cette prolifération (cf. photo de droite).

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de mettre en évidence un effet positif de l'agriculture biologique sur l'abondance des invertébrés du sol. Cependant, il faut rester prudent dans l'interprétation des résultats car les parcelles étudiées n'étaient pas en conversion Bio depuis longtemps (entre1 et 2 ans). Il serait intéressant de mettre en place un suivi temporel de ces parcelles. Cela permettrait de confirmer la tendance observée concernant l'abondance, et de vérifier s'il y a, à terme, une recolonisation par de nouvelles espèces et une augmentation de la biodiversité dans les parcelles Bio. Malgré cela, étant donné l'impact important et immédiat de l'arrêt des pesticides sur l'abondance des invertébrés saprophages, il est très probable que la conversion Bio ait des conséquences positives sur le fonctionnement biologique, le maintien de la fertilité et l'amélioration des propriétés physico-chimiques de sols. Le développement de culture Biologique de la canne à sucre constitue donc une perspective intéressante pour assurer la durabilité des sols en Martinique.

Les résultats de cette étude montrent également que la biomasse d'adventices est plus importante dans les parcelles Bio que dans les parcelles Conv (Figure 7), ce qui peut avoir des effets négatifs sur le rendement. La gestion des adventices représente un réel défi pour la culture de la canne en Bio en Martinique. La recherche de nouvelles pratiques est donc essentielle car elle jouera un rôle moteur, non seulement pour la filière Bio, mais également pour l'ensemble de la filière canne. En effet compte tenu des interdictions croissantes des herbicides, l'agriculture conventionnelle sera probablement amenée à s'inspirer des pratiques Bio pour gérer les adventices.

De nouvelles pratiques concernant la gestion des adventices sont déjà en cours de développement et devraient permettre de réduire significativement l'usage des herbicides dans les années à venir. Les pesticides ne pourront pas être remplacé par une méthode unique, il faudra combiner plusieurs pratiques telles que :

- L'utilisation de tracteur étroit comme dans la vigne pour faire du désherbage mécanique entre les rangs de canne.
- Le paillage avec de la bagasse et de la vinasse qui limite la croissance et permet de réutiliser les sous produit de l'industrie de la canne.
- L'utilisation de plantes de services qui pourront également servir d'engrais vert.

Or on ignore encore l'effet de ces nouvelles pratiques sur les invertébrés du sol. Dans la vigne par exemple, une diminution de l'abondance des vers de terre a été observée dans les parcelles Bio à cause du désherbage mécanique qui causait plus de dommage que les pesticides [39]. Bien qu'elles soient développées dans une optique de préserver l'environnement, il faut donc rester prudent vis-à-vis de ces nouvelles pratiques. Des recherches sont nécessaires pour étudier leurs effets sur les invertébrés du sol. Une des pratiques les plus prometteuses est l'utilisation de plantes de service car elles permettent de remplir plusieurs fonctions. Une perspective intéressante serait donc d'étudier l'effet des plantes de services sur les invertébrés du sol et de prendre en compte cette variable pour sélectionner des espèces végétales selon des critères de multifonctionnalité (engrais vert, contrôle des adventices, maintien de la biodiversité, valeur esthétique, etc.).

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au fond européen FEDER, à la région Martinique et à l'EARL domaines Thieubert (Distillerie Neisson). Je remercie C. Vernant-Neisson et G. Vernant pour m'avoir accueilli au sein de leur entreprise ainsi que tout le personnel de la distillerie pour leur aide dans ce projet. Je tiens particulièrement à remercier A. Boby pour son accueil et les discussions passionnantes que nous avons eus. Merci également à tous les spécialistes qui m'ont aidé à déterminer les différents groupes d'invertébrés du sol : E. Blanchart et E. Razafindrakoto (vers de terre), J.-J. Geoffroy (diplopodes), F. Noël (isopodes), F. Deknuydt (coléoptères), R. Delannoye (gastéropodes).

Bibliographie

1. Lavelle, P. *et al.* SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna? *Nutr. Cycl. Agroecosystems* **61,** 53–61 (2001).
2. Wolters, V. & Ekschmitt, K. Gastropods, isopods, diplopods, and chilopods: neglected groups of the decomposer food web. *Fauna Soil Ecosyst.* 265–306 (1997).
3. Lavelle, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol. Int.* **33,** 3–16 (1996).
4. Lavelle, P., Spain, A. V., Blanchart, E., Martin, A. & Martin, S. in *Myths and Science of Soils of the Tropics* 157–185 (Soi Science Society of America Special Publication, 1992).
5. Hassan, S. A. *et al.* Results of the sixth joint pesticide testing programme of the IOBC/WPRS-Working Group «Pesticides and Beneficial Organisms». *Entomophaga* **39,** 107–119 (1994).
6. Fox, C. J. S. The effects of five herbicides on the numbers of certain invertebrate animals in grassland soil. *Can. J. Plant Sci.* **44,** 405–409 (1964).
7. Pelosi, C. *et al.* Reduction of pesticide use can increase earthworm populations in wheat crops in a European temperate region. *Agric. Ecosyst. Environ.* **181,** 223–230 (2013).
8. Correia, F. V. & Moreira, J. C. Effects of glyphosate and 2, 4-D on earthworms (Eisenia foetida) in laboratory tests. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **85,** 264–268 (2010).
9. Merlini, V. V., Nogarol, L. R., Marin-Morales, M. A. & Fontanetti, C. S. Toxicity of trifluralin herbicide in a representative of the edaphic fauna: histopathology of the midgut of Rhinocricus padbergi (Diplopoda). *Microsc. Res. Tech.* **75,** 1361–1369 (2012).
10. De Silva, P. M. C., Pathiratne, A. & van Gestel, C. A. Toxicity of chlorpyrifos, carbofuran, mancozeb and their formulations to the tropical earthworm Perionyx excavatus. *Appl. Soil Ecol.* **44,** 56–60 (2010).
11. Henneron, L. *et al.* Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. *Agron. Sustain. Dev.* **35,** 169–181 (2015).

12. Paoletti, M. G., Schweigl, U. & Favretto, M. R. Soil macroinvertebrates, heavy metals and organochlorines in low and high input apple orchards and a coppiced woodland. *Pedobiologia* **39,** 20–33 (1995).

13. Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M. & Vandenbulcke, F. Pesticides and earthworms. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **34,** 199–228 (2014).

14. FAOSTAT. FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2015 |. (2015). at <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>

15. Nugent, V. R. *et al. Rapport annuel 2014, IEDOM Martinique*. 179 (IEDOM, 2015).

16. Willer, H. & Lernoud, J. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2015*. 300 (Research Institute for Oragnic Agriculture (FiBL), Frick and IFOAM - Organics international, Bonn, 2015).

17. Loranger, G., Ponge, J.-F., Blanchart, E. & Lavelle, P. Impact of earthworms on the diversity of microarthropods in a vertisol (Martinique). *Biol. Fertil. Soils* **27,** 21–26 (1998).

18. Queneherve, P. & Van den Berg, E. Liste des nématodes phytoparasites (Tylenchida et Dorylaimida) des départements français d'Amérique (Guadeloupe, Martinique et Guyane) et dispositions réglementaires. *EPPO Bull.* **35,** 519–530 (2005).

19. Loranger, G., Ponge, J.-F., Blanchart, É. & Lavelle, P. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). *Eur. J. Soil Biol.* **34,** 157–165 (1998).

20. Blanchart, E. *et al. Déterminants des stocks de carbone des sols des Petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés*. 52 (IRD, 2005).

21. Mauriès, J.-P. Diplopodes chilognathes de la Guadeloupe et ses dépendances. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. Paris* 1059–1111 (1980).

22. Mauriès, J.-P. Les modes de peuplement des îles océaniques par les diplopodes: Le cas des Antilles françaises. *Bull. Société Zool. Fr.* **112,** 343–353 (1987).

23. Hulme, P. E. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *J. Appl. Ecol.* **46,** 10–18 (2009).

24. Hulme, P. E. Nursery crimes: agriculture as victim and perpetrator in the spread of invasive species. *Crop Sci. Technol.* 733–740 (2005).

25. Drew, J., Anderson, N. & Andow, D. Conundrums of a complex vector for invasive species control: a detailed examination of the horticultural industry. *Biol. Invasions* **12,** 2837–2851 (2010).

26. Kulmatiski, A., Beard, K. H. & Stark, J. M. Soil history as a primary control on plant invasion in abandoned agricultural fields. *J. Appl. Ecol.* **43,** 868–876 (2006).

27. Loranger-Merciris, G., Imbert, D., Bernhard-Reversat, F., Ponge, J.-F. & Lavelle, P. Soil fauna abundance and diversity in a secondary semi-evergreen forest in Guadeloupe (Lesser Antilles): influence of soil type and dominant tree species. *Biol. Fertil. Soils* **44,** 269–276 (2007).

28. Dlamini, T. C. & Haynes, R. J. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Appl. Soil Ecol.* **27,** 77–88 (2004).

29. Spain, A. V., Saffigna, P. G. & Wood, A. W. Tissue carbon sources for Pontoscolex corethrurus (Oligochaeta: Glossoscolecidae) in a sugarcane ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* **22,** 703–706 (1990).

30. Zou, X. & Bashkin, M. Soil carbon accretion and earthworm recovery following revegetation in abandoned sugarcane fields. *Soil Biol. Biochem.* **30,** 825–830 (1998).

31. Stinner, B. R. & House, G. J. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* **35,** 299–318 (1990).

32. Hassuani, S. J., Leal, M. & Macedo, I. *Biomass power generation. Sugar cane bagasse and trash*. 216 (Programa das Nacoes Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) and Centro de Technologi a Canavieriva (CTC), 2005).

33. Godefroid, M., Delaville, L., Marie-Luce, S. & Quénéhervé, P. Spatial stability of a plant-feeding nematode community in relation to macro-scale soil properties. *Soil Biol. Biochem.* **57,** 173–181 (2013).

34. Paoletti, M. G. & Hassall, M. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* **74,** 157–165 (1999).

35. Oehlmann, J. & Schulte-Oehlmann, U. Molluscs as bioindicators. *Trace Met. Contam. Environ.* **6,** 577–635 (2003).

36. da Silva Souza, T., Christofoletti, C. A., Bozzatto, V. & Fontanetti, C. S. The use of diplopods in soil ecotoxicology–A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **103,** 68–73 (2014).

37. Bengtsson, J., Ahnström, J. & Weibull, A.-C. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* **42,** 261–269 (2005).

38. Tscharntke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A. & Thies, C. Contribution of Small Habitat Fragments to Conservation of Insect Communities of Grassland-Cropland Landscapes. *Ecol. Appl.* **12,** 354–363 (2002).

39. Coll, P., Le Cadre, E., Blanchart, E., Hinsinger, P. & Villenave, C. Organic viticulture and soil quality: A long-term study in Southern France. *Appl. Soil Ecol.* **50,** 37–44 (2011).

Annexes

ANNEXE 1 :

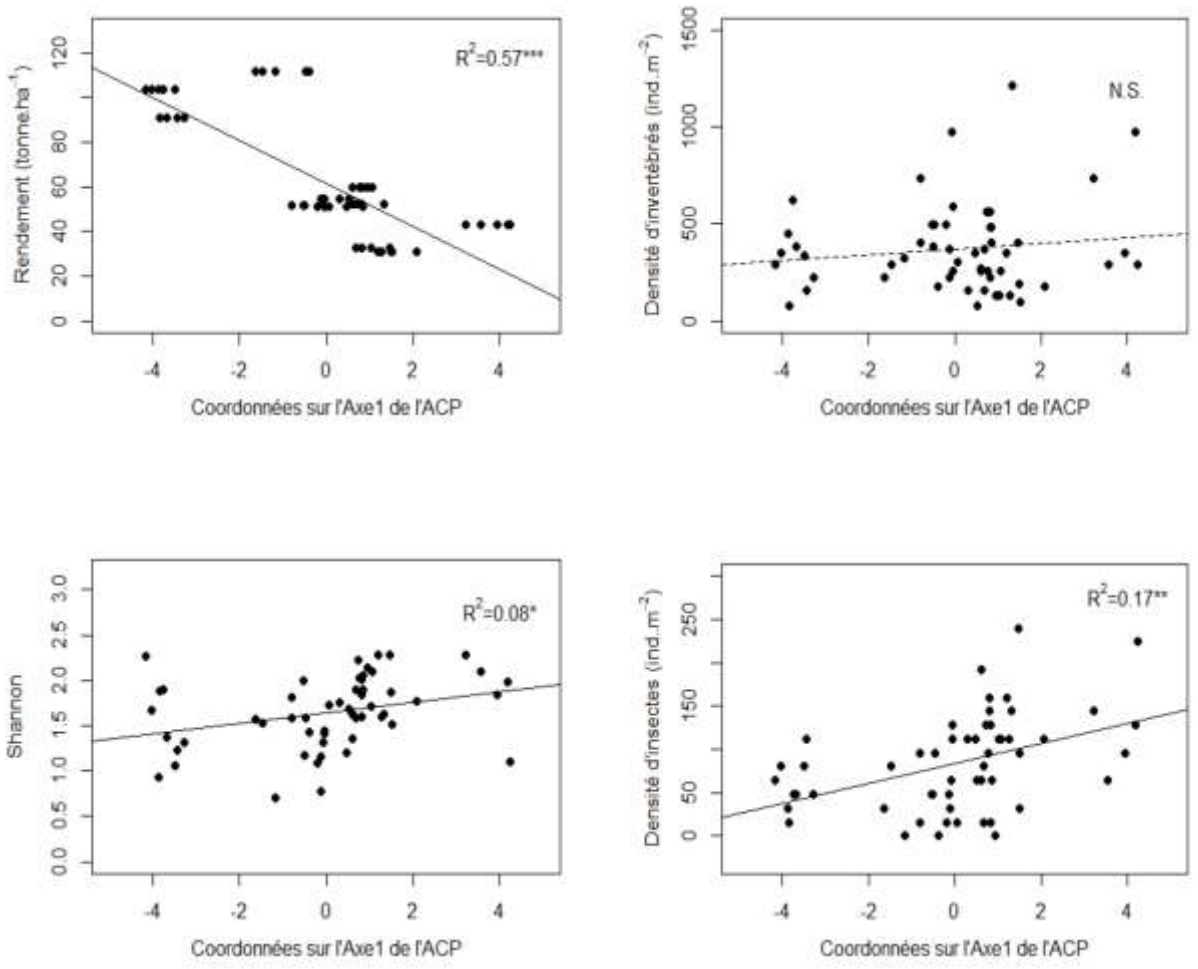

Figure A1 : relation entre le rendement, la densité et la diversité des invertébrés du sol, la densité des insectes et l'axe 1 de l'ACP.

ANNEXE 2

Tableau A2 : Liste des toutes les espèces de plantes adventices identifiées dans les 2 m^2 autour des échantillonnages d'invertébrés.

Nom de l'espèce	Famille	Origine géographique
Monocotylédones		
Kyllinga erecta	Cyperaceae	Afrique
Commelina benghalensis	Comelinaceae	Asie
Panicum maximum	Poaceae	Afrique
Cenchrus echinatus	Poaceae	Amérique tropicale
Dicotylédones		
Amaranthus dubius	Amaranthaceae	Amérique tropicale
Cyanthillium cinereum	Asteraceae	Afrique/Asie
Emilia fosbergii	Asteraceae	Pan tropical
Emilia praetermissa	Asteraceae	Afrique
Mikania micrantha	Asteraceae	Amérique tropicale
Ageratum conyzoides	Asteraceae	Amérique tropicale
Bidens sp	Asteraceae	-
Cleome rutidosperma	Cleomaceae	Afrique
Ipomea coccinea	Concolvulaceae	North america
Merremia aegyptia	Concolvulaceae	Pan tropical
Momordica charantia	Cucurbitaceae	Asie
Euphorbia Heterophylla	Euphorbiaceae	Amérique tropicale
Euphorbia hirta	Euphorbiaceae	Asie
Rhynchosia minima	Fabaceae	Eurasie
Mucuna pruriens	Fabaceae	Afrique/Asie
Vigna unguiculata	Fabaceae	Afrique
Mimosa pudica	Fabaceae	Amérique tropicale
Leonotis nepetifolia	Lamiaceae	Afrique
Phyllanthus amaraus	Phyllanthaceae	Amérique tropicale
Piperonia pellucida	Piperaceae	Amérique tropicale
Hedyotis corymbosa	Rubiaceae	Afrique/Asie
Lindernia crustacea	Scrophulariaceae	Asie
Solanum americanum	Solanaceae	Amérique tropicale
Pteridophyte		
Espèce non identifiée	-	-

Tableau A3 : liste de insectes et autres invertébrés répertoriés dans les parcelles de canne à sucre de la distillerie Neisson (Les données concernant les nématodes ont été récoltées en 2002 et nous ont été gracieusement communiquées par P. Quénéhervé).

Niveau taxonomique	Nom du taxon	Nom de l'espèce	Nb d'individus collectés
Classe	**Clitellata**		
Sous-Classe	Hirudinea	*sp1*	5
Classe	**Chilopoda**		
Famille	Scolopocryptopidae	*Newportia longitarsis (Demange, 198)*	10
Ordre	Geophilomorpha	*sp1*	22
Phyum	**Nematoda**		
Famille	Heteroderidae	*Meloidogyne arenaria (Neal, 1889)*	-
Famille	Pratilenchydae	*Rotylenchulus reniformis (Linford & Oliveira, 1940)*	-
Famille	Haplolaimidae	*Pratylenchus zeae (Graham, 1951)*	-
Famille	Haplolaimidae	*Helicotylenchus dishystera*	-
Famille	Haplolaimidae	*Helicotylenchus erythrinae (Zimmermann, 1904)*	-
Famille	Hoplolaimidae	*Hoplolaimus seinhorsti (Luc, 1958)*	-
Famille	Criconematidae	*Criconemella onoensis*	-
Famille	Longidoridae	*Xiphinema setariae (Luc, 1958)*	-
Famille	Trichodoridae	*Paratrichodorus minor (Colbran, 1956)*	-
Classe	**Insecta**		
Ordre	Coleoptera :		
Famille	Carabidae	sp1	2
Famille	Carabidae	sp2	1
Famille	Carabidae	sp3	1
Famille	Chrisomelidae	Chrisomelidae sp1	1
Famille	Chrisomelidae	Chrisomelidae sp2	1
Famille	Cucurlionidae	sp4	3
Famille	Cucurlionidae	Metamasius hemipterus (Champion, G.C., 1910)	37
Famille	Elateridae	sp5	2
Famille	Lampyridae	sp6	5
Famille	Scarabeidae	sp7	8
Famille	Scarabeidae	Phyllophaga sp	12
Famille	Scarabeidae	Ateuchus illaesum (Harold, 1868)	2
Famille	Scarabeidae	Omorgus suberosus (Fabricius, 1775)	1
Famille	Staphylinidae	sp8	182
Famille	Tenebrionidae	sp9	1
Famille	Tenebrionidae	sp10	3
Famille	Tenebrionidae	*Opatrinus clathratus (Fabricius, 1792)*	4
Famille	Bruchidae Curculionidae	sp11	4
Famille	Cantharidae ou Trogossitidae ?	sp12	17

Ordre	Blattodea :		
Famille	Ectobiidae (Cariblatta)?	Blattodea sp2	8
Famille	Blaberidae	Pycnoscelus surinamensis (Linnaeus, 1758)	16
Ordre	Dermaptera :		
Famille	Anisolabididae (Euborellia)	sp1	156
Ordre	Hemiptera :		
Famille	Cydnidae	Cyrtomenus crassus (Walker, 1867)	10
Famille	Reduviidae	Emesinae sp	1
Famille	Coreidae	sp1	1
-	-	sp2	5
Ordre	Orthoptera :		
-	-	sp1	1
-	-	sp2	30
-	-	sp3	1