Mémoire

Présenté par

DOUSSINAULT LÉA

Master Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt
Parcours « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

ANALYSE DES INTERACTIONS ENTRE LES INVERTÉBRÉS DÉTRITIVORES DE MARTINIQUE SUR LA DÉCOMPOSITION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LA CROISSANCE DU BANANIER EN UTILISANT UNE APPROCHE FONCTIONNELLE

Pour l'obtention du diplôme de
Master Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt

Enseignant responsable du stage : Sophie Boulanger-Joimel

Maîtres de stage : Meryem El Jaouhari et Mathieu Coulis

Soutenu le 29 août 2022

AgroParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Département SIAFEE

Engagement de non plagiat

 Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris a autrui.

- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée

- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.

- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

 Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.

- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.

- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

 Sanction : En cas de manquement à ces consignes, le département SIAFEE se réserve le droit d'exiger la réécriture du document, dans ce cas la validation de l'Unité d'Enseignement ou du diplôme de fin d'études sera suspendue.

 Engagement :

Je soussignée Léa Doussinault
Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Fort de France le 19/06/2022
Signature :

Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Remerciement

Je remercie en premier lieu mon encadrante de stage, Meryem El Jaouhari, qui m'a accompagnée tout au long de ce stage. Elle a été présente de mon arrivée à l'aéroport à mon départ en passant par le tamisage du sol et la lutte contre les fourmis. Elle a su prendre le temps de répondre à toutes mes questions, d'écouter mes doutes et de réfléchir ensemble au déroulement du stage et des expérimentations. Je la remercie pour sa réactivité, son optimisme et son soutien durant tout le stage. Ses nombreux conseils et corrections lors de la rédaction de mon mémoire m'ont aidée à suivre un fil conducteur et m'ont permis d'éclaircir certains éléments.

Je remercie également Mathieu Coulis, l'encadrant de thèse de Meryem et mon second encadrant de stage. Il a su se rendre disponible pour réfléchir avec nous lors de l'élaboration du protocole de l'expérimentation notamment. Je le remercie pour ses remarques toujours constructives qui nous ont permis de mener à bien ce projet.

Merci également à ma tutrice, Sophie Boulanger-Joimel, qui m'a guidée lors de la rédaction de mon pré-rapport.

Merci à Sophie Boulanger-Joimel et Gaëlle Damour pour la relecture de mon mémoire et leurs commentaires.

Cette expérimentation n'aurait pas vu le jour sans l'aide précieuse des ingénieurs et des techniciens, c'est pourquoi je remercie Nelly, Christiane, Eliane, Jonathan et Alain.

Je remercie tous les stagiaires, services civiques et thésards. Certains nous ont aidés pour la mise en place et le démontage de l'expérimentation et d'autres ont été présents moralement. Je remercie tout particulièrement, Sarah, Célia et Laure, mes colocataires avec qui j'ai partagé les pires et les meilleurs moments et qui ont fait de ce stage en Martinique une aventure incroyable.

Enfin, je remercie mes proches pour leur présence et leur soutien moral malgré la distance.

Liste des abréviations

C : carbone
N : Azote
CAEC : Campus Agro-Environnemental Caraïbe
CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
SAU : Surface agricole utile
Rdm_assim : rendement d'assimilation
Tx_conso_when_soil : taux de consommation de la litière en présence du sol
Tx_conso_soil : taux de consommation du sol
ACP : analyse en composantes principales
AnL : *Anadenobolus leucostigma*
AnM : *Anadenobolus monilicornis*
CuM : *Cubaris murina*
EuE : *Eudrilus eugeniae*
SuO : *Subilina octona*
Sp : espèce
Ba_br : ratio biomasse aérienne sur biomasse racinaire

Liste des figures

Figure 1 *: Schéma du cycle d'une bananeraie ; de la destruction à la replantation en vitroplants (Reproduction d'un schéma du livre de Lassoudière écrit en 2007)*

Figure 2 *: Les quatre hypothèses de relation entre la diversité des espèces et un processus écosystémique ; hypothèse de redondance : ligne en pointillés longs, hypothèse nulle : ligne en pointillés courts, hypothèse d'idiosyncrasie : ligne continue, hypothèse de fonction unique : ligne en pointillés courts et longs (Naeem et al., 1995)*

Figure 3 *: Effet net de la dissimilarité fonctionnelle sur la perte de masse de litière, les lettres correspondent aux différents assemblages d'espèces (Heemsbergen et al., 2004)*

Figure 4 *: Hiérarchie des facteurs contrôlant les taux de décomposition de la matière organique dans les écosystèmes (Modifié d'après Lavelle et al., 1993)*

Figure 5 *: A) Cercle de corrélation de l'ACP montrant les traits fonctionnels utilisés, la couleur des variables dépend de leur degré de contribution dans l'ACP, B) Graphique montrant la localisation des 14 espèces dans le plan de l'ACP – Signification des abréviations en annexe 3*

Figure 6 *: localisation de l'expérimentation en Martinique et dans les serres du CAEC*

Figure 7 *: Boîte à moustache de la croissance des bananiers en fonction des quatre types de sol testés*

Figure 8 *: Photographie d'un bananier représentatif par modalité dans l'ordre du plus petit (B) au plus grand (M2)*

Figure 9 *: Carte montrant la localisation du site de prélèvement du sol de l'expérimentation sur la carte des sols de Martinique (carte réalisée à partir des données de (Colmet-Daage et al., 1969))*

Figure 10 *: Litière en cours de décomposition sur la photo de gauche et litière décomposé à35 % pourcent sur la photo de droite*

Figure 11 *: Photographies des espèces utilisées lors de l'expérimentation*

Figure 12 *: Localisation des stations de récupération des 5 espèces utilisées lors de l'expérimentation*

Figure 13 *: Photographie et schéma décrivant globalement l'expérience*

Figure 14 *: Schéma représentant la disposition des modalités dans la serre (une couleur = une modalité avec ses répétitions) ainsi que le gradient d'ensoleillement et les lignes de l'expérimentation*

Figure 15 *: Graphique de l'évolution du pourcentage d'humidité moyenne du sol au cours du temps*

Figure 16 *: Boites à moustaches du pourcentage de décomposition de la litière en fonction des modalités. Les trois couleurs correspondent à trois groupes de modalités : les témoins sans invertébrés détritivores (gris), les assemblages monospécifiques (orange) et les assemblages plurispécifiques (vert). Les points rouges indiquent les moyennes. La ligne en pointillés noir est le prolongement de la médiane des modalités sans invertébrés détritivores (T-SF). La p-value a été obtenue grâce à un test lmer sur l'effet des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités*

Figure 17 *: Boites à moustaches de l'effet net sur le pourcentage de décomposition en fonction des assemblages. Les points rouges indiquent les moyennes. La ligne en pointillés noir est le prolongement d'un effet net égal à 0. La p-value a été obtenue grâce à un test lmer sur l'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités*

Figure 18 *: A) Relation entre la richesse spécifique des assemblages et l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). B) Relation entre l'indice de Rao et l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). L'abscisse des deux graphiques correspond à l'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Les lignes bleues sont des régressions linéaires, elles sont complétées par leur intervalle de confiance. Les lettres majuscules en rouge indiquent la position des modalités sur le graphique.*

Figure 19 *: A) Cercle de corrélation de l'ACP montrant les variables de croissance du bananier. La couleur des variables dépend de leur degré de contribution dans l'ACP. B) Représentation graphique de chaque répétition dans le plan de l'ACP en fonction de leur appartenance aux modalités ; témoins sans invertébrés détritivores, assemblages monospécifiques et assemblages plurispécifiques.*

Figure 20 *: Boites à moustaches de la croissance en biomasse des bananiers en gramme (A) et de la masse aérienne des bananiers (B) en fonction des modalités. Les trois couleurs correspondent à trois groupes de modalités : les témoins sans invertébrés détritivores (gris), les assemblages monospécifique (orange) et les assemblages plurispécifique (vert). Les points rouges indiquent les moyennes. Les lignes en pointillés noir sont le prolongement de la médiane des modalités sans invertébrés détritivores. Les p-values ont été obtenues grâce à un test lmer sur l'effet des assemblages sur la croissance en biomasse des bananiers. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités*

Figure 21 *: Boites à moustaches de l'effet net des assemblages sur la croissance en biomasse des bananiers (A) et la masse aérienne (B). Les points rouges indiquent les moyennes. Les lignes en pointillés noir sont le prolongement d'un effet net égale à 0. Les p-values ont été obtenues grâce à un test lmer sur l'effet net des assemblages sur la croissance en biomasse des bananiers. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités.*

Figure 22 *: A) Relation entre la richesse spécifique des assemblages et l'effet net. B) Relation entre l'indice de Rao sur l'effet net. L'abscisse correspond à l'effet net des assemblages sur la masse souterraine des bananiers. Les lignes bleues sont des régressions linéaires, elles sont complétées par leur intervalle de confiance. Les lettres en rouge indiquent la position des modalités sur le graphique.*

Figure 23 *: A) Effet de la richesse spécifiques des assemblages sur l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). B) Effet de la dissimilarité fonctionnelle (indice de Rao) sur l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). L'abscisse correspond à l'effet net des assemblages sur la surface foliaire en cm². Les lignes bleues sont des régressions linéaires, elles sont complétées par leur intervalle de confiance. Les lettres en rouge indiquent la position des modalités sur le graphique.*

Figure 24 *: Relation entre le pourcentage de décomposition de la litière et la croissance en biomasse des bananiers en gramme. La ligne bleue est une régression linéaire. Elle est complétée par son intervalle de confiance. La p-value a été obtenue à la suite d'un test lmer.*

Liste des tableaux

Tableau 1 *: Caractéristiques des modalités de l'expérimentation*

Tableau 2 *: Tableau indiquant la composition, l'indice de Rao, le nombre d'espèce et le taux de mortalité de chacun des 8 assemblages plurispécifiques.*

Tableau 3 *: Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet des modalités sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.*

Tableau 4 *: Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet net des modalités sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.*

Tableau 5 *: Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet la richesse spécifique et la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.*

Tableau 6 *: Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet du pourcentage de décomposition sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.*

Table des matières

Introduction 1
1. La production de banane, la Martinique et la diversité des invertébrés détritivores 2
1.1 Le bananier 2
1.1.1 La culture de bananier dans le monde 2
1.1.2 La banane en Martinique 2
1.1.3 La physiologie du bananier 2
1.1.4 Itinéraire technique de la culture de bananes en Martinique 2
1.1.5 Le contrôle des ravageurs en bananeraies 3
1.2 La place de la biodiversité dans les écosystèmes 3
1.3 La diversité fonctionnelle et les traits fonctionnels de la faune du sol 4
1.4 La décomposition de la matière organique et la production primaire 5
1.4.1 Un processus indispensable à la croissance des plantes 5
1.4.2 Un processus se déroulant dans certaines conditions 5
1.4.3 Un processus dépendant des détritivores via le rapport C/N 5
2. Problématiques et hypothèses 6
3. Matériels et méthodes 7
3.1 Sélection des espèces détritivores et des assemblages 7
3.1.1 Présentation des traits fonctionnels 7
3.1.2 Choix des espèces 8
3.1.3 Choix des assemblages 8
3.2 Caractéristiques des éléments de l'expérimentation 9
3.2.1 Serre 9
3.2.2 Pré-expérimentation pour le choix du sol et la taille des pots 9
3.2.3 Les vitroplants 11
3.2.4 Litière de bananier pré décomposée 12
3.2.5 Les espèces détritivores 12
3.3 Protocole de l'expérimentation 13
3.3.1 Disposition des pots dans la serre 14
3.3.2 Les étapes de l'expérimentation 15
3.4 Traitement des données 17
4. Résultats 19
4.1 Taux de mortalité des espèces au sein des assemblages 19
4.2 Effet de la diversité des invertébrés détritivores sur la décomposition de la litière du bananier .. 19
4.2.1 Effet de la présence d'invertébrés détritivores sur le pourcentage de perte de masse de la litière 19
4.2.2 Effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition 20

4.2.3 Effet de la diversité spécifique et fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur la décomposition 21
4.3 Effet de la diversité des invertébrés détritivores sur la croissance du bananier 22
4.3.1 Effet de la présence d'invertébrés détritivores sur les variables de croissance 22
4.3.2 Effet net des assemblages sur la croissance du bananier 24
4.3.3 Effet de la diversité spécifique et la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur les variables de croissances 26
4.4 Effet de la décomposition sur la croissance du bananier 27
5. Discussions 28
5.1 Effet de la présence des invertébrés détritivores sur la décomposition de la litière de bananier et sur sa croissance 28
5.1.1 Effet des invertébrés détritivores sur la décomposition 28
5.1.2 Effet des invertébrés détritivores sur la croissance 28
5.2 Effet de la diversité spécifique et fonctionnelle sur la décomposition de la litière 28
5.3 Effet de la diversité sur la croissance des bananiers 29
5.3.1 Effet de la diversité sur la masse souterraine 29
5.3.2 Effet de la diversité sur la surface foliaire 29
Conclusion 30
Bibliographie 31
Annexes 34
Résumé 41
Abstract 42

Introduction

La banane est un fruit consommé dans le monde entier et occupe le premier rang mondial dans la production fruitière avec environ 116 millions de tonnes produites par an (*FAOSTAT*, 2019). La culture du bananier en Martinique occupe 19% de la SAU du territoire. Elle est principalement destinée à l'exportation, avec une production annuelle de154 milles tonnes (Agreste, 2021).

Le bananier est soumis à une forte pression des ravageurs impliquant une forte utilisation de produits phytosanitaires comme c'est le cas en Martinique. Or, plusieurs études montrent que leur utilisation a un effet délétère sur les invertébrés du sol (Frampton, 2002). Ces derniers jouent un rôle important dans le fonctionnement des agroécosystèmes, comme la décomposition de la matière organique (Gonzalez et al., 2020).

Dans ce contexte, la compréhension du fonctionnement des communautés d'invertébrés du sol est essentielle pour accompagner la transition agroécologique. De nombreuses études se sont intéressées à la relation entre la diversité spécifique dans les communautés d'invertébrés et les processus écologiques (Hedde et al., 2010). Or, cette relation est souvent aléatoire et dépend des relations entre les espèces (Naeem et al., 1995). En effet, les interactions interspécifiques peuvent être inhibitrices dans le cas d'une compétition pour une ressource, performantes dans le cas d'une synergie, ou neutres (Loreau & Hector, 2001). D'autres études ont montré que les assemblages composés d'espèces différentes fonctionnellement favoriseraient les interactions facilitatrices (Coulis et al., 2015 ; Hedde et al., 2007 ; Heemsbergen et al., 2004 ; Loreau & Hector, 2001). Heemsbergen et al. ont montré en 2004 que la décomposition de la matière organique augmente en fonction de la dissimilarité fonctionnelle dans les assemblage d'espèces.

Par ailleurs, la décomposition de la matière organique est un processus contrôlant le cycle du carbone, la disponibilité des nutriments et la croissance des plantes (Lavelle et al., 1993). Les invertébrés détritivores participent à ce processus en fragmentant la litière, en stimulant l'activité microbienne via la modification du rapport C/N et en modifiant la structure du sol (Lavelle et al., 1993). Une forte dissimilarité fonctionnelle des communautés de détritivores favoriserait donc la croissance des plantes.

L'objectif principal de ce stage est de caractériser l'effet de différents assemblages d'espèces détritivores sur la décomposition de la litière de bananier et sur la croissance de ce dernier.

Pour répondre aux objectifs de ce stage une expérimentation en serre a été menée sur une période de 2 mois au CAEC (Campus Agro Environnemental Caraïbe). Cette plateforme partenaire portée par le CIRAD est consacrée à la recherche agro-environnementale pour rendre durable les pratiques agricoles en Martinique.

Ce stage se déroule dans le cadre d'une thèse dont l'un des objectifs est de comprendre comment la diversité des espèces détritivores de Martinique influent sur la décomposition et la minéralisation de la matière organique dans les bananeraies. Le stage se déroule au CIRAD de Martinique dans l'unité de recherche GECO (fonctionnement écologique et gestion durable des agrosystèmes bananiers et ananas). Il est financé par le projet REBIOS (Identifier et mobiliser les ressources biologiques du sol pour développer une agriculture durable) dont deux des objectifs sont d'effectuer une caractérisation fonctionnelle des auxiliaires du sol et de mobiliser les ressources biologiques du sol.

Ce rapport est composé de 4 grandes parties. La première partie présente le cadre théorique des hypothèses que nous nous posons sur la relation entre la dissimilarité fonctionnelle des invertébrés détritivores et la décomposition de la matière organique dans les bananeraies. La deuxième partie présente les problématiques et les hypothèses. La troisième partie décrit la méthodologie suivie pour répondre aux questions de recherches de cette étude (Matériels et méthodes). La quatrième présente les résultats obtenus (Résultats). La dernière partie interprète et justifie les résultats obtenus tout en les mettant en relation avec les hypothèses posées au début (Discussion).

1. La production de banane, la Martinique et la diversité des invertébrés détritivores

1.1 Le bananier

1.1.1 La culture de bananier dans le monde

D'après Lassois et al. (2009), la culture de la banane a commencé il y a 10 000 ans en Papouasie Nouvelle-Guinée avant de se mondialiser. Il existe aujourd'hui plus de 1000 variétés de bananiers, toutes issues de deux espèces sauvages, *Musa acuminata* et *Musa balbsiana*, initialement présentes en Asie du Sud-Est (de l'Inde à la Polynésie). La banane est aujourd'hui le quatrième produit agricole, en termes de production mondiale, après le riz, le blé et le maïs. Elle se cultive dans 120 pays sur les cinq continents, l'Inde, le Brésil et l'Equateur étant les trois plus gros producteurs. Les systèmes culturaux sont très divers et dépendent principalement de l'objectif visé (autoconsommation, vente sur les marchés locaux, exportation). Les bananes exportées sont principalement des bananes desserts de la variété Cavendish produites en monoculture et représentant 30 % de la production mondiale de banane. La production de bananes pour l'export se concentre en Amérique Latine et plus particulièrement en Equateur, Costa Rica et en Colombie fournissant 65 % du marché international.

1.1.2 La banane en Martinique

La Martinique est une île française située dans les petites Antilles. Cette île volcanique est bordée par l'océan Atlantique du côté est et par la mer caraïbe le côté ouest. Sa superficie est de 1128 km2.

Tout comme les principaux pays producteurs de bananes, la Martinique dépend fortement de cette filière depuis 1920. En effet, les bananeraies représentent 19% de la SAU totale en 2020 (Agreste, 2021). Le restant de la SAU étant majoritairement de la canne à sucre, jachères rotationnelles et surfaces toujours en herbe (annexe 1, Chambre d'agriculture Martinique, 2018). De plus, cette filière emploie 5% de la population active et 49% des actifs agricoles (IEDOM, 2007).

1.1.3 La physiologie du bananier

Le bananier est une plante monocotylédone appartenant à l'ordre des scitaminales et à la famille des *Musaceaes*. Un bananier, tel qu'il est cultivé aujourd'hui, est composé de plusieurs organes (annexe 2, Champion, 1963). Le bulbe permet la formation du système racinaire et foliaire mais également la création de rejet au pied du bananier. Les feuilles sont émises par le bulbe à la fréquence approximative d'une feuille par semaine. Les feuilles sont d'abord enroulées sous forme de cigare avant de se déplier. Leur croissance permet la formation du pseudotronc. Celui-ci est issu de l'imbrication des gaines foliaires et a un rôle de maintien. Les racines mesurent moins d'un mètre de long et sont produites durant la phase végétative. Lors de la phase reproductive, une inflorescence sort en haut du pseudotronc. Celle-ci est composée de fleurs zygomorphes mâles et femelles. Les ovaires de fleurs femelles grossissent en absence de fécondation et forme les fruits (régime de bananes). Après l'émission du régime de bananes, la partie végétative qui l'a produite meurt et le rejet continue à croitre pour former le prochain régime de bananes. Au total, il faut neuf mois pour produire un régime de bananes (Lassoudière, 2007).

1.1.4 Itinéraire technique de la culture de bananes en Martinique

En Martinique et en pratiques agricoles conventionnelles, le système de culture bananier est une monoculture monovariétale de la variété Cavendish. De plus, lorsque le rendement d'une bananeraie devient faible suite la pression des ravageurs telluriques (nématodes et charançon), les bananiers sont piqués au glyphosate. Cette opération est réalisée plusieurs fois de façon qu'il n'y ait plus de repousses de bananier deux mois après le premier piquage au glyphosate. Les souches restantes sont ensuite détruites mécaniquement et la parcelle est mise en jachère pour améliorer la fertilité du sol et l'assainir. La jachère reste en place pendant au moins un an avant la plantation des vitroplants (figure 1, Lassoudière, 2007).

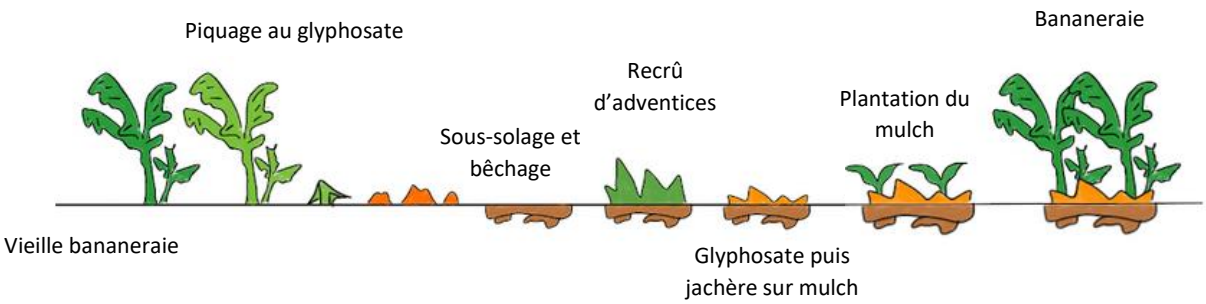


Figure 1 : Schéma du cycle d'une bananeraie de la destruction à la replantation en vitroplants (Reproduction d'un schéma du livre de Lassoudière écrit en 2007)

1.1.5 Le contrôle des ravageurs en bananeraies

La monoculture du bananier en Martinique a créé un déséquilibre dans l'agroécosystème entrainant une augmentation des populations de bioagresseurs (nématodes, cercosporiose noire et lcharançon noir du bananier). Les nématodes phytoparasites du bananier (*Pratylenchus coffae* et *Pratylenchus goodeyi*) se nourrissent des cellules des racines ce qui crée des nécroses, un mauvais développement racinaire et donc une diminution de l'absorption des nutriments. La cercosporiose noire (*Pseudocercospora fijiensis)* est un champignon rendant les feuilles jaunes ce qui réduit la capacité des feuilles à faire de la photosynthèse. Enfin, le charançon noir du bananier (*Cosmopolites sordidus*) est un coléoptère dont la larve se nourrit du bulbe du bananier ce qui fragilise le bananier et peut provoquer sa chute (Gowen, 1995). Plusieurs produits phytosanitaires ont été ou sont toujours utilisés pour lutter contre ces bioagresseurs dont le chlordécone contre le charançon (Fouré & de Lapeyre de Bellaire, 2020). Cet insecticide organochloré a été utilisé entre 1972 et 1993 aux Antilles françaises, malgré sa toxicité pour l'environnement et la santé humaine connue depuis 1975. Aujourd'hui, le chlordécone est abondant dans les sols de Martinique en raison de sa forte persistance. Il contamine les ressources en eau, ainsi que la faune et la flore dont certaines cultures (Gobbi & Oublié, 2020). L'effet direct du chlordécone sur la biodiversité du sol n'a pas encore été prouvé scientifiquement. Or, il a été prouvé que l'utilisation accrue des intrants chimiques (Bloem et al., 2012) et le labour (Pelosi et al., 2014) exercent un effet direct (toxicité) ou indirect (destruction des habitats) sur la biodiversité du sol.

1.2 La place de la biodiversité dans les écosystèmes

Les activités biologiques jouent un rôle majeur dans les processus physiques et chimiques se déroulant au sein des écosystèmes. Dans le contexte d'une perte importante de la diversité, il est urgent de comprendre le lien entre la diversité et le fonctionnement de l'écosystème (Diaz et al., 2019). Ce lien fait l'objet de plusieurs hypothèses (figure 2). L'hypothèse nulle correspond à une insensibilité du fonctionnement de l'écosystème à la diversité spécifique. L'hypothèse de redondance suggère qu'il existe une diversité à partir de laquelle le fonctionnement n'augmente plus, bien que la diversité augmente. L'hypothèse linéaire soutient que chaque espèce a un rôle unique dans le fonctionnement des écosystèmes. Et enfin, l'hypothèse d'idiosyncrasie suggère que le lien entre la diversité spécifique et le fonctionnement des écosystèmes est aléatoire (Naeem et al., 1995).

Ces hypothèses ont été testées dans plusieurs études. Par exemple, Tilman et al. (2001) ont permis de mettre en évidence la corrélation positive entre une augmentation de la diversité végétale et un meilleur fonctionnement des écosystèmes et sa productivité. Une autre étude, réalisée par Wagg et al. (2014), a montré qu'une diminution de la communauté bactérienne et fongique conduit à une baisse de la diversité végétale et de la séquestration du carbone. Cela montre que dans certains cas, on observe un lien entre une grande diversité des plantes et le bon fonctionnement des écosystèmes. En revanche, d'autres expériences comme celle de Cortet et al. (2003) montre une relation négative entre diversité et processus écosystémique. En effet, une expérimentation a montré qu'une augmentation de la diversité spécifique au sein d'une communauté de faune du sol peut diminuer la minéralisation de l'azote (Cortet et al., 2003).

Ces études montrent qu'il est difficile de prédire l'effet de la diversité spécifique sur un processus écosystémique. Cela est en partie dû aux différents types d'interactions entre les espèces (Loreau & Hector, 2001).

Dans le cas où les interactions entre les espèces sont bénéfiques pour au moins une des espèces (mutualisme et commensalisme), elles peuvent être considérées comme facilitatrices (Loreau & Hector, 2001). Elles peuvent expliquer l'observation d'un effet positif de la diversité dans certains cas. En revanche, lorsque les interactions sont néfastes pour au moins une des espèces (amensalisme et compétition), la diversité peut avoir un effet négatif sur les processus écosystémiques (Heemsbergen et al., 2004). Les interactions entre les espèces peuvent aussi être neutres (neutralisme), ce qui peut expliquer l'absence d'effet de la diversité dans certains cas.

Le type d'interaction entre deux ou plusieurs espèces est déterminé par la mesure de leur effet net. Celui-ci se calcule en faisant la différence entre l'effet observé des espèces ensemble et la somme des effets des espèces prises séparément sur un processus écosystémique donné (Loreau & Hector, 2001). Si l'effet net est positif, l'interaction est facilitatrice. S'il est négatif, l'interaction est compétitive. S'il est nul, l'interaction est neutre.

Plusieurs études, ont montré une relation non significative entre les effets nets d'assemblage d'espèces sur un processus écosystémique et le nombre d'espèces (Heemsbergen et al., 2004 ; Loreau & Hector, 2001). La composition fonctionnelle dans les assemblages d'espèces semble être plus pertinente pour la compréhension de la relation biodiversité-fonctionnement des processus écosystémique (Coulis, 2013).

1.3 La diversité fonctionnelle et les traits fonctionnels de la faune du sol

La diversité fonctionnelle d'une communauté est quantifiée à partir de mesures de traits fonctionnels sur les espèces de la communauté. Cette notion est largement documentée pour les plantes (Violle and al. 2007) et a été adaptée à la faune par Pey et al. (2014). Cela a donné la définition suivante : « les traits fonctionnels sont des caractéristiques morphologiques, physiologiques, phénologiques ou comportementaux des organismes influençant les processus écosystémiques. »

Un assemblage composé d'espèces réalisant des fonctions différentes (forte dissimilarité fonctionnelle) permettrait d'avoir un effet net positif sur certains processus écosystémiques (Loreau & Hector, 2001). Cette hypothèse est basée sur deux postulats. Le premier postulat, est qu'il existe une relation de facilitation ou de complémentarité entre certaines espèces (Hector, 1998) due à leur différence de fonction dans l'écosystème. Lorsque les deux espèces sont ensemble, le processus considéré a une plus grande intensité que lorsque nous faisons la somme des effets de chacune de ces espèces séparément sur ce même processus (effet net positif). Le second postulat, est qu'il existe des espèces clés dont les performances vis-à-vis d'un processus sont très importantes car elles remplissent une fonction particulière (Gessner et al., 2010). Leur présence dans une communauté permettrait sa forte diversité fonctionnelle et l'existence d'un effet net positif sur certain processus écosystémique (Pey, 2010).

Cette corrélation positive entre la dissimilarité fonctionnelle et l'effet net des assemblages sur un processus écosystémique a déjà été montrée par Heemsbergen et al en 2004 (figure 3). Ils se sont intéressés au processus de perte de masse de litière, lors de leur étude.

Lors de ce stage, nous nous intéressons également à la relation entre la dissimilarité fonctionnelle et les effets nets des assemblages d'espèces détritivores sur la décomposition de la matière organique.

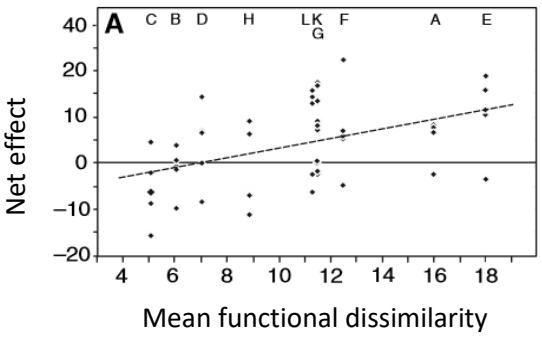


Figure 3 : Effet net de la dissimilarité fonctionnelle sur la perte de masse de litière, les lettres correspondent aux différents assemblages d'espèces (Heemsbergen et al., 2004)

1.4 La décomposition de la matière organique et la production primaire

1.4.1 Un processus indispensable à la croissance des plantes

D'après Duchaufour (1997), la décomposition de la matière organique est un processus impliquant de multiples réactions chimiques qui permettent de maintenir la fertilité des sols grâce à la minéralisation et à l'humification. Tout d'abord, la minéralisation est la transformation de composés organiques complexes en composés minéraux simples, appelés éléments nutritifs, assimilables par les plantes et permettant leur croissance. Parmi ces éléments, nous retrouvons notamment l'azote, le phosphore et le potassium dont la plante a besoin en grande quantité, mais également le calcium et le magnésium qui sont nécessaires en plus petite quantité. Parallèlement, l'humification est responsable de la création de la couche supérieure du sol. Cette couche est importante car elle est constituée d'agrégats formés grâce aux colloïdes qui cimentent les particules présentes dans le sol. Ces agrégats permettent la circulation des solutés, de l'eau et des gaz entre l'espace qui les sépare les uns des autres. De plus, les agrégats permettent de donner une structure à la couche, ce qui limite l'érosion et le ruissellement. Par ailleurs, des complexes argilo-humiques sont présents dans cette couche, ils sont chargés négativement et peuvent retenir les nutriments chargés positivement importants pour les plantes.

1.4.2 Un processus se déroulant dans certaines conditions

D'après l'étude menée par Lavelle et al. (1993), le taux de décomposition de la matière organique n'est pas constant et se déroule dans certaines conditions physiques, chimiques et biologiques favorables à l'activité des micro-organismes. En effet, si ces conditions ne sont pas réunies, comme dans le cas de températures extrêmes, le métabolisme des micro-organismes risque de ne plus fonctionner ce qui peut entraîner un arrêt de la décomposition de la matière organique (Lavelle et al., 1993). Parmi les facteurs limitant de la dégradation de la matière organique, certains sont plus importants que d'autres et interagissent fortement entre eux (figure 4).

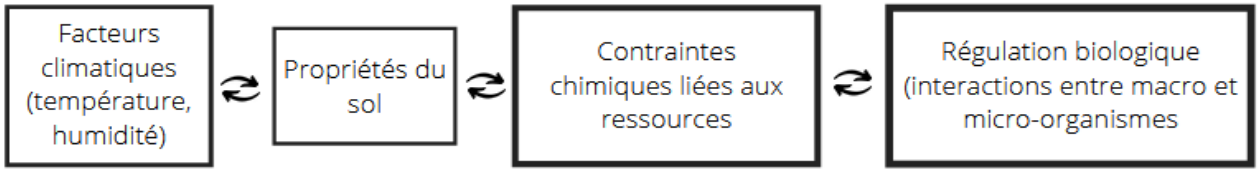


Figure 4 : Hiérarchie des facteurs contrôlant les taux de décomposition de la matière organique dans les écosystèmes (Modifié d'après Lavelle et al., 1993)

Cette hiérarchie a été prouvée à des grandes échelles géographiques, mais à l'échelle régionale, elle peut avoir une certaine plasticité puisque les caractéristiques biologiques, par exemple, peuvent devenir les principales contraintes. En effet, lorsque les contraintes sur les facteurs antérieurs sont faibles ou inexistantes, comme c'est le cas sur les facteurs climatiques dans les tropiques, les contraintes biologiques peuvent devenir dominantes (Lavelle et al., 1993).

1.4.3 Un processus dépendant des détritivores via le rapport C/N

Les micro-organismes du sol jouent un rôle primordial sur la décomposition et la minéralisation de la matière organique. Pour faire fonctionner leur métabolisme, ils ont besoin d'une certaine quantité de carbone (source d'énergie) et d'une certaine quantité d'azote (synthèse de protéines) (Joergensen, 2010). Si le carbone est plus élevé par rapport à l'azote (C/N élevé), les micro-organismes, tout comme les plantes, vont prélever de l'azote dans le sol ce qui va créer une compétition et ralentir la minéralisation « faim d'azote ». Le rapport C/N dépend du type de litière. S'il est très élevé, la litière n'est pas directement minéralisable par les micro-organismes (Zheng and al., 2021). Une étape intermédiaire permettant de diminuer ce ratio est donc nécessaire. Cette étape est réalisée par les invertébrés détritivores via leur consommation de la litière et leur rejet de fèces. En effet, ces fèces ont un rapport C/N autour de 30 permettant la minéralisation par les micro-organismes dans le cas de l'expérience menée par Joly et al en 2018. Les détritivores peuvent donc exercer une influence particulièrement forte sur le cycle de l'azote et donc sur sa disponibilité et sur la productivité des écosystèmes. Par ailleurs, leurs mouvements dans le sol et à sa surface permettent un brassage des nutriments, une modification de la structure du sol ainsi qu'une meilleure disponibilité des nutriments (Griffiths et al., 2021).

2. Problématiques et hypothèses

La biodiversité du sol est souvent associée à une meilleure efficience des processus écosystémiques comme le recyclage des nutriments et l'augmentation de la porosité du sol. Lors de ce stage, nous nous sommes focalisés sur le lien entre la diversité des invertébrés détritivores, la décomposition de la matière organique et la croissance du bananier ; en supposant que la décomposition de la litière aurait un effet positif sur la croissance du bananier. Par ailleurs, Heemsbergen et al. (2004) ont montré que la composition d'une communauté basée sur la description des traits fonctionnels semble mieux expliquer les processus écosystémiques que sa composition en termes d'espèces. Cette observation, nous a amené à choisir une approche fonctionnelle pour étudier le lien entre la biodiversité, le processus de décomposition de la matière organique et la croissance des bananiers.

Nous nous posons donc les questions suivantes en émettant des hypothèses :

Q1 : Est-ce que la présence d'invertébrés détritivores augmente la décomposition de la litière du bananier et la croissance de ce dernier ?

H1 : La présence des invertébrés détritivores dans les pots de bananier augmente la perte de masse de litière comparé aux pots n'ayant pas eu d'invertébrés détritivores. En effet, les diplopodes, isopodes et gastéropodes fragmentent la litière du bananier selon leur très grand taux de consommation.

H2 : L'augmentation de la décomposition de la litière se traduit par une meilleure croissance du bananier. Cette meilleure croissance peut être reliée à une plus grande disponibilité de nutriments dans le sol assimilables par le bananier. En effet, les diplopodes, isopodes et gastéropodes fragmentent la litière et excrètent des boulettes fécales incubatrices de l'activité microbienne minéralisant la matière organique du sol. De plus, les vers de terre contribuent à la porosité du sol en creusant des galeries. Cela peut permettre une meilleure assimilation des nutriments par le bananier en les rendant disponibles.

Q2 : Est-ce qu'une forte dissimilarité fonctionnelle, plutôt qu'une forte diversité spécifique, au sein d'une communauté de détritivores permettrait un plus fort pourcentage de décomposition de la litière et donc une meilleure croissance des bananiers ?

H3 : L'augmentation de la dissimilarité fonctionnelle permet d'expliquer une augmentation de la décomposition contrairement à l'augmentation de la diversité spécifique.

H4 : L'augmentation de la dissimilarité fonctionnelle permet d'expliquer une meilleure croissance des bananiers contrairement à l'augmentation de la diversité spécifique.

3. Matériels et méthodes

Pour répondre à ces questions, une expérimentation testant l'effet de différents assemblages d'invertébrés détritivores sur la décomposition de la litière et la croissance des bananiers a été réalisée dans une serre en conditions contrôlées pendant 2 mois. Avant de mettre en place cette expérimentation, nous avons choisis 5 espèces de détritivores à partir de certains traits fonctionnels mesurés en amont de ce stage (3.1). Puis, nous avons sélectionné 8 assemblages différents de ces espèces suivant un gradient de dissimilarité fonctionnelle (3.1). Avant l'expérimentation, des essaies ont été réalisés pour choisir le sol et la taille des pots ainsi que tout le matériel nécessaire a été rassemblé (3.2). L'expérimentation a ensuite été mise en place, suivie et arrêtée comme présenté en 4.3. Lors du dépotage, nous avons compilé de nombreuses données sur la décomposition et la croissance du bananier qui ont ensuite été traités (3.4).

3.1 Sélection des espèces détritivores et des assemblages

Les espèces détritivores ainsi que les assemblages ont été choisis à partir de traits fonctionnels mesurés préalablement.

3.1.1 Présentation des traits fonctionnels

En amont de ce stage, des traits fonctionnels renseignant sur l'effet des invertébrés détritivores sur la décomposition de la matière organique ont été mesurés sur un ensemble de 14 espèces (annexe 3). Ces traits incluent :

- Le rendement d'assimilation en présence de litière uniquement (rdm_assim), c'est-à-dire le pourcentage de litière consommé mais non excrété par espèce (en présence de litière uniquement).
- La biomasse moyenne (en g) des individus de chaque espèce
- Le taux de consommation de la litière en présence du sol (tx_conso_when_soil) correspondant à la quantité de litière consommée en milligramme par jour en présence du sol (mg/j)
- Le taux de consommation du sol en présence de la litière (tx_conso_soil) correspondant à la quantité du sol consommée en milligramme par jour en présence de la litière (mg/j).
- Le pourcentage du sol consommé parmi la consommation totale de litière et de sol (geophagy).

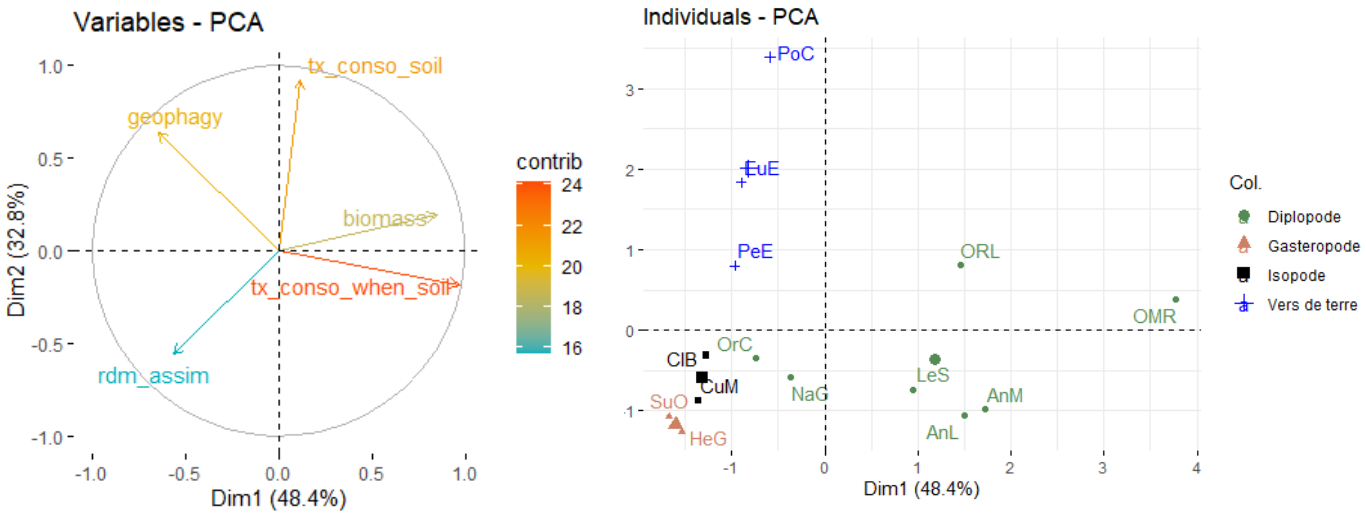


Figure 5 : A) Cercle de corrélation de l'ACP montrant les traits fonctionnels utilisés, la couleur des variables dépend de leur degré de contribution dans l'ACP, B) Graphique montrant la localisation des 14 espèces dans le plan de l'ACP – Signification des abréviations en annexe 3

L'absence de corrélation forte au sein des traits choisis a été vérifiée par l'analyse en composantes principale (ACP) de la figure 5.A). La dimension 1 et la dimension 2 représentent respectivement 48,4 % et 32,8 % de la variation dans les données. L'ACP montre que les cinq traits ne sont pas corrélés entre eux.

3.1.2 Choix des espèces

A partir de la représentation graphique des espèces sur les axes de l'ACP (figure 5, B), nous avons pu séparer les espèces selon leurs traits fonctionnels. Nous avons sélectionné 5 espèces de manière : i) à ce qu'elles soient relativement faciles à trouver et à élever, ii) à ce qu'elles appartiennent aux 4 classes spécifiques (diplopoda, isopoda, gasteropoda et clitellata), iii) à ce qu'il y ait des espèces proches l'une de l'autre (espèces similaires fonctionnellement) et des espèces éloignées l'une de l'autre (espèces dissimilaires fonctionnellement).

En projetant les espèces sur l'axe 1 (exprimant la majorité de l'inertie totale du jeu de données ; 48,4%), nous avons sélectionné (de gauche à droite) : *Subilina octona* (SuO), *Cubaris murina* (CuM), *Eudrilus eugeniae* (EuE), *Anadenobolus leucostigma* (AnL) *et Anadenobolus monilicornis* (AnM)

3.1.3 Choix des assemblages

Pour tester l'effet de la dissimilarité fonctionnelle sur la décomposition de la litière et la croissance du bananier, huit assemblages ont été sélectionnés selon un gradient de dissimilarité fonctionnelle.

Pour commencer, une liste de tous les assemblages à 1, 2, 3, 4 ou 5 espèces a été réalisée en faisant varier la présence ou l'absence de chaque espèce (0/1) ; soit 32 assemblages au total (annexe 4). Puis, à partir de cette liste et de celle des traits, un indicateur de biodiversité fonctionnelle a été calculé pour chacun des 32 assemblages possibles. L'indicateur choisi est l'entropie quadratique de Rao (Botta-Dukát, 2005). Cet indicateur prend en compte l'abondance des espèces dans chaque assemblage ainsi que les traits de chacune des espèces. Dans le cas où il y aurait n espèces, le Rao se calcule en prenant d_{ij} comme la distance entre l'espèce i et l'espèce j, et p_i et p_j comme l'abondance de l'espèce i et j respectivement :

$$Rao = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} d_{ij} p_i p_j$$

La distance entre l'espèce i et l'espèce j correspond à la somme des différences entre les traits de ces espèces comme il est indiqué dans la formule ci-dessous où il y a m trait et où X_{ik} et X_{jk} correspondent respectivement à la valeur du $k^{ième}$ trait pour l'espèce i et pour l'espèce j.

$$d_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m} \left| X_{ik} - X_{jk} \right|$$

Dans le but de mesurer un effet net des assemblages sur la décomposition de la litière et la croissance des bananiers, l'effet de chaque espèce séparément a également été testé. Cela, afin d'obtenir, de manière substitutive, l'effet de chaque espèce par unité de masse (gramme) (tableau 1). En effet, l'effet net est la différence entre **l'effet observé** d'un assemblage et son **effet prédit** ; la somme des effets de chaque espèce de l'assemblage prise séparément (cf matériels et méthodes partie 3.4).

Modalités	Assemblages	Composition	Rao	Nombre d'espèce
N-AnL	Monospécifique	3 AnL	0	1
N-AnM	Monospécifique	3 AnM	0	1
N-CuM	Monospécifique	6 CuM	0	1
N-EuE	Monospécifique	3 EuE	0	1
N-SuO	Monospécifique	6 SuO	0	1
A	Plurispécifique	1 AnL - 1 AnM – 2 CuM	0,47	3
B	Plurispécifique	1 AnL – 1 CuM – 1 SuO	0,5	3
C	Plurispécifique	1 AnL – 2 SuO	0,53	2
D	Plurispécifique	1 AnM – 2 SuO	0,6	2
E	Plurispécifique	1 EuE - 2 SuO	0,62	2
F	Plurispécifique	1 AnL – 1 AnM – 1 EuE	0,66	3
G	Plurispécifique	1 AnL - 1 AnM - 2 CuM - 1 EuE - 2 SuO	0,85	5
H	Plurispécifique	1 AnM - 1 CuM – 1 EuE	0,98	3

Tableau 1 : Caractéristiques des modalités de l'expérimentation

Comme visible dans le tableau 1, les trois espèces AnL, AnM et EuE ont été représentées par un individu dans les assemblages plurispécifiques et 3 individus dans les assemblages monospécifiques. Quant aux deux espèces CuM et SuO, elles ont été représentées par deux individus dans les assemblages plurispécifiques et 6 individus dans les assemblages monospécifiques. Ces deux espèces ont une biomasse très faible par rapport aux autres espèces. Pour cela, le nombre d'individus a été doublé.

3.2 Caractéristiques des éléments de l'expérimentation

3.2.1 Serre

L'expérience a été mise en place dans une serre au Campus Agro-environnemental Caraïbe (CAEC) au Lamentin, Martinique (figure 6, longitude : -60,970031 et latitude : 14,621505). L'expérimentation occupait une surface d'environ de 100 m^2, c'est-à-dire ¼ de la serre. Cette partie était munie d'un système d'irrigation en goutte à goutte avec un programmateur ainsi que d'une ombrière couvrante à 80%.

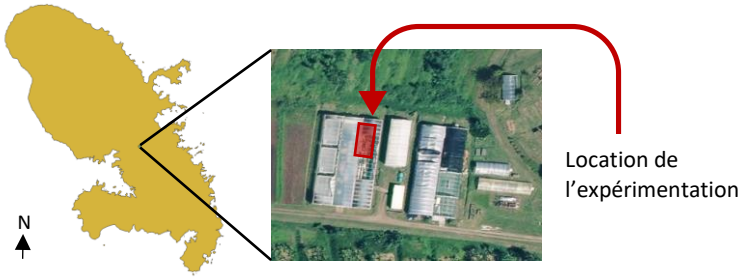


Figure 6 : localisation de l'expérimentation en Martinique et dans les serres du CAEC

3.2.2 Pré-expérimentation pour le choix du sol et la taille des pots

Dans le but d'observer l'effet des différents assemblages de détritivores du sol sur la croissance du bananier, nous avons voulu utiliser un sol pauvre en nutriment ; ne favorisant pas la croissance du bananier. En effet, les jeunes bananiers ont un besoin faible en nutriment (Lassoudière, 2007) et un sol riche permettrait leur croissance indépendamment de l'effet des invertébrés détritivores. Par ailleurs, nous avons voulu choisir une taille de pot permettant un bon développement des racines. Pour faire ces choix, nous avons réalisé, durant ce stage, une pré-expérimentation en serre (annexe 5), durant laquelle nous avons testé deux types de pots (3 et 5l) ainsi que quatre types de sol :

- Un ferrisol (B) provenant d'une parcelle expérimentale appartenant au CAEC à (site de Rivière Lézarde, Le Lamentin, longitude : -60,9963, latitude : 14,6614)
- Un nitisol (C) provenant d'une parcelle de canne à sucre (site du Galion, La Trinité),
- Du sable de Martinique (S) acheté au magasin SAPEB

- Un mélange de nitisol et de sable (M).

Tous les types de sol ont préalablement été concassés, tamisés et séchés au soleil pour éliminer la macro et la mésofaune. L'humidité à capacité au champ de chacun des sols a également été mesurée. Pour cela, du sol séché au soleil a été mis dans trois pots percé de même taille avant d'ajouter une grande quantité d'eau. Nous avons laissé l'eau s'écouler pendant 48h. Puis, nous avons mesurer la teneur en eau du sol humide en pesant un échantillon de terre de chaque pot avant et après un passage de 48h dans une étuve à 105 °C.

La croissance du bananier a aussi été testée dans des pots de 3l pour tous les sols, et dans un pot de 5l pour le sol de canne (M1 : pot de 3l, M2 : pot de 5l). Chacune de ces modalités a été répétée 5 fois, sauf pour le pot de 5l qui a été répété 3 fois, par manque de sol. Les bananiers ont été plantés le 07 février après avoir été pesés initialement.

Au cours de cette pré-expérimentation l'humidité des sols a été maintenue à capacité au champ en pesant chaque pot une fois par semaine. De cette façon l'eau n'était pas un facteur limitant pour la croissance du bananier.

Le dépotage a eu lieu le 21 mars et lors de celui-ci les bananiers ont à nouveau été pesés ce qui a permis de comparer le gain en masse fraîche en fonction des sols (figure 7).

Les résultats de la figure 7 montrent que le sol le moins favorable à la croissance des bananiers est le sol B qui est un ferrisol, c'est donc celui-là qui a été choisi. D'après Godefroy & Dormoy (1990) ces sols sont généralement pauvres en éléments nutritifs en raison du fort taux de lixiviation. La figure permet également d'observer que les bananiers en pots de 5l ont une plus grande croissance. Comme le montre la figure 8, ces différences entre les modalités étaient visibles lors du dépotage. La pré-expérimentation nous a aussi permis sélectionner les pots à 5l plutôt que 3l, cela afin de permettre un bon développement racinaire des bananiers.

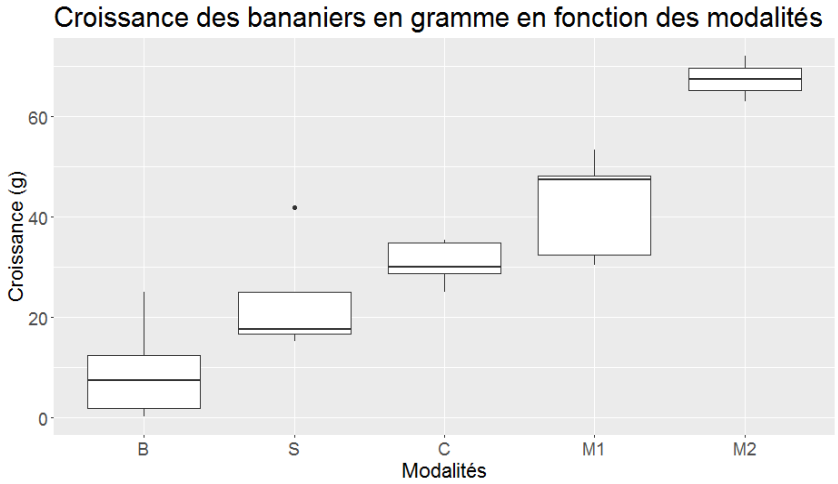


Figure 7 : Boîte à moustache de la croissance des bananiers en fonction des quatre types de sol testés

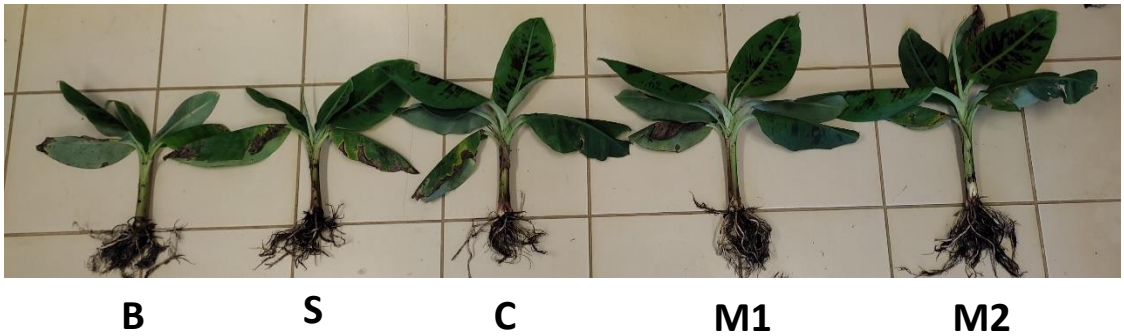


Figure 8 : Photographie d'un bananier représentatif par modalité dans l'ordre du plus petit (B) au plus grand (M2)

Nous avons par la suite récupéré 1200 litres du sol (B) (figure 9). Ce sol a ensuite été tamisé à ≤ 5 mm et séché au soleil afin d'obtenir un sol homogène et sans faune. Au total, nous avons obtenu 500 kg de sol tamisé et séché contenant en moyenne 9% d'eau le jour de la plantation des bananiers et 37% d'eau à capacité au champ.

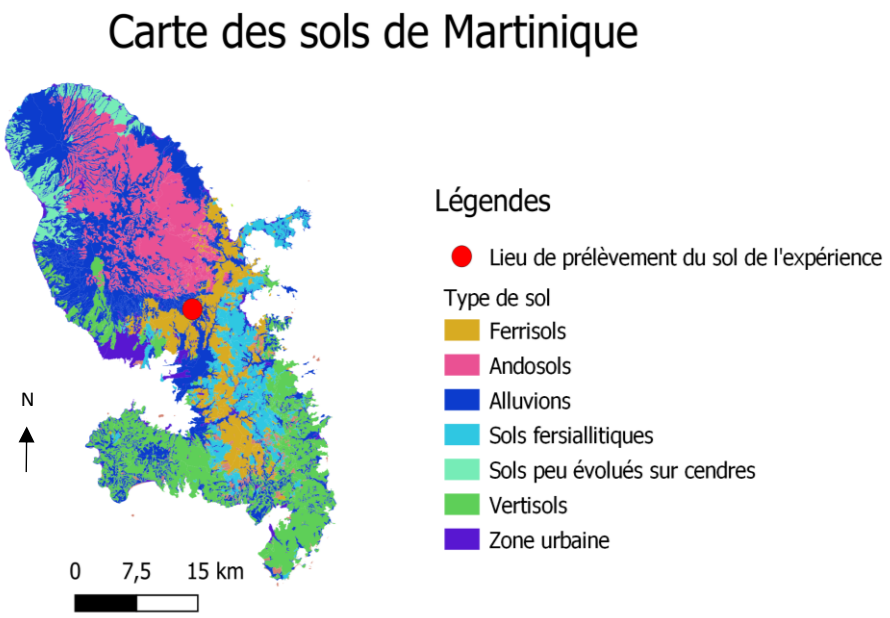


Figure 9 : Carte montrant la localisation du site de prélèvement du sol de l'expérimentation sur la carte des sols de Martinique (carte réalisée à partir des données de (Colmet-Daage et al., 1969))

3.2.3 Les vitroplants

Les bananiers utilisés lors de cette expérience sont des plantules de bananier de la variété GALL, provenant de la micropropagation in vitro (vitroplants). Ces derniers ont été récupérés de l'entreprise Antilles vitroplants, située au Lamentin en Martinique, quatre semaines après leur sevrage. Ils pesaient en moyenne 60 g en masse fraîche. Leur utilisation a permis d'avoir des plants sains et homogènes génétiquement (Lassoudière, 2007).

3.2.4 Litière de bananier pré décomposée

La litière mise dans les pots provient de feuilles de bananier récupérées juste après la récolte du régime de bananier dans une plantation bananière au Lamentin. Le limbe des feuilles a ensuite été découpé en morceaux d'en moyenne 12 cm² et placées dans des sacs de litière à maille fine. La litière de chaque sac a été pesées, sa teneur en eau a été mesurée. Les sacs ont ensuite été disposés dans une bananeraie au CAEC pour permettre une pré-décomposition de la litière due aux micro-organismes et aux facteurs climatiques (figure 10, photo de gauche). Cette étape est importante car des expériences réalisées en amont de ce stage ont montré que les détritivores des bananeraies ont une appétence plus importante pour les feuilles pré-décomposées à partir de 20%. Des plus petits sacs de litières (20 cm sur 20 cm) ont aussi été mis, pour vérifier le pourcentage de décomposition hebdomadairement. Une fois le pourcentage souhaité atteint, c'est-à-dire 35 %, la litière a été mise à sécher dans une pièce fraiche et aérée pour arrêter la décomposition microbienne avant d'être conservée dans des boites transparentes (figure 10, photo de droite).

Figure 10 : Litière en cours de décomposition sur la photo de gauche et litière décomposé à35 % pourcent sur la photo de droite

3.2.5 Les espèces détritivores

Les espèces que nous avons utilisé lors de l'expérimentation sont les suivantes :

- Le gasteropode *Subilina octona (*SuO) cette espèce vit dans la litière et se nourrit de matière végétale, de débris et de sol (Brodie & Barker, 2012). Elle se caractérise par un rendement d'assimilation élevé, soit 81% selon les mesures de traits faites préalablement.
- L'isopode *Cubaris murina (*CuM), cette espèce est largement distribuée en milieu tropical (Taiti et al., 1998) et se nourrit de sol (79%) et de litière (21%). Cette espèce assimile 64% de ce qu'elle consomme.
- Une espèce de vers de terre ; *Eudrilus eugeniae (*EuE) est une espèce épigée vivant dans les sols tropicaux (Iorio & Coulis, 2020).
- Deux espèces de diplopodes ; l'espèce native de Martinique *Anadenobolus leucostigma* (AnL) et l'espèce introduite *Anadenobolus monilicornis* (AnM). Ces deux espèces du même genre ont un taux de géophagie relativement similaires ; 60% et 58% respectivement. Contrairement à *AnL AnM* préfère les milieux ouverts et secs (Iorio & Coulis, 2020).

Toutes ces espèces ont été récupérées à différents endroits en Martinique (figure 11 et 12). Elles ont été mises en élevage dans des boîtes transparentes contenant de la litière et/ou du sol trouvé dans leur milieu naturel.

Subilina octona (SuO)

Cubaris murina (CuM)

Eudrilus eugeniae (EuE)

Anadenobolus leucostigma (AnL)

Anadenobolus monilicornis (AnM)

Figure 11 : Photographies des espèces utilisées lors de l'expérimentation

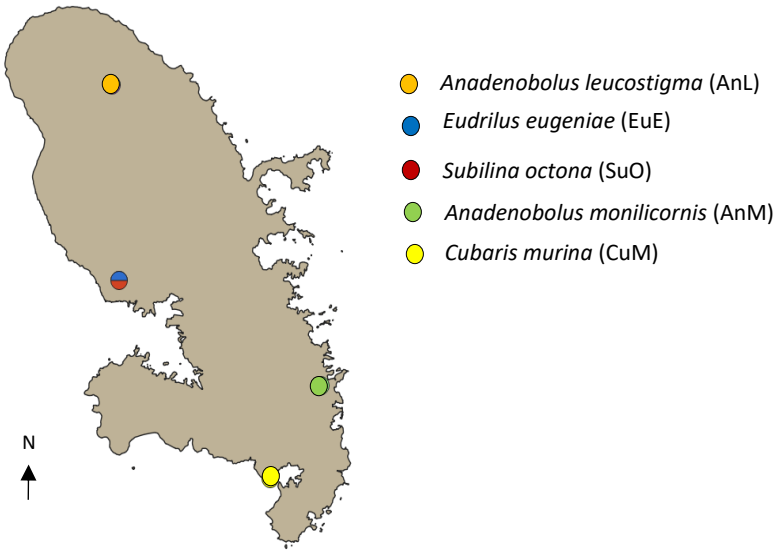


Figure 12 : Localisation des stations de récupération des 5 espèces utilisées lors de l'expérimentation

3.3 Protocole de l'expérimentation

Le protocole a été conçu de manière à tester l'effet des 8 assemblages d'espèces détritivores présentés ci-dessus, sur la décomposition de la litière du bananier et la croissance de celui-ci. De plus, afin d'obtenir l'effet net de ces assemblages (comme expliqué dans la partie choix des assemblages), le protocole inclut également la quantification de l'effet des 5 espèces utilisées de façon individuelle et l'effet des micro-organismes grâce à la mise en place de témoins sans invertébrés détritivores (T-SF, n=20).

Pour éviter que les espèces détritivores s'échappent, chacun des pots était composé : i) d'un sachet plastique enveloppant l'intérieur du pot, ii) et d'une moustiquaire (maille 1 mm²) attachée à la surface du pot avec une ficelle. La figure 13 illustre globalement la composition de l'expérience.

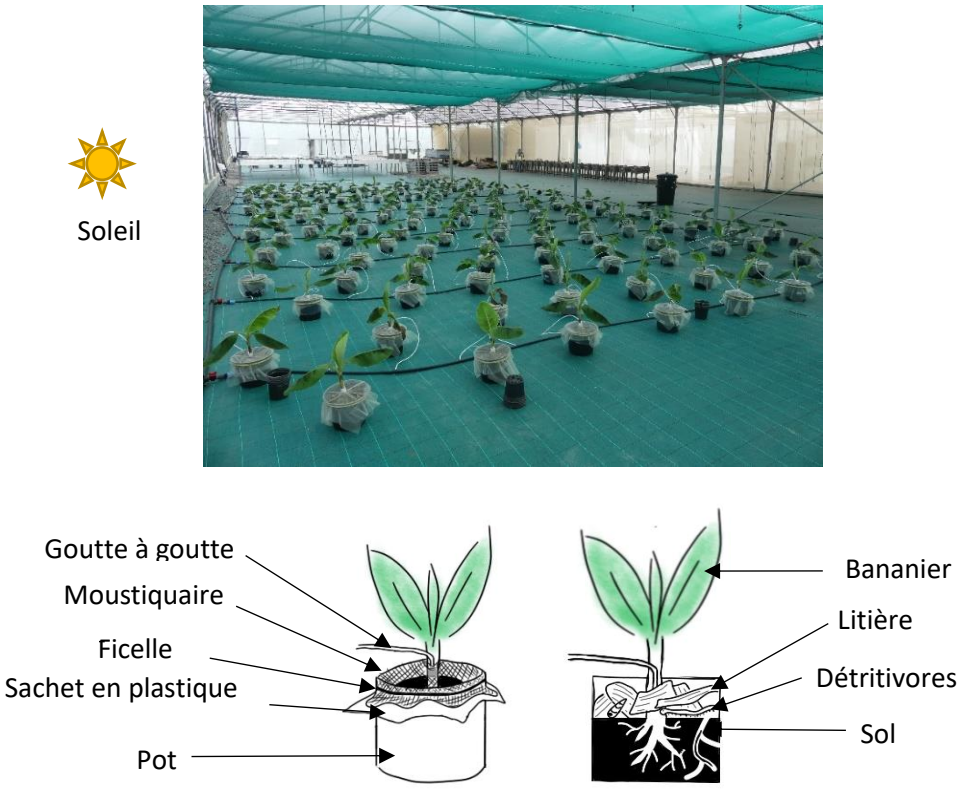


Figure 13 : Photographie et schéma décrivant globalement l'expérience

3.3.1 Disposition des pots dans la serre

Les pots ont été disposés dans la serre de façon à prendre en compte le gradient d'ensoleillement de la serre. Pour cela, la disposition des pots dans la serre a été inspirée de la méthode du carré latin où toutes les répétitions de la même modalité sont disposées en diagonale. De plus, nous avons effectué une rotation des pots une fois par semaine, sachant que la disposition des pots était sur 9 lignes de goutte à goutte avec 18 bananiers par ligne (ce qui ne forme pas un carré). Lors des rotations, les pots étaient déplacés par groupe de trois modalités (annexe 6). De cette façon, tous les pots de la même ligne ont été à toutes les places pendant la même durée ce qui permet de gommer le biais du gradient d'ensoleillement de la serre. Ce dernier peut être responsable d'une transpiration plus importante des bananiers proches du soleil (figure 14).

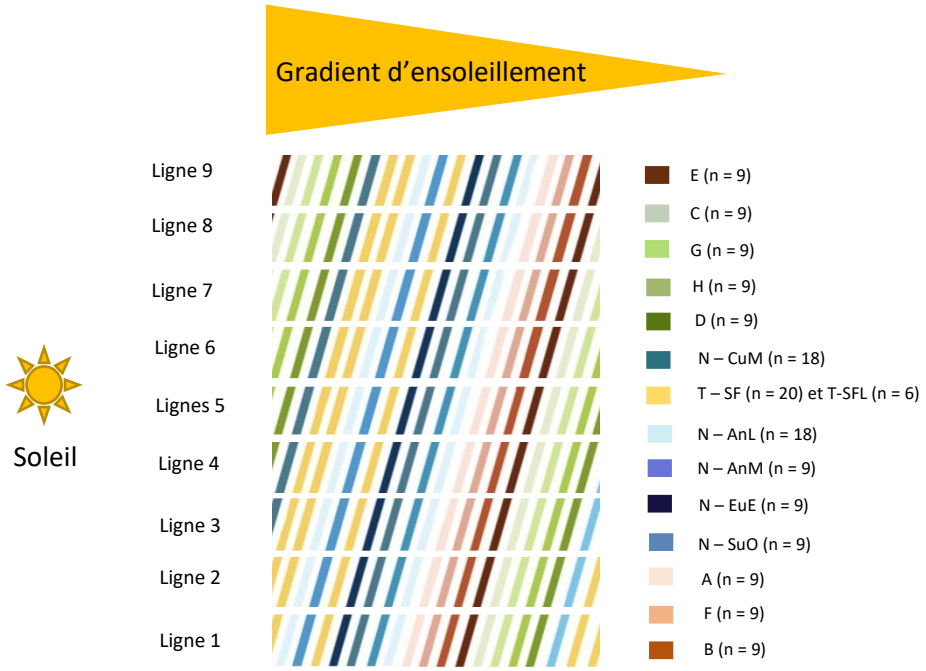


Figure 14 : Schéma représentant la disposition des modalités dans la serre (une couleur = une modalité avec ses répétitions) ainsi que le gradient d'ensoleillement et les lignes de l'expérimentation

3.3.2 Les étapes de l'expérimentation

3.3.2.1 Mise en place

La mise en place de l'expérience s'est passée en deux temps. Du 25 au 28 avril 2022, les bananiers vitroplants ont été plantés selon les étapes suivantes. Les bananiers ont été nettoyés pour retirer toute la tourbe des racines. Nous avons coupé les racines à 7 cm, et nous avons gardé uniquement les 2 dernières feuilles développées et le cigare. La masse fraîche de chaque bananier a été notée. Trois bananiers par jour ont été mis à l'étuve afin de mesurer leur teneur en eau et estimer la masse sèche initiale de tous les bananiers. La teneur initiale en eau du sol a également été mesurée en prélevant trois échantillons de sol par jour. Les bananiers ont ensuite été plantés dans des pots de 5l avec 2,5kg de sol et 1,3l d'eau pour que le sol soit à environ 33 % d'humidité (proche de la capacité au champ). La masse exacte du pot et du sachet plastique, du bananier, du sol, de l'eau ajoutée et la masse totale ont été notées pour chaque pot (annexe 7).

Les bananiers ont ensuite été disposés dans la serre selon le plan décrit dans la partie précédente.

La semaine qui suit, c'est-à-dire du 2 au 6 mai, nous avons ajouté la litière et les assemblages d'espèces. La litière de chaque pot a été pesée (≈11g) et humectée en l'immergeant dans l'eau pendant 1h avant de l'introduire dans le pot. Les individus de chaque assemblage ont été pesés avant de les avoir ajoutés dans leur pot. Une moustiquaire ainsi qu'une ficelle ont été ajoutées pour empêcher les espèces de sortir des pots.

3.3.2.2 En cours de manipulation

Durant toute la durée de l'expérience, les bananiers ont été arrosés par goutte à goutte, une minute à 6h du matin et une minute à 23h du soir ce qui leur apportait environ 80 ml d'eau par jour et permettait de maintenir la litière humide. Malgré cet arrosage, une hétérogénéité d'humidité a été observée entre les pots. Une remise à 35% d'humidité a été effectuée une fois par semaine, en pesant chaque pot. Une partie de l'eau était ajoutée par pulvérisation au niveau de la litière et le reste était ajoutée avec un arrosoir. Cela a permis de suivre l'évolution de l'humidité (figure 15).

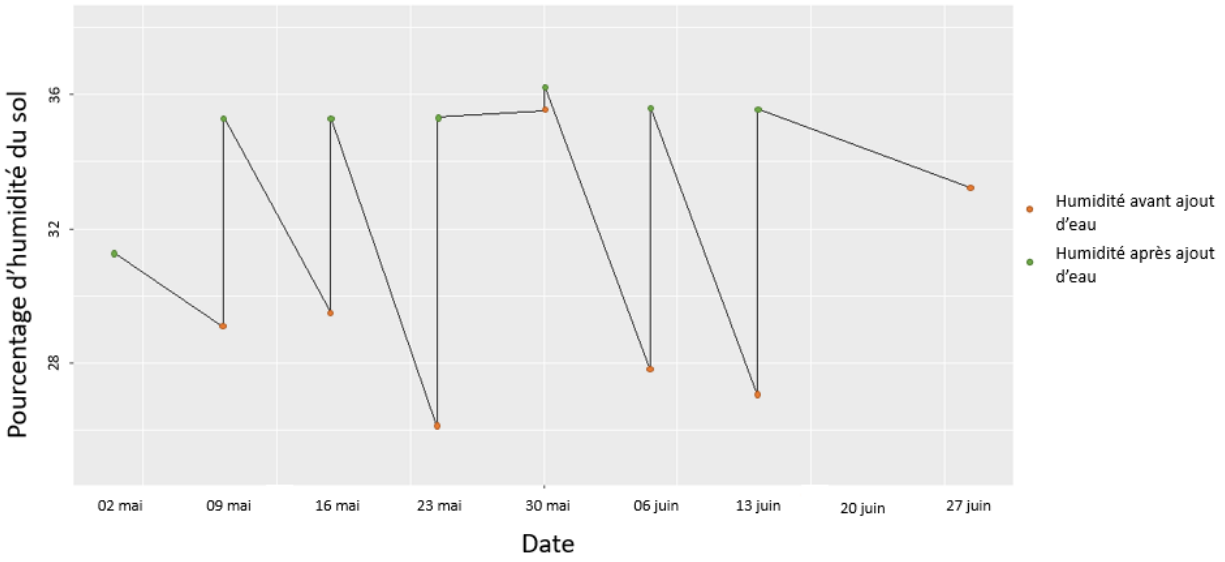


Figure 15 : Graphique de l'évolution du pourcentage d'humidité moyenne du sol au cours du temps

Par ailleurs, deux vérifications de la survie des espèces ont été réalisées au cours de l'expérience (semaine du 09/05/2022 au 13/05/2022 et semaine du 23/05/2022 au 27/05/2022). Pour cela, nous avons cherché les espèces entre les morceaux de litière et sur la surface du sol après avoir retiré la moustiquaire. Les morts observés ont été remplacés par de nouveaux individus.

Pour finir, de la glue a été mise sur toutes les coupelles des pots ainsi que sur les tuyaux du goutte à goutte pour éviter que les l'introduction des fourmis dans les pots.

3.3.2.3 Mesures réalisées lors du dépotage

Le dépotage des bananiers a été réalisé du 28 au 31 juin 2022, c'est-à-dire deux mois après l'installation (annexe 8). Lors du dépotage, de nombreuses mesures ont été réalisées sur chaque pot dans le but d'évaluer l'effet des invertébrés détritivores sur la perte de masse de litière et l'effet de la richesse spécifique et dissimilarité fonctionnelle sur la croissance du bananier (H1, H2, H3 et H4).

La perte de masse de litière dans chaque pot correspond à la différence entre la masse sèche initiale et la masse sèche finale. La masse sèche finale a été obtenue en récupérant tous les morceaux de litière restant dans les pots. Ils ont ensuite été mis dans une étuve à 65°C pendant trois jours minimums puis ont été pesés.

La croissance des bananiers a été quantifiée en mesurant 8 variables : la croissance en biomasse des bananiers, masse des parties souterraines et aériennes (masse aérienne totale, masse des pseudotroncs et masse des feuilles), surface foliaire, nombre des racines primaires et ratio masse aérienne/souterraine. La croissance en biomasse des bananiers a été calculé en faisant la différence entre la masse sèche finale et la masse sèche initiale de tout le bananier (calculé grâce aux mesures du taux d'humidité des vitroplants lors de la plantation). Les racines, les feuilles et les pseudotroncs ont été pesés séparément pour avoir les masses sèches des parties souterraines (racine et bulbe) et aériennes (pseudotronc et feuille). Les masses sèches ont été obtenues en pesant chaque partie du bananier après un passage de trois jours dans une étuve à 65 °C. Le nombre de racine primaire

a été compté lors du dépotage. La surface foliaire a été mesurée avec un traitement d'image des feuilles de chaque bananier. En effet, les photos ont été prise en alignant les feuilles sur un fond blanc avec une échelle. Ensuite, à partir d'un traitement binaire des couleurs de l'image sur le logiciel ImageJ®, nous avons pu déterminer la surface des feuilles (annexe 9).

3.4 Traitement des données

Toutes les données ont été saisie dans un tableau Excel qui a constitué la base de données brutes. Ce jeu de données est composé de variables explicatives et de variables à expliquer.

- Variables explicatives
  - Type d'assemblage
  - Numéro de répétition correspond au numéro de la ligne
  - Sans invertébrés détritivores / Monospécifique / Plurispécifique
  - Nombre d'espèces
  - Indice de Rao
- Variables à expliquer
  - Décomposition de la litière en pourcentage de perte de masse
  - Variables de croissance :
    - Croissance en biomasse du bananier en gramme (croissance_biomasse)
    - Masse aérienne en gramme (masse_aerienne)
    - Masse foliaire en gramme (masse_foliaire)
    - Masse du pseudotronc en gramme (masse_pseudotronc)
    - Masse souterraine en gramme (masse_souterraine)
    - Nombre de racine primaire (nb_racine)
    - Surface foliaire en cm^2 (surface_foliare)
    - Ratio biomasse aérienne sur biomasse racinaire (ba_br)

A partir de ce tableau, l'effet net des assemblages plurispécifiques sur les 9 variables à expliquer a été calculé pour chaque pot. Comme expliqué précédemment l'effet net est la différence entre l'effet observé et l'effet prédit.

$$Effet\ net = Effet\ observé - Effet\ prédit$$

L'effet observé a été calculé en retirant la part de l'effet observé dans les témoins. L'effet observé dans les témoins est la moyenne des mesures effectuées sur les témoins (T-SF). Dans l'équation, l'effet du pot correspond à l'effet observé d'un assemblage appliqué sur un pot avec un bananier et de la litière.

$$Effet\ observé = Effet\ du\ pot - Effet\ des\ microorganismes$$

L'effet prédit a ensuite été déterminé grâce à l'équation ci-dessous où n correspond au nombre d'espèces de la répétition (i varie de 1 à n) et « Masse $espèce_i$ », correspond à la masse de l'espèce i du pot.

$$\text{Effet prédit} = \sum_{i=1}^{n} \text{Effet espèce}_i \text{ x Masse espèce}_i$$

Pour prédire l'effet d'un pot, la moyenne des effets de chacune des 5 espèces par gramme (Effet espèce i) a été calculé grâce aux assemblages monospécifiques comme explicité ci-dessous où m ($1 < j < m$) correspond au nombre de répétitions réalisées en monospécifique de l'espèce i (ass. = assemblage).

$$Effet\ espèce_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \frac{Effet\ de\ l'espèce\ i\ dans\ ass.monospecifique\ j}{Masse\ de\ l'espèce\ i\ dans\ ass.monospécifique\ j}$$

Ces calculs ont permis de créer un second tableau avec les mêmes variables explicatives et les effets nets des assemblages sur les 9 variables à expliquer. Ce tableau contient uniquement les assemblages plurispécifiques.

Ces deux tableaux ont ensuite permis de faire une analyse descriptive ainsi que des tests statistiques sur le logiciel R ® (version 4.1.0).

Dans un premier temps l'effet de la présence d'invertébrés détritivores sur la décomposition de la litière et la croissance des bananiers a été analysé (H1). Des boîtes à moustache ont été réalisées pour l'effet sur la décomposition. Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée pour l'effet sur la croissance des bananiers car celle-ci est caractérisé par 8 variables. Des modèles mixtes prenant en compte l'effet ligne en effet aléatoire ont été réalisés grâce à la fonction lmer du package 'ade4'. Cet effet est dû à la disposition dans la serre. En effet, nous avons remarqué une différence d'arrosage entre les lignes du goutte à goutte, ce qui peut avoir un effet sur la variabilité au sein des modalités.

Dans un deuxième temps, l'effet de la décomposition sur les variables de croissance (H2) a été testé avec la même fonction (lmer).

Dans un troisième temps, les effets de la diversité spécifique et fonctionnelle sur le pourcentage de décomposition ont été analysés (H3). Pour cela, des graphiques utilisant le package 'ggplot2' et des tests utilisant la fonction lmer ont été réalisés.

Enfin, les effets de la diversité spécifique et fonctionnelle sur la croissance des bananiers ont été analysés (H4) en réalisant des graphiques avec ggplot2 et des tests avec lmer.

De manière générale, les tests ont été considérés comme étant significatifs lorsque les p-values étaient inférieures à 0,05. Les hypothèses nécessaires pour la validation de ces tests (normalité des résidus et égalité des variances) ont été vérifiées. Des analyses de comparaison de moyenne, à la suite des modèles, ont été faites avec la fonction glht() du package 'multcomp'.

4. Résultats

4.1 Taux de mortalité des espèces au sein des assemblages

Lors de cette expérimentation de nombreux individus sont morts et les taux de mortalité variaient en fonction des espèces. En effet, le vers de terre EuE n'a été retrouvé dans aucun des pots (100% de mort) malgré la présence de traces d'activités. Les deux espèces de diplopode, AnL et AnM, ont eu des taux de mortalité de 71,6 % et 54,2 % respectivement. D'autre part, le gastéropode SuO a été retrouvé vivant environ une fois sur trois (taux de mortalité de 66,7 %). Enfin, l'espèce qui a le mieux survécu est l'isopode CuM avec un taux de mortalité de 14,6 %.

Le taux de mortalité total a également varié dans les assemblages plurispécifiques (tableau 2).

Modalités	Composition	Rao	Nombre d'espèces	Taux de mortalité
A	1 AnL - 1 AnM – 2 CuM	0,47	3	52,8 %
B	1 AnL – 1 CuM – 1 SuO	0,5	3	57,8 %
C	1 AnL – 2 SuO	0,53	2	40,7 %
D	1 AnM – 2 SuO	0,6	2	51,8
E	1 EuE - 2 SuO	0,62	2	29,6 %
F	1 AnL – 1 AnM – 1 EuE	0,66	3	29,6 %
G	1 AnL - 1 AnM - 2 CuM - 1 EuE - 2 SuO	0,85	5	39,7 %
H	1 AnM - 1 CuM – 1 EuE	0,98	3	55,5 %

Tableau 2 : Tableau indiquant la composition, l'indice de Rao, le nombre d'espèces et le taux de mortalité de chacun des 8 assemblages plurispécifiques.

En revanche, le taux de perte de bananier était très faible puisqu'un seul bananier est mort en cours d'expérimentation (E-4).

4.2 Effet de la diversité des invertébrés détritivores sur la décomposition de la litière du bananier

4.2.1 Effet de la présence d'invertébrés détritivores sur le pourcentage de perte de masse de la litière

D'après la figure 16, le pourcentage de décomposition était significativement différent entre les différentes modalités ; les témoins sans invertébrés détritivores, les assemblages monospécifiques et les assemblages plurispécifiques ($p \approx 6{,}4e\text{-}8$).

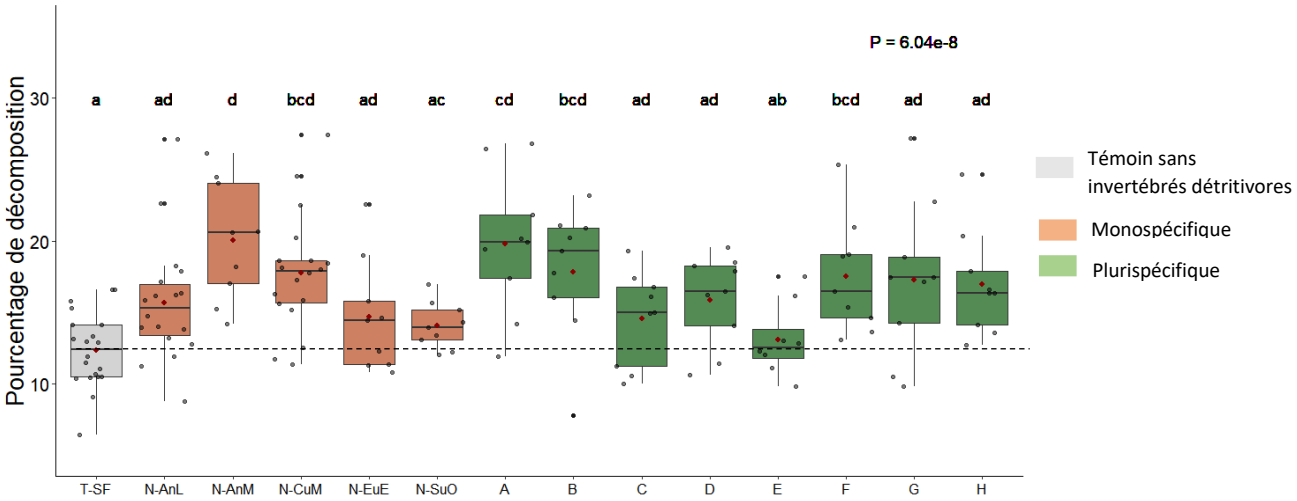


Figure 16 : Boites à moustaches du pourcentage de décomposition de la litière en fonction des modalités. Les trois couleurs correspondent à trois groupes de modalités : les témoins sans invertébrés détritivores (gris), les assemblages monospécifiques (orange) et les assemblages plurispécifiques (vert). Les points rouges indiquent les moyennes. La ligne en pointillés noir est le prolongement de la médiane des modalités sans invertébrés détritivores (T-SF). La p-value a été obtenue grâce à un test lmer sur l'effet des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités

De plus, toutes les modalités avaient un pourcentage de décomposition plus important que celle du témoin (sans invertébrés détritivores ; T-SF) qui est en moyenne à 12%. L'assemblage ayant le pourcentage de décomposition le plus proche au témoin étaient l'assemblage E (en moyenne 13% de décomposition), celui-ci était composée du vers de terre EuE et du gastéropode SuO. En revanche, les assemblages avec le plus haut pourcentage de décomposition (≈20 %) étaient ; l'assemblage monospécifique N-AnM et l'assemblage plurispécifique A, composé de AnL, AnM et CuM (figure 16).

4.2.2 Effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition

L'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition variaient significativement en fonction de leur composition (p = 0,04).

Les effets nets des assemblages plurispécifiques sur le pourcentage de décomposition ont été calculés à partir des effets moyens par gramme de chaque espèce (cf matériels et méthodes partie 3.4). Celui-ci variait beaucoup en fonction des espèces puisqu'il est de 56 % pour CuM et de 2% pour EuE. Pour les autres espèces, AnL, AnM et SuO, ils étaient respectivement de 6, 5 et 6%.

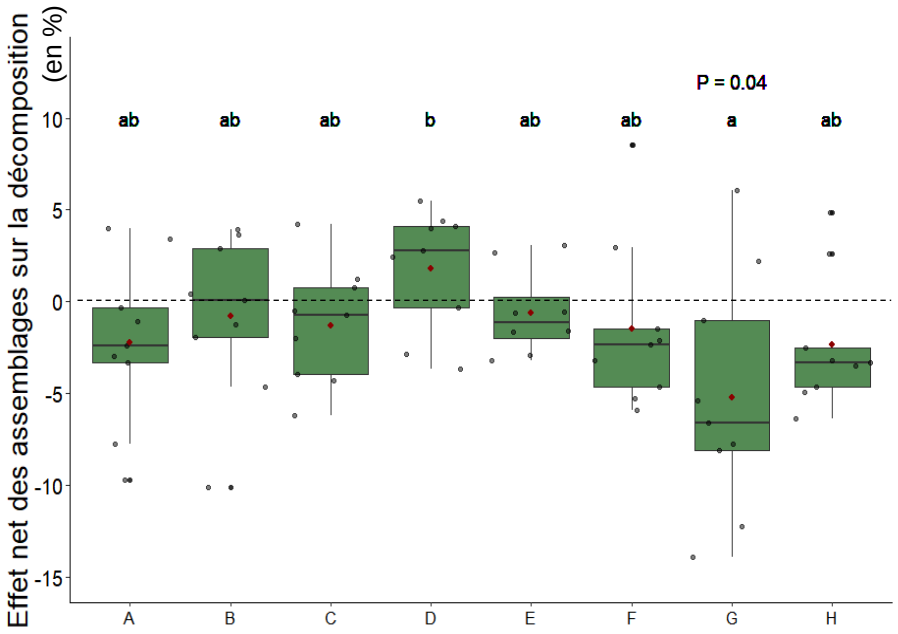


Figure 17 : Boites à moustaches de l'effet net sur le pourcentage de décomposition en fonction des assemblages. Les points rouges indiquent les moyennes. La ligne en pointillés noir est le prolongement d'un effet net égal à 0. La p-value a été obtenue grâce à un test lmer sur l'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités

La comparaison multiple des moyennes différenciait trois groupes d'assemblages (figure 17). En effet, d'un côté, l'assemblage D ; composé du diplopode AnM et du gastéropode SuO, avait un effet net positif de 2,5 % en moyenne de décomposition, significativement supérieur des autres assemblages. Les assemblages A, B, C, E, F et H avaient un effet net de -2 % en moyenne. D'autre part, l'assemblage G, composé de l'ensemble des 5 espèces, avait un effet net négatif de -5% en moyenne, significativement inférieurs des autres assemblages.

4.2.3 Effet de la diversité spécifique et fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur la décomposition

D'après les graphiques de la figure 18, plus la richesse spécifique dans les assemblages était importante plus leur effet net sur la décomposition diminuait significativement (figure 18.A, p = 0,0009). En revanche, le graphique B montre qu'il n'y avait pas d'effet significatif de la dissimilarité fonctionnelle (indice de Rao) sur l'effet net des assemblages sur la décomposition (p > 0,05).

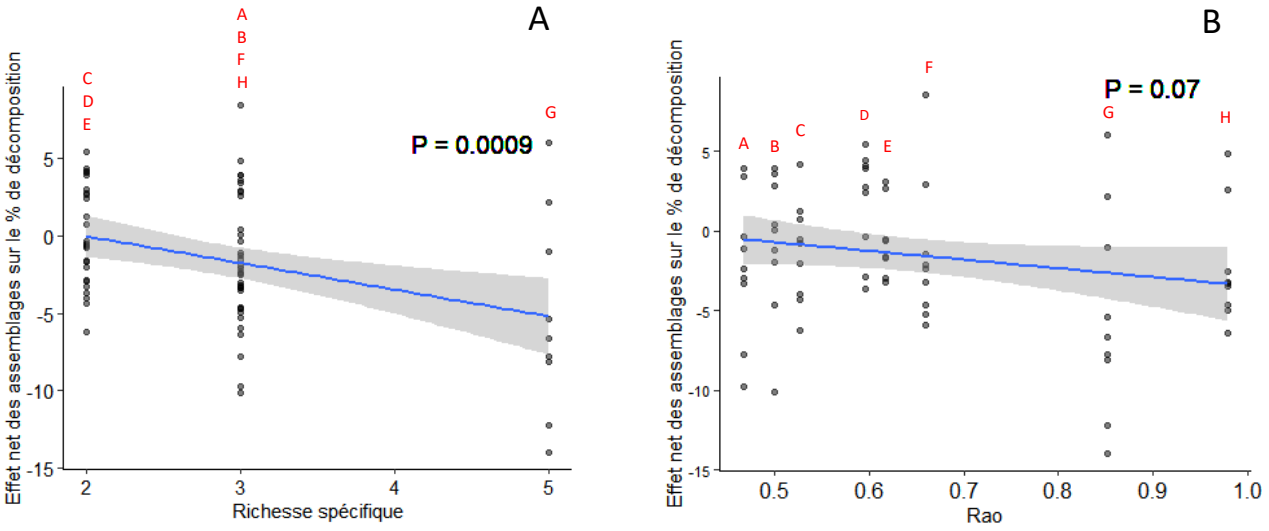


Figure 18 : A) Relation entre la richesse spécifique des assemblages et l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). B) Relation entre l'indice de Rao et l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). L'abscisse des deux graphiques correspond à l'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Les lignes bleues sont des régressions linéaires, elles sont complétées par leur intervalle de confiance. Les lettres majuscules en rouge indiquent la position des modalités sur le graphique.

4.3 Effet de la diversité des invertébrés détritivores sur la croissance du bananier

4.3.1 Effet de la présence d'invertébrés détritivores sur les variables de croissance

Le premier et le deuxième axe de l'analyse des composantes principales (ACP) sur les variables de croissance des bananiers a expliqué respectivement 49,8 % et 23,9 % de l'inertie totale des données (figure 19.A).

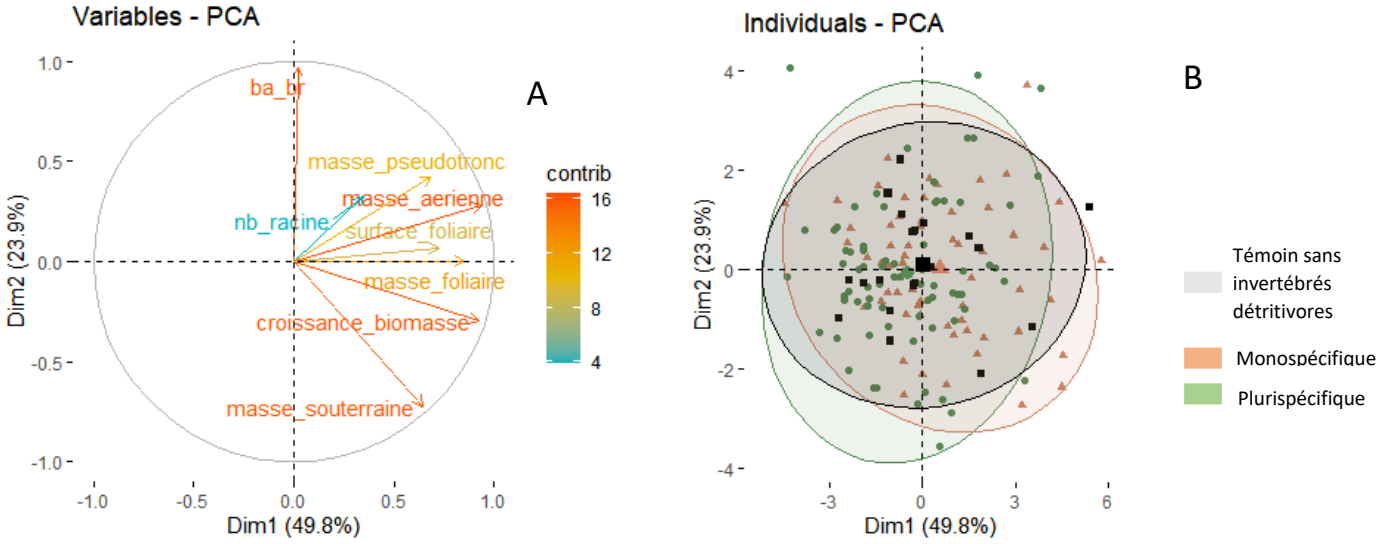


Figure 19 : A) Cercle de corrélation de l'ACP montrant les variables de croissance du bananier. La couleur des variables dépend de leur degré de contribution dans l'ACP. B) Représentation graphique de chaque répétition dans le plan de l'ACP en fonction de leur appartenance aux modalités ; témoins sans invertébrés détritivores, assemblages monospécifiques et assemblages plurispécifiques.

Les variables de croissance étaient toutes corrélées entre elles sauf le ratio biomasse aérienne / biomasse souterraine qui est négativement corrélée à la masse souterraine (figure 19.A).

La figure 19.B montre que les témoins sans invertébrés détritivores et les assemblages monospécifiques et plurispécifiques ont occupé une surface très importante de l'ACP. Ces trois groupes se sont chevauché et aucun des groupes n'a pu être relié spécifiquement à une ou plusieurs variables de croissance.

D'après le tableau 3, les différents assemblages ont eu des effets significatifs uniquement sur la masse aérienne (p = 0,0008) et plus précisément sur la masse foliaire (p = 0,0003).

VARIABLES	**P**
Croissance en biomasse des bananiers	0.06716
Masse aérienne	**0.0008061 *****
Masse souterraine	0.6169
Masse pseudotronc	0.1702
Masse foliaire	**0.0003419 *****
Nombre de racine	0.8438
Surface foliaire	0.1039
Biomasse aérienne / biomasse souterraine	0.7718

Tableau 3 : Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet des modalités sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.

Ce résultat est précisé sur la figure 20.A où l'on observe trois groupes de modalités de moyennes différentes. Les bananiers des modalités N-AnL, N-EuE et A ont des masses aériennes supérieures aux modalités T-SF, N-AnM, N-CuM, N-SuO, B, D, E, F, G, H qui ont eux-mêmes une masse aérienne plus important que la modalité N-EuE.

Par ailleurs, les moyennes des masses foliaires variaient entre les modalités avec une moyenne de 6,5 g pour C, D et H, une moyenne de 6,9 g pour T-SF, N-AnL, N-AnM, N-CuM, N-SuO, A, B, E, F et G et une moyenne de 7,6 g pour EuE. Ces moyennes sont significativement différentes d'après le test de Tuckey.

En revanche, nous n'avons pas pu observer un effet significatif de la présence d'invertébrés détritivores sur la croissance en termes de biomasse totale du bananier (Figure 20.B). En effet, d'après la comparaison de moyenne aucune croissance en biomasse des bananiers avec les assemblages monospécifiques et plurispécifiques n'était significativement supérieure aux croissances en biomasse des bananiers témoins sans invertébrés détritivores.

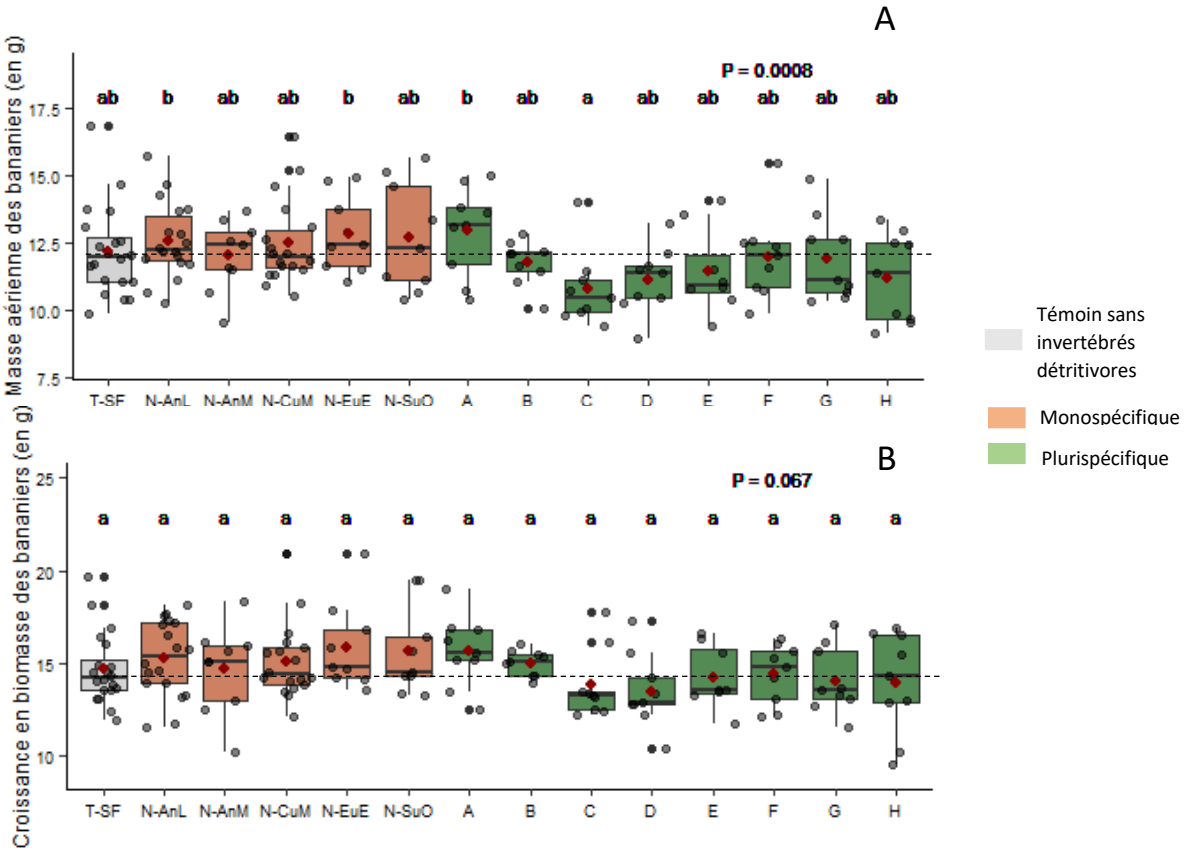


Figure 20 : Boites à moustaches de la croissance en biomasse des bananiers en gramme (A) et de la masse aérienne des bananiers (B) en fonction des modalités. Les trois couleurs correspondent à trois groupes de modalités : les témoins sans invertébrés détritivores (gris), les assemblages monospécifique (orange) et les assemblages plurispécifique (vert). Les points rouges indiquent les moyennes. Les lignes en pointillés noir sont le prolongement de la médiane des modalités sans invertébrés détritivores. Les p-values ont été obtenues grâce à un test lmer sur l'effet des assemblages sur la croissance en biomasse des bananiers. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités

4.3.2 Effet net des assemblages sur la croissance du bananier

Les effets nets des assemblages plurispécifiques sur la croissance en biomasse des bananiers ont été calculés à partir des effets moyens par gramme de chaque espèce sur cette croissance. L'espèce SuO avait la moyenne la plus élevée puisqu'un gramme de SuO a permis de gagner en moyenne 3,28 g de masse sèche de bananier. En revanche, un gramme d'AnM a permis de gagner uniquement 0,05 g de masse sèche (en moyenne). Ces valeurs sont de 2,63 ; 1,06 et 1,04 g pour les espèces CuM, EuE et AnL respectivement.

Les seules variables de croissance pour lesquelles une différence significative entre les effets nets des assemblages a été observée sont la masse aérienne, la masse du pseudotronc et la masse foliaire (tableau 4).

VARIABLES	P
Croissance en biomasse des bananiers	0.06893
Masse aérienne	**0.002807 ****
Masse souterraine	0.2937
Masse pseudotronc	**0.03765 ***
Masse foliaire	**0.01437 ***
Nombre de racine	0.4526
Surface foliaire	0.2727
Biomasse aérienne / biomasse souterraine	0.3508

Tableau 4 : Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet net des modalités sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.

Comme visible sur la figure 21.A, nous n'avons pas observé un effet significatif des différents assemblages sur leur effet net sur la croissance en termes de biomasse totale (p = 0,07). De plus, les effets nets étaient globalement négatifs puisque toutes les moyennes étaient comprises entre 0,3 et -2,2 g environ. Malgré, cette absence de significativité, nous avons observé une différence de comportement entre l'assemblage A et C. En effet, la variabilité dans les données est plus importante dans l'assemblage A et la moyenne est positive (0,3 g). Alors que la variabilité est faible dans l'assemblage C et la moyenne est négative (-1,5 g). En revanche, nous avons observé une différence significative (p ≈ 0,003) entre les effets nets des assemblages sur la masse aérienne (figure 21.B). L'assemblage A était le seul à avoir un effet net positif d'environ 0,7 g sur la masse aérienne des bananiers.

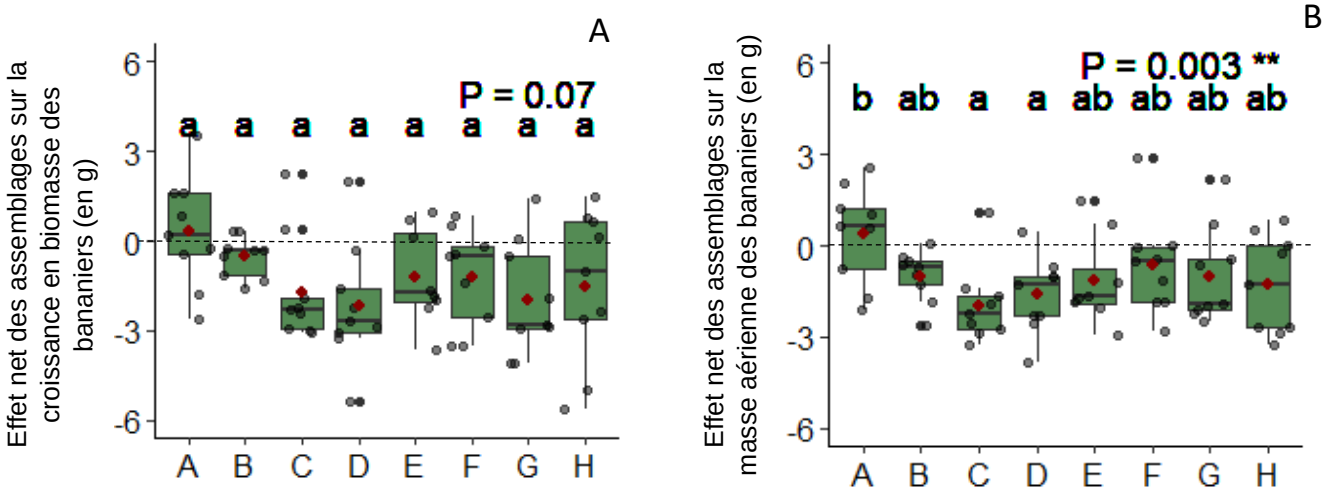


Figure 21 : Boites à moustaches de l'effet net des assemblages sur la croissance en biomasse des bananiers (A) et la masse aérienne (B). Les points rouges indiquent les moyennes. Les lignes en pointillés noir sont le prolongement d'un effet net égale à 0. Les p-values ont été obtenues grâce à un test lmer sur l'effet net des assemblages sur la croissance en biomasse des bananiers. Les comparaisons multiples entre les variables, effectuées par le test de Tukey, sont indiquées par les lettres minuscules pour l'ensemble des modalités.

4.3.3 Effet de la diversité spécifique et la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur les variables de croissances

La richesse spécifique et la dissimilarité fonctionnelle au sein des assemblages d'espèces détritivores n'ont pas eu d'effet significatif sur l'effet net des assemblages sur la croissance du bananier ($p < 0,05$, tableau 5). La richesse spécifique a eu un effet significatif uniquement sur l'effet net des assemblages sur la surface foliaire des bananiers ($p = 0,04$, tableau 5, figure 22.A). En revanche, la dissimilarité fonctionnelle (Rao) n'a pas eu d'effet significatif sur l'effet net des assemblages sur la surface foliaire, mais plutôt un effet négatif sur l'effet net des assemblages sur la masse souterraine ($p = 0,04$, tableau 5 et figure 22.B).

Effet net des assemblages	**Richesse spécifique**	**Rao**
Croissance (gain en masse totale)	0.9448	0.07009
Masse aérienne	0.1408	0.3601
Masse souterraine	0.6093	**0.03631 ***
Masse pseudotronc	0.1148	0.778
Masse foliaire	0.4255	0.2103
Nombre de racine	0.3302	0.8452
Surface foliaire	**0.04379 ***	0.5908
Biomasse aérienne / Biomasse racinaire	0.19	0.05632

Tableau 5 : Tableau indiquant les p-values obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet la richesse spécifique et la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-value.

En effet, la figure 22.B montre une relation significativement négative entre l'indice de Rao et l'effet net des assemblages sur la masse souterraine. Ce résultat implique que plus la dissimilarité fonctionnelle au sein d'un assemblage augmente plus l'effet net de celui-ci sur la masse souterraine diminue. Cet effet net passe de nul à négatif lorsque la dissimilarité fonctionnelle augmente.

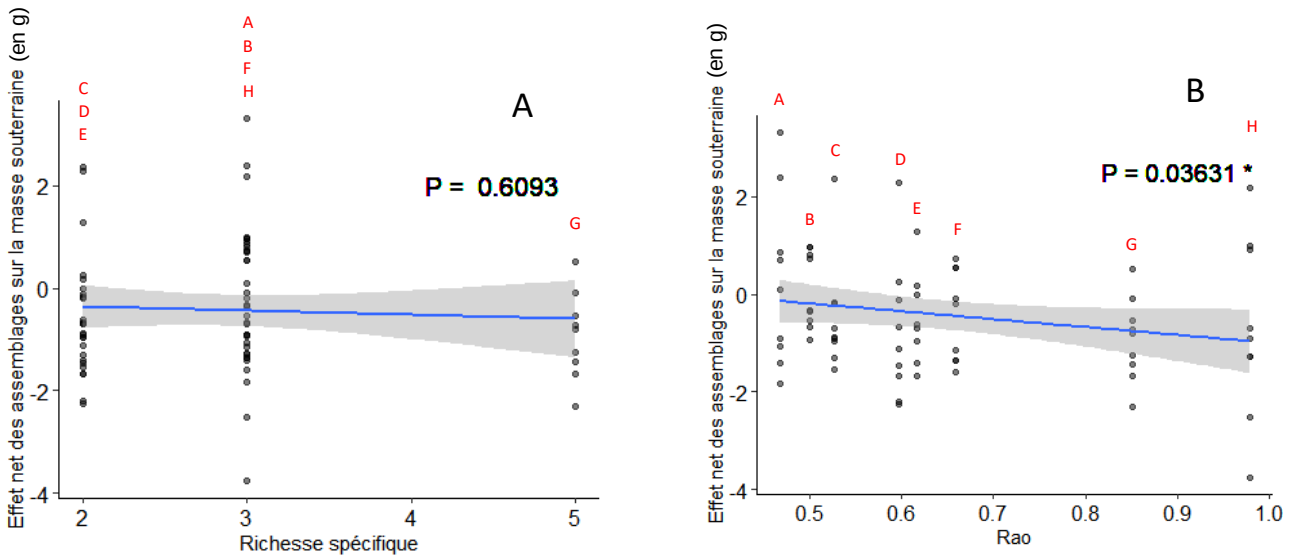


Figure 22 : A) Relation entre la richesse spécifique des assemblages et l'effet net. B) Relation entre l'indice de Rao sur l'effet net. L'abscisse correspond à l'effet net des assemblages sur la masse souterraine des bananiers. Les lignes bleues sont des régressions linéaires, elles sont complétées par leur intervalle de confiance. Les lettres en rouge indiquent la position des modalités sur le graphique.

En revanche, la richesse spécifique a eu un effet positif sur l'effet net des assemblages sur la surface foliaire (figure 23.A) ; plus le nombre d'espèce présent dans un assemblage était grand, plus cet assemblage avait un effet net important sur la surface foliaire des bananiers. Les assemblages avec 2 espèces (C, D et E), 3 espèces (A, B, F et H) et 5 espèces (G) ont eu un effet net moyen sur la surface foliaire de -103, -79 et -18 cm² respectivement. La figure 23.B montre l'absence de relation entre la dissimilarité fonctionnelle (Rao) et cet effet net.

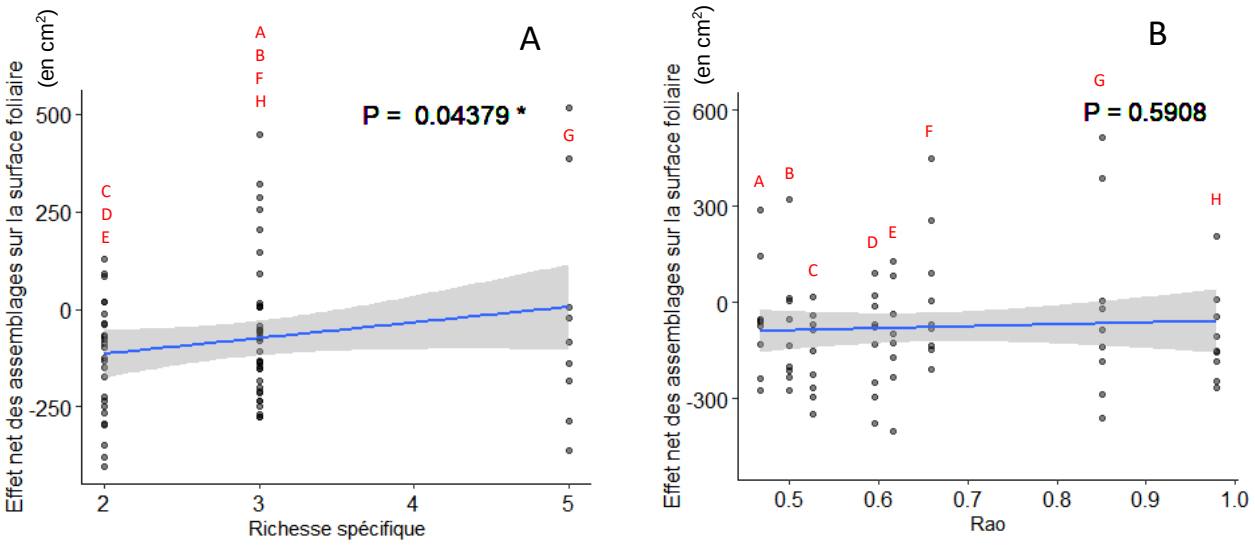


Figure 23 : A) Effet de la richesse spécifiques des assemblages sur l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). B) Effet de la dissimilarité fonctionnelle (indice de Rao) sur l'effet net (p-value obtenue à la suite d'un test lmer). L'abscisse correspond à l'effet net des assemblages sur la surface foliaire en cm². Les lignes bleues sont des régressions linéaires, elles sont complétées par leur intervalle de confiance. Les lettres en rouge indiquent la position des modalités sur le graphique.

4.4 Effet de la décomposition sur la croissance du bananier

Le tableau 6 montre l'absence d'effet du pourcentage de décomposition sur les variables de croissance des bananiers ($p < 0,05$). Cela est également illustré dans la figure 24 où aucune tendance entre le pourcentage de décomposition et la croissance en biomasse des bananiers ne peut être observée.

VARIABLES	P
Croissance en biomasse des bananiers	0.2408
Masse aérienne	0.6179
Masse souterraine	0.3288
Masse pseudotronc	0.4686
Masse foliaire	0.9592
Nombre de racine	0.5279
Surface foliaire	0.584
Biomasse aérienne / biomasse souterraine	0.9694

Tableau 6 : Tableau indiquant les p-valeurs obtenues à la suite de la réalisation de modèles statistiques (lmer) testant l'effet du pourcentage de décomposition sur chacune des variables de croissance. La présence d'étoiles indique la significativité de la p-valeur.

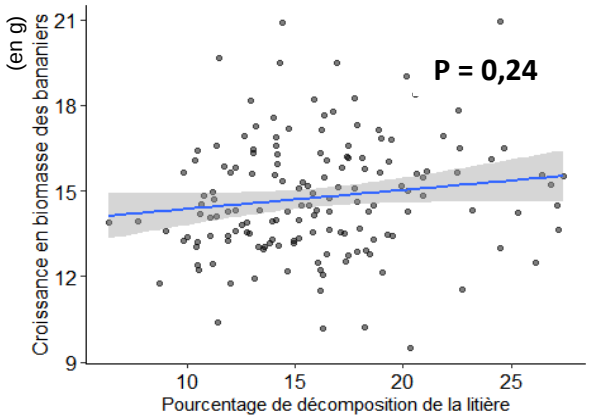


Figure 24 : Relation entre le pourcentage de décomposition de la litière et la croissance en biomasse des bananiers en gramme. La ligne bleue est une régression linéaire. Elle est complétée par son intervalle de confiance. La p-value a été obtenue à la suite d'un test lmer.

5. Discussions

5.1 Effet de la présence des invertébrés détritivores sur la décomposition de la litière de bananier et sur sa croissance

5.1.1 Effet des invertébrés détritivores sur la décomposition

La décomposition de la litière est plus faible dans les pots témoins n'ayant pas reçu d'invertébrés détritivores que dans les pots ayant reçu les différents assemblages (figure 16). Cela montre l'effet important des espèces détritivores sur le processus de décomposition rendu possible par l'appétence de la litière pré-décomposée.

Dans notre expérimentation, les espèces qui ont permis la plus forte décomposition de litière dans les modalités monospécifiques sont *A. monilicornis* (AnM) et *C. murina* (CuM). En effet, ils ont permis une décomposition 27 % supérieure à celle des témoins. Ces deux espèces sont caractérisées par un fort taux de consommation de litière (62 et 115 milligrammes de litière par gramme d'individu et par jour, respectivement) ce qui peut expliquer cette observation. Nos résultats vont dans le sens de Hättenschwiler et al. (2008) qui ont montré que les isopodes accélèrent la perte de masse de litière comparé à des témoins sans isopodes lors d'une expérimentation de 88 jours en laboratoire.

5.1.2 Effet des invertébrés détritivores sur la croissance

La présence des invertébrés détritivores a eu peu d'effet sur la croissance des bananiers ce qui peut être dû à l'absence d'effet significatif de la décomposition sur la croissance du bananier (réfutant H2). Une explication possible est que le choix d'un sol pauvre lors de notre pré-expérimentation n'a pas suffi à créer des conditions défavorables à la croissance des jeunes bananiers car leurs réserves leurs suffisaient.

Cependant, certains assemblages ont permis une augmentation de la masse aérienne et foliaire. En effet, les bananiers avec l'assemblage monospécifique de *E. eugeniae* (N-EuE), par exemple, ont une masse aérienne et foliaire significativement supérieure aux autres bananiers. Cela peut s'expliquer par une meilleure structure du sol due à l'activité d'*E. eugeniae* dans le sol permettant une meilleure accessibilité des nutriments aux bananiers (Brown et al., 2000).

Nos résultats montrent que tous les assemblages (monospécifiques et plurispécifiques) ont permis une décomposition de litière significativement supérieure à celle des témoins n'ayant pas eu d'invertébrés détritivores (H1 validée). En revanche, nos résultats ont aussi montré que cela n'implique pas une meilleure croissance des bananiers (H2 réfutée).

5.2 Effet de la diversité spécifique et fonctionnelle sur la décomposition de la litière

Nos résultats montrent que plus la richesse spécifique augmente plus l'effet net des assemblages sur la décomposition est négatif. L'augmentation du nombre d'espèces augmenterait la probabilité d'avoir des interactions de compétition (effet net négatif) (Loreau, 2000). Cette compétition est due à des valeurs de traits fonctionnelles relativement proches, et donc à une superposition de niche écologique. L'assemblage G, notamment, est composé de 5 espèces et a un effet net négatif sur le pourcentage de décomposition. Cela peut s'expliquer par la compétition entre certaines espèces de cet assemblage. En effet, *A. leucostigma* (AnL) et *A. monilicornis* occupent, par exemple, des niches écologiques relativement similaires (taux de consommation de 55 et 66 mg de litière par jour et par gramme d'individu) et peuvent entrer en compétition pour les ressources alimentaires.

Nos résultats ne montrent pas d'effet significatif de la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur la décomposition. Or, nous observons que les assemblages avec des dissimilarités moyennes (D, E et F, 0,6 < Rao < 0,7) ont un effet net sur la décomposition plus important que les assemblages avec une plus faible dissimilarité fonctionnelle (A, B et C, 0,4 < Rao < 0,5). Par exemple, l'assemblage D, composé de *A. monilicornis* et *S. octona* (Rao = 0,6), a un effet net positif de 1,8 % en moyenne sur le taux de décomposition.

Il y aurait donc une interaction facilitatrice entre les deux espèces. Ce type d'interaction entre diplopodes et gastéropodes a déjà été observé par De Oliveira et al. (2010). Le gastéropode, *S. octona*, faciliterait donc l'accès à la litière pour le diplopode *A. monilicornis* en broutant la surface dure de celle-ci. En revanche, les assemblages avec une dissimilarité fonctionnelle plus importante (0,8 < Rao < 1) ont des effets nets plus faibles sur la décomposition. Par exemple, la modalité H, composée de *A. monilicornis, C. murina* et *E. eugeniae* (Rao = 0,98), a un effet net de -2,3 %. Ce résultat ne va pas dans le sens de l'étude menée par Heemsbergen et al. (2004). En effet, ils ont montré que plus la dissimilarité fonctionnelle est importante dans les assemblages d'espèces plus leurs effets nets sur la décomposition de la matière organique sont importants. Dans notre expérimentation, l'observation de compétition (effet net négatif) lorsque la dissimilarité fonctionnelle est importante peut être dû à un manque de traits fonctionnels caractérisant l'effet des espèces sur la décomposition de la litière. En effet, d'autres traits comme le niveau d'appétence (c.f. pourcentage de pré décomposition) de la litière pourraient augmenter la dissimilarité fonctionnelle de certains assemblages.

Nos résultats montrent que la dissimilarité fonctionnelle des assemblages d'espèce n'a pas d'effet significatif sur la décomposition de la litière En revanche, une grande diversité spécifique provoque une diminution de décomposition. Ces résultats ne permettent donc pas de valider notre troisième hypothèse (H3).

5.3 Effet de la diversité sur la croissance des bananiers

Dans le cas de notre étude, nous n'avons pas observé un effet de la diversité spécifique et de la dissimilarité fonctionnelle sur les effets nets des assemblages sur la croissance en biomasse totale des bananiers. En revanche, des effets sur la surface foliaire et la masse souterraine ont été observés.

5.3.1 Effet de la diversité sur la masse souterraine

Nos résultats montrent que la diversité spécifique au sein des assemblages d'espèces détritivores n'a pas eu d'effet significatif sur la masse souterraine du bananier (effet net neutre, Loreau, 2000). En revanche, une augmentation de la dissimilarité fonctionnelle a permis d'observer une diminution des effets nets des assemblages sur la masse souterraine du bananier. Cela signifie que la masse souterraine observée est inférieure à la masse souterraine prédite pour les assemblages très dissimilaires fonctionnellement. Cela peut être expliqué par l'augmentation des interactions positives entre les espèces permettant une meilleure disponibilité des nutriments dans le sol. Cette disponibilité permettrait un développement moindre des racines des bananiers. D'après Bonkowski et al. (1998), les boulettes fécales des diplopodes sont très attractives pour les vers de terre. Cette attractivité est due à l'enrichissement des boulettes fécales en micro-organismes et donc à une augmentation de la qualité nutritionnelle pour les vers de terre. De plus, les espèces de diplopodes utilisées lors de notre expérimentation ont un grand taux d'excrétion (95 % de ce qui est consommé). Cette disponibilité suffisante des nutriments dans le sol se traduit donc par un investissement moindre de la plante sur le développement de son système racinaire (Brenchlez, 1916).

5.3.2 Effet de la diversité sur la surface foliaire

Nos résultats montrent un effet significatif de la diversité spécifique dans les assemblages sur leur effet net sur la surface foliaire des bananiers. En effet, l'augmentation du nombre d'espèces augmenterait la probabilité d'observer des interactions positives de facilitations entre les espèces, augmentant la surface foliaire des bananiers (effet d'échantillonnage, Loreau, 2000). D'après Hassall et Rushton (1981), les isopodes peuvent être coprophages (Bertrand & Lumaret, 1992). Nous pouvons donc supposer que les boulettes fécales des diplopodes facilitent l'alimentation de l'isopode *C. murina* qui peut faciliter à son tour celle du vers de terre *E. eugeniae*. En effet, *C. murina* de par son fort rendement d'assimilation produit des boulettes fécales riche en nutriments et donc potentiellement appétente pour *E. eugeniae* (Hauser, 1993). Ces interactions permettraient une augmentation de la disponibilité des nutriments dans le sol et donc une augmentation de la surface foliaire (Niinemets & Kull, 2003).

Par ailleurs, la dissimilarité fonctionnelle n'a pas d'effet significatif sur l'effet net des assemblages sur la surface foliaire. Deux explications sont possibles. Tout d'abord, les traits que nous avons utilisés pour caractériser les espèces ne sont peut-être pas suffisants pour bien différencier l'effet des espèces sur la croissance du bananier. D'autres traits pourraient être ajoutés, comme la respiration microbienne, la production de nitrate et le carbone organique dissous ainsi que la taille des particules de litière dans les boulettes fécales (Heesmbergen et al., 2004 ; Coulis et al., 2015). De plus, la durée de l'expérimentation a peut-être été trop courte pour pouvoir observer une relation significative entre la dissimilarité fonctionnelle et les effets nets des assemblages sur la surface foliaire et les autres variables de croissance. En effet, les deux mois d'expérimentation ont permis d'observer un investissement moindre des bananiers dans leur système racinaire lorsque la dissimilarité fonctionnelle est importante. Nous pouvons donc supposer que des effets de la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur la surface foliaire allait apparaître plus tard ; après les deux mois d'expérimentation menée dans ce stage.

Nos résultats montrent que l'augmentation de la dissimilarité fonctionnelle dans les assemblages d'espèce a permis une plus faible masse souterraine contrairement à l'augmentation de la diversité spécifique. Par ailleurs, une grande diversité spécifique a permis une surface foliaire plus importante. Ainsi, la quatrième hypothèse (H4) de ce stage n'est pas validée.

Conclusion

Pour conclure, cette étude a permis de mettre en évidence, tout d'abord, l'effet significatif de la présence d'invertébrés détritivores sur l'augmentation du pourcentage de décomposition de la litière du bananier. Cette augmentation a été fortement due à la présence des deux espèces de diplopodes *A. monilicornis* et *A. leucostigma* et l'espèce d'isopodes *C. murina* dans notre expérimentation. En effet, ces 3 espèces sont caractérisées par un fort taux de consommation de litière. En revanche, les invertébrés détritivores ont eu peu d'effet sur la croissance des bananiers ce qui peut être dû à une absence d'effet de la décomposition de la litière sur la croissance des bananiers comme le montre nos résultats.

Ensuite, nous avons montré que l'augmentation de la diversité spécifique permet une diminution significative de l'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Cette diminution est fortement due aux interactions de compétitions dans les assemblages ayant un grand nombre d'espèces. En revanche, nous n'avons pas observé d'effets significatifs de la dissimilarité fonctionnelle sur l'effet net des assemblages sur le pourcentage de décomposition. Cela peut être dû au manque de certains traits fonctionnels ayant un effet direct sur la décomposition de litière. Ces traits pourraient mieux caractériser et différencier les espèces.

Enfin, l'augmentation de la dissimilarité fonctionnelle a permis une diminution significative de l'effet net des assemblages sur la masse souterraine. Nous expliquons cela par un investissement moindre des bananiers dans leur système racinaire qui peut être lié à la présence de *C. murina* et *E. eugeniae.* En effet, ces espèces, grâce à leur importante consommation de sol et au grand taux d'assimilation pour *C. murina,* favoriseraient la minéralisation et amélioreraient la structure du sol. Par ailleurs, la diversité spécifique a permis une augmentation significative de l'effet net des assemblages sur la surface foliaire. Cela peut s'expliquer par l'effet d'échantillonnage augmentant la probabilité d'avoir des interactions positives entre les espèces sur la disponibilité des nutriments. En revanche, la dissimilarité fonctionnelle n'a pas permis d'observer des effets nets positifs des assemblages sur les autres variables de croissance. Nous supposons qu'une expérimentation plus longue ainsi que la mesure d'autres traits (carbone organique dissous par exemple) permettraient d'observer un d'effet significatif de la dissimilarité fonctionnelle sur les variables de croissance.

Bibliographie

Bertrand, M., & Lumaret, J. P. (1992). The role of Diplopoda litter grazing activity on recycling processes in a Mediterranean climate. *Vegetatio*, *99*(1), 289-297.

Bonkowski, M., Scheu, S., & Schaefer, M. (1998). Interactions of earthworms (Octolasion lacteum), millipedes (Glomeris marginata) and plants (Hordelymus europaeus) in a beechwood on a basalt hill: implications for litter decomposition and soil formation. *Applied Soil Ecology*, *9*(1-3), 161-166.

Botta-Dukát, Z. (2005). Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of vegetation science*, *16*(5), 533-540.

Brenchley, W. E. (1916). The effect of the concentration of the nutrient solution on the growth of barley and wheat in water cultures. *Annals of Botany*, *30*(117), 77-90.

Brodie, Gilianne & Barker, Gary. (2012). Subulina octona (Bruguière, 1789). Family Subulinidae.

Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activityin the drilosphere and the role of interactionswith other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*, *36*(3-4), 177-198.

Chambre d'agriculture martinique. (2018). L'agriculture Martiniquaise en chiffres.

Champion, J. (1963). Le Bananier (Maison neuve & La rose).

Colmet-Daage, F., Bernard, Z., Gautheyrou, J., Gautheyrou, M., Lagache, F., CRECY, J., ... & Pallud, A. (1969). Carte des sols de la Martinique. *BSA, ORSTOM, Pointe-à-Pitre*.

Cortet, J., Joffre, R., Elmholt, S., & Krogh, P. H. (2003). Increasing species and trophic diversity of mesofauna affects fungal biomass, mesofauna community structure and organic matter decomposition processes. *Biology and Fertility of Soils*, *37*(5), 302-312.

Coulis, M. (2013). *Effets des changements climatiques sur l'activité des organismes du sol et la décomposition des litières en milieu méditerranéen* (Doctoral dissertation, Université Montpellier 2).

Coulis, M., Fromin, N., David, J. F., Gavinet, J., Clet, A., Devidal, S., ... & Hättenschwiler, S. (2015). Functional dissimilarity across trophic levels as a driver of soil processes in a Mediterranean decomposer system exposed to two moisture levels. *Oikos*, *124*(10), 1304-1316.

Diaz, S., Settele, J., Brondizio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., & Butchart, S. H. M. (2019). Le rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques. IPBES

Duchaufour, P. (1997). Abrégé de pédologie : Sol, végétation, environnement. Paris : Masson.

Fouré, E., & De Lapeyre de Bellaire, L. (2020). Maladies et ravageurs de la banane.

Frampton, G. K. (2002). Long-term impacts of an organophosphate-based regime of pesticides on field and field-edge Collembola communities. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, *58*(10), 991-1001.

Gessner, M. O., Swan, C. M., Dang, C. K., McKie, B. G., Bardgett, R. D., Wall, D. H., & Hättenschwiler, S. (2010). Diversity meets decomposition. *Trends in ecology & evolution*, *25*(6), 372-380.

Gobbi, N., & Oublié, J. (2020). Tropiques toxiques—Le scandale du chlordécone.

González, E., Landis, D. A., Knapp, M., & Valladares, G. (2020). Forest cover and proximity decrease herbivory and increase crop yield via enhanced natural enemies in soybean fields. *Journal of Applied Ecology*, *57*(11), 2296-2306.

Gowen, S. R. (1995). Pests. In *Bananas and plantains* (pp. 382-402). Springer, Dordrecht.

Griffiths, H. M., Ashton, L. A., Parr, C. L., & Eggleton, P. (2021). The impact of invertebrate decomposers on plants and soil. *New Phytologist*, *231*(6), 2142-2149.

Hassall, M., & Rushton, S. P. (1982). The role of coprophagy in the feeding strategies of terrestrial isopods. *Oecologia*, *53*(3), 374-381.

Hättenschwiler, S., & Bretscher, D. (2001). Isopod effects on decomposition of litter produced under elevated CO2, N deposition and different soil types. *Global Change Biology*, *7*(5), 565-579.

Hauser, S. (1993). Distribution and activity of earthworms and contribution to nutrient recycling in alley cropping. *Biology and Fertility of Soils*, *15*(1), 16-20.

Hector, A. (1998). The effect of diversity on productivity: detecting the role of species complementarity. *Oikos*, *82*(3), 597-599.

Hedde, M., Bureau, F., Akpa-Vinceslas, M., Aubert, M., & Decaëns, T. (2007). Beech leaf degradation in laboratory experiments: effects of eight detritivorous invertebrate species. *Applied soil ecology*, *35*(2), 291-301.

Hedde, M., Bureau, F., Chauvat, M., & Decaëns, T. (2010). Patterns and mechanisms responsible for the relationship between the diversity of litter macro-invertebrates and leaf degradation. *Basic and Applied Ecology*, *11*(1), 35-44.

Heemsbergen, D. A., Berg, M. P., Loreau, M., Van Hal, J. R., Faber, J. H., & Verhoef, H. A. (2004). Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity. *Science*, *306*(5698), 1019-1020.

IORIO, É., & COULIS, M. (2020). Étude des myriapodes de Martinique.

Joergensen, R. G. (2010). Organic matter and micro-organisms in tropical soils. In *Soil biology and agriculture in the tropics* (pp. 17-44). Springer, Berlin, Heidelberg.

Joly, F. X., Coq, S., Coulis, M., Nahmani, J., & Hättenschwiler, S. (2018). Litter conversion into detritivore faeces reshuffles the quality control over C and N dynamics during decomposition. *Functional Ecology*, *32*(11), 2605-2614.

Lassois, L., Busogoro, J. P., & Jijakli, H. (2009). La banane: de son origine à sa commercialisation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, *13*(4).

Lassoudière, A. (2007). *Le bananier et sa culture*. editions Quae.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., & Spain, A. (1993). A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 130-150.

Loreau, M. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos*, *91*(1), 3-17.

Loreau, M., & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, *412*(6842), 72-76.

Naeem, S., Naeem, S., Thompson, L. J., Lawler, S. P., Lawton, J. H., & Woodfin, R. M. (1995). Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *347*(1321), 249-262.

Niinemets, Ü., & Kull, K. (2003). Leaf structure vs. nutrient relationships vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. *Acta Oecologica*, *24*(4), 209-219.

Pelosi, C., Pey, B., Hedde, M., Caro, G., Capowiez, Y., Guernion, M., ... & Cluzeau, D. (2014). Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology*, *83*, 79-87.

Pelosi, C., Pey, B., Hedde, M., Caro, G., Capowiez, Y., Guernion, M., ... & Cluzeau, D. (2014). Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology*, *83*, 79-87.

Pey, B. (2010). *Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des Technosols* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).

Pey, B., Nahmani, J., Auclerc, A., Capowiez, Y., Cluzeau, D., Cortet, J., ... & Hedde, M. (2014). Current use of and future needs for soil invertebrate functional traits in community ecology. *Basic and Applied Ecology*, *15*(3), 194-206.

Resid, C. (2007). La filière banane en Martinique : Etat des lieux et perspective. IEDOM.

Taiti, S., Paoli, P., & Ferrara, F. (1998). MORPHOLOGY, BIOGEOGRAPHY, AND ECOLOGY OF THE FAMILY A RMADILLIDAE (CRUSTACEA, ONISCIDEA). *Israel Journal of Zoology*, *44*(3-4), 291-301.

Thiele-Bruhn, S., Bloem, J., de Vries, F. T., Kalbitz, K., & Wagg, C. (2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *4*(5), 523-528.

Tilman, D., Reich, P. B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., & Lehman, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, *294*(5543), 843-845.

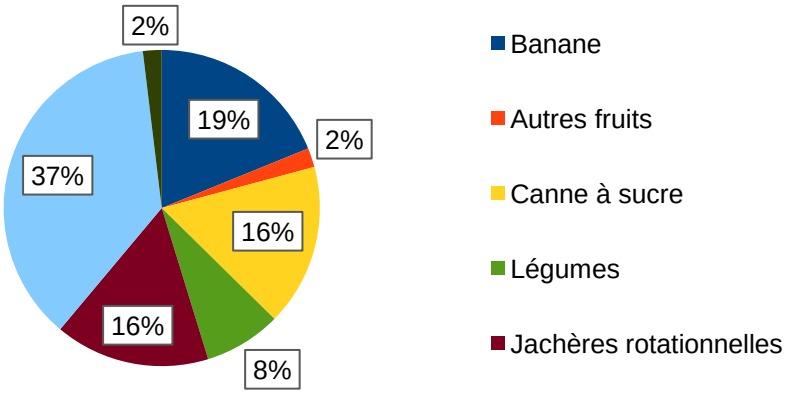
Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, *116*(5), 882-892.

Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & Van Der Heijden, M. G. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(14), 5266-5270.

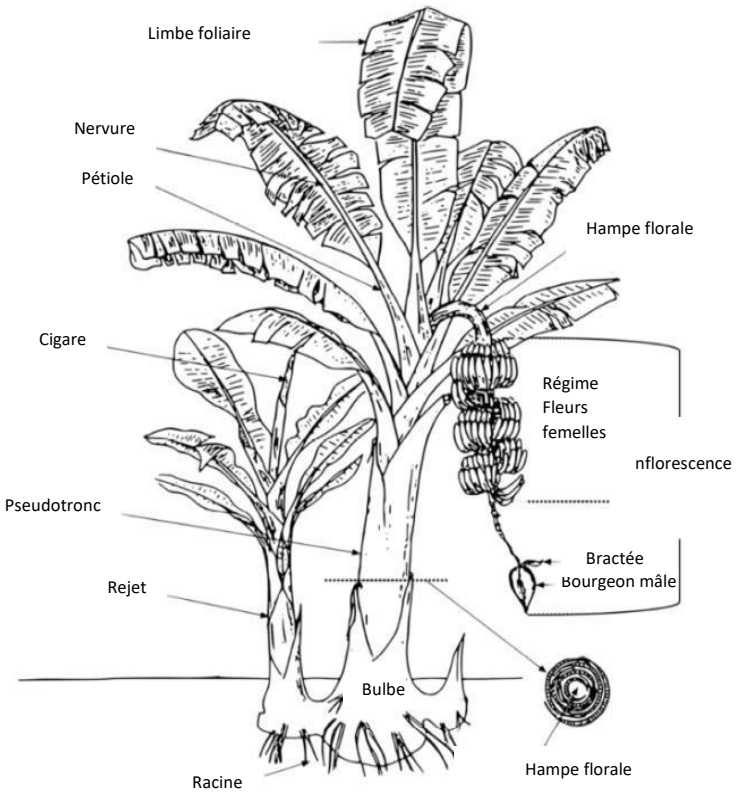
Zheng, Z., Cai, Y., Zhang, Y., Zhao, Y., Gao, Y., Cui, Z., ... & Wang, X. (2021). The effects of C/N (10–25) on the relationship of substrates, metabolites, and microorganisms in “inhibited steady-state” of anaerobic digestion. *Water Research*, *188*, 116466.

Annexes

<u>Annexe 1</u> : Diagramme circulaire de la répartition de la surface agricole utile (SAU) en Martinique (Chambre d'agriculture Martinique, 2018)



<u>Annexe 2 :</u> Anatomie du bananier (Champion, 1963)



Annexe 3 : Tableau présentant les valeurs des traits mesurés sur les 14 espèces d'invertébrés détritivores

Abréviation	Espèce	Taxon	rdm_assim	biomass	tx_conso_when_soil	tx_conso_soil	geophagy
AnM	*Anadenobolus monilicornis*	Diplopode	0,05	0,55	34,10	25,58	0,43
NaG	Nanostreptus geayi	Diplopode	0,38	0,21	12,24	27,70	0,72
AnL	Anadenobolus leucostigma	Diplopode	0,05	0,51	27,91	19,01	0,41
ORL	Orthoporus Rivière L	Diplopode	0,12	1,41	30,42	107,54	0,78
HeG	Helicina guadeloupensis	Gasteropode	0,88	0,14	2,85	7,28	0,78
SuO	Subulina octana	Gasteropode	0,82	0,07	1,11	5,32	0,83
OMR	Orthoporus cavicollis	Diplopode	0,11	2,80	55,92	92,71	0,64
CuM	Cubaris murina	Isopode	0,64	0,02	2,78	10,77	0,79
CIB	Orthoporus cavicollis	Isopode	0,36	0,00	0,85	5,73	0,87
LeS	Leptogoniulus sorornus	Diplopode	0,04	0,31	22,53	23,55	0,51
OrC	Orthomorpha coarctata	Diplopode	0,40	0,04	10,17	36,78	0,79
PoC	Pontoscolex corethrurus	Vers de terre	0,00	0,34	0,48	306,83	1,00
EuE	*Eudrilus eugeniae*	Vers de terre	0,00	0,41	-3,02	124,41	1,02
PeE	Perionyx excavatus	Vers de terre	0,00	0,18	0,26	29,60	0,99

Annexe 4 : Tableau présentant l'ensemble des 32 assemblages possibles avec les 5 espèces selon leur présence / absence (0/1)

Ass.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
AnL	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
AnM	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
CuM	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
EuE	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
SuO	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1

Annexe 5 : Protocole de la pré-expérimentation permettant de choisir le type de sol et la taille des pots

Etape 1 : Préparation du sol

- Aller chercher le sol
- Sécher le sol sur une bâche au soleil
- Casser les agrégats
- Tamiser

Etape 2 : Calcul de la capacité au champ

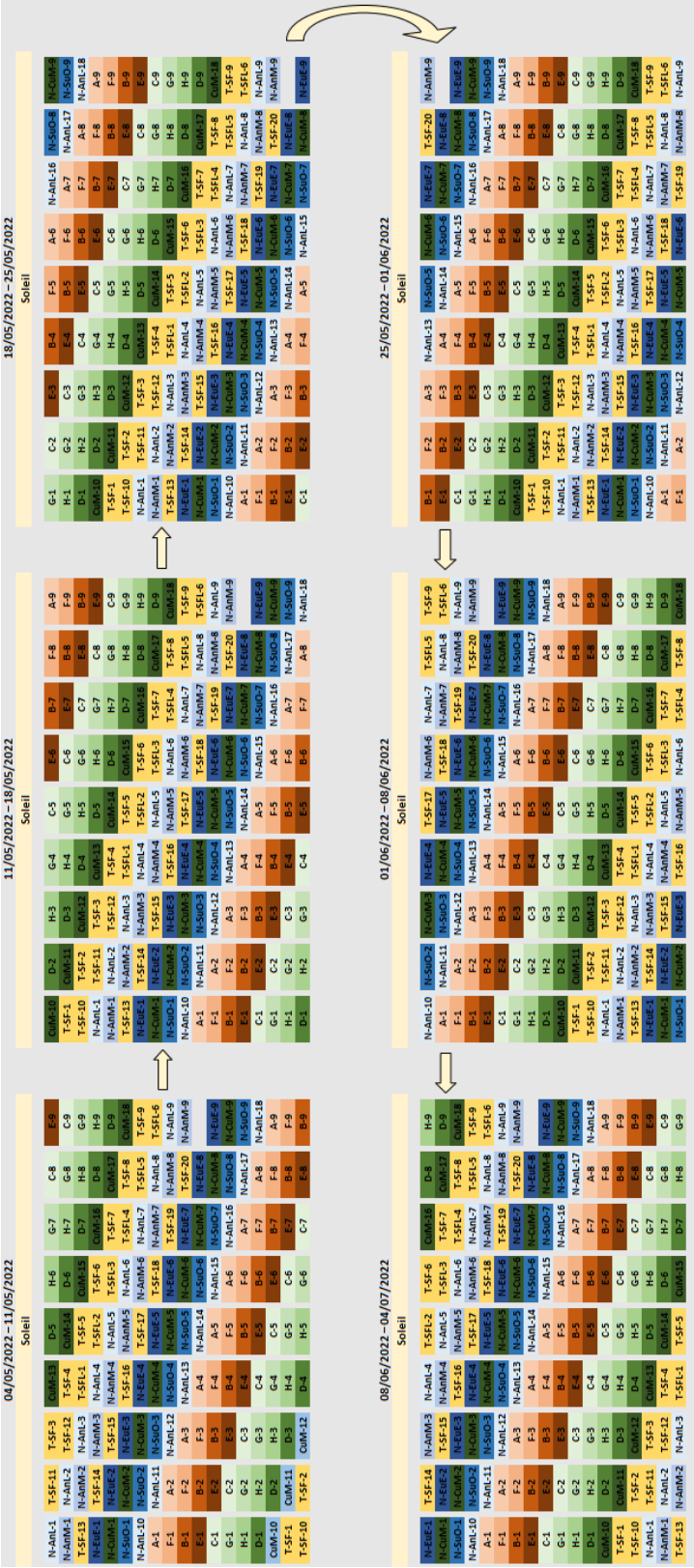
- Mesure de la quantité d'eau résiduelle
    - Prendre une barquette et faire la tare sur une balance
    - Mettre une petite quantité de terre dans la barquette et peser
    - Mettre à l'étuve pendant une journée à 105 °C
    - Peser le poids de la terre après le passage à l'étuve
- Mesure de la capacité au champ

    - Mettre du sol dans 3 pots percé de même taille
    - Ajouter une grande quantité d'eau
    - Laisser l'eau s'écouler pendant 48h
    - Peser un échantillon de terre de chaque pot après homogénéisation
    - Mettre les échantillons à l'étuve à 105 °C
    - Peser les échantillons secs
- Faire des calculs pour obtenir le pourcentage d'eau du sol à capacité au champ

<u>Etape 3 : Préparation des pots</u>

- Mettre les sachets plastiques dans les pots
- Numéroter les pots
- Pour chaque vitroplant (avant de les planter)
    - Enlever toute la terre avec un jet d'eau
    - Couper les racines à 10 cm de longueur
    - Laisser le même nombre de feuille à tous les bananiers
- Pour chaque pot
    - Peser le pot avec le sachet
    - Faire la tare
    - Peser le bananier en le mettant dans le pot
    - Faire la tare
    - Ajouter le sol dans le pot avec le bananier
    - Peser le sol
    - Calculer la quantité d'eau à ajouter pour atteindre la capacité au champ
    - Mesurer la quantité d'eau souhaité et peser l'eau réellement ajouté
    - Mettre l'eau dans le pot
    - Peser le pot entier
- Disposer les pots dans la serre sous l'ombrière en laissant de l'espace entre chaque pot

Annexe 6 : Tableau représentant précisément la disposition des pots dans la serre ainsi que leur rotation lors de l'expérimentation



Annexe 7 : Protocole de l'installation de l'expérimentation

Personne n°1 : Les vitroplants

- Retirer la terre des racines à la main en les trempant dans une bassine
- Couper les racines à 5 cm de longueur
- Laisser 2 feuilles et le cigare à chaque vitroplant

Personne n°2 et 3 : Les pots

- Peser le pot avec le sachet
- Noter la masse
- Faire la tare
- Peser le bananier en le mettant dans le pot
- Noter la masse
- Faire la tare
- Ajouter environ 3040,7 g de terre (3l)
- Noter la masse réellement ajoutée
- Calculer la quantité d'eau à ajouter pour atteindre la capacité au champ (déterminée le jour j)
- Mesurer la quantité d'eau souhaitée dans une éprouvette
- Mettre l'eau dans le pot
- Peser l'eau réellement ajoutée
- Noter la masse réellement ajoutée
- Peser le poids total

Personne n°4 : La navette

Disposer les pots dans la serre sous l'ombrière en suivant le plan qui sera définie

Annexe 8 : Protocole de la désinstallation de l'expérimentation

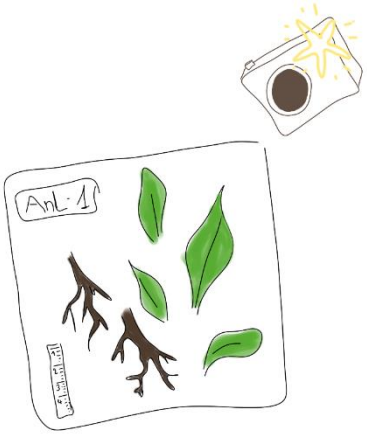
Cette fiche technique décrit les rôles des trois personnes qui vont démonter l'expérience entre le 27 et le 30 juin, les données récoltées serviront ensuite à étudier l'effet de la biodiversité des détritivores sur la croissance du bananier.

Les tâches se font pots par pots et dans cet ordre.

Personne 1

1. Prendre les sachets correspondant au code qui est sur le pot
2. Peser le pot
3. Ouvrir le pot en découpant la moustiquaire au ciseau
4. Mettre **la litière** dans le sachet en papier (code : L …). Récupérer les fragments de litière avec une pince
5. Mettre le sachet de litière dans le bac **LITIERE**
6. Chercher **détritivores** au ras du sol et mettre dans la grande boite
7. Brumiser le couvercle
8. Noter **X** : pour présent, **0** : pour absent, **A** : pour présence d'activité
9. Enlever le sachet du pot et le découper dans un grand bac
10. Isoler deux mottes du sol de surface (=90g) pour **la physique du sol** (sachet zip)
11. Mettre sachet zip dans le bac **PHYSIQUE**
12. Chercher les vers de terre et mettre dans la grande boite si vide. Sinon dans une autre boite avec sopalin humide et code
13. Mettre la boite dans le bac **DETRITIVORE**
14. Effriter le sol dans un autre bac et homogénéiser le tout
15. Isoler petit échantillon pour **microbiologie** (tube)
16. Mettre le tube dans le bac **MICROBIOLOGIE**
17. Isoler 300g de sol pour **analyse chimique** (barquette alu et mettre l'étiquette associée)
18. Mettre la barquette dans le bac **CHIMIE**
19. Verser le sol restant dans une poubelle et passer **le bananier** à Personne 2

Personne 2

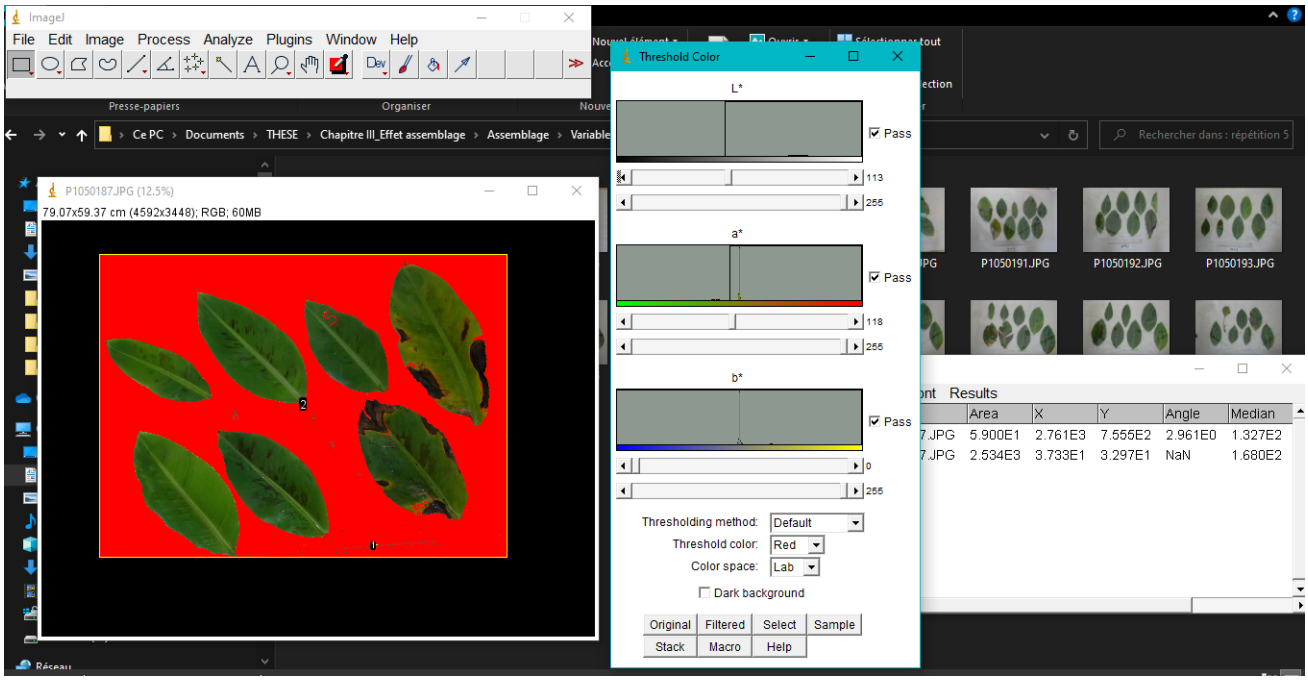


1. Prendre le bac avec **le bananier**
2. Laver **les racines** avec un jet d'eau sur un tamis
3. Découper **les racines et le bulbe** de la **partie aérienne** avec un couteau aiguisé
4. Compter le nombre **des racines primaires** (utiliser un marqueur couleur pour le comptage)
5. Découper **les feuilles** à la base du limbe et mettre dans le sachet en papier (code : F…)
6. Mettre dans le bac **FEUILLE** => donner à personne 3
7. Mettre le pseudotronc dans le sachet en papier (code : P…)
8. Mettre le sachet dans le bac **PSEUDOTRONC**
9. Découper 3 fragments de 15 cm de 3 racines primaires et mettre dans un sachet en plastique humifié (code : RS …)
10. Mettre (avec sachet en papier RS) dans le bac **SCANNER**
11. Découper 5cm de **racines secondaires** et mettre dans le tube Eppendorf étiqueté et alcool 70° pour **les analyses mycorhizes** et remettre dans **la boite à Eppendorf**
12. Mettre **le reste des racines** dans un sachet en papier (code : R …)
13. Mettre dans le bac **RACINE**

Personne JOKER

1. Prendre la sachet (code : F …) de la personne 2
2. Aplatir les feuilles (feuilles et racines) sous plexiglas sur feuille blanche avec la grande étiquette et échelle
3. Prendre une photo (ne pas oublier l'échelle et le code du pot)
4. Remettre les feuilles dans leurs sachets et leur bac
5. Prendre les sachets RS pour scanner les fragments racinaires
6. Ouvrir le logiciel Epson scan sur l'ordinateur
7. Aplatir **les fragments de racine** de façon à ce qu'il n'y ait pas de superposition des racines
8. Scanner les fragments de racines avec leur étiquette et une échelle sur une feuille bleu
9. Enregistrer le scan avec le code dans le dossier : Données > scanne > SRA_Léa.
10. Mettre dans le sachet en papier (code : RS …) et remettre dans le bac **RACINE** au sein des sachets racine
11. Mettre les boites de détritivores à l'étuve dans le laboratoire d'élevage à 25°
12. Mettre les échantillons des bacs **LITIERE, PSEUDOTRONC, RACINE, FEUILLE**, à l'étuve à 65 °C
13. Mettre les échantillons du bac **MICROBIOLOGIE** dans le congélateur (labo microbiologie)
14. Peser les bestioles

Annexe 9 : Capture d'écran de notre utilisation du logiciel ImageJ®



Résumé

Les pratiques agricoles dans les bananeraies de Martinique impliquent une forte utilisation d'intrants chimiques causant une perte de diversité des invertébrés du sol. Ces derniers ont un rôle important dans le recyclage des nutriments et l'amélioration de la structure du sol. La compréhension de leur fonctionnement est donc essentielle pour accompagner la transition agroécologique. Des études montrent qu'une plus grande diversité spécifique dans une communauté n'est pas toujours associée à un meilleur fonctionnement de l'écosystème. En effet, les espèces interagissent différemment entre elles. Il peut en résulter des interactions de compétition, des interactions de complémentarité ou des interactions neutres. La composition fonctionnelle, des assemblages d'espèces, basée sur la mesure des traits semble mieux expliquer le fonctionnement des écosystèmes. Dans cette étude, nous nous intéressons à l'effet de la dissimilarité fonctionnelle dans des assemblages d'espèces d'invertébrés détritivores sur le processus de décomposition de la litière du bananier et la croissance de ce dernier. Nous avons donc sectionné des assemblages d'espèces suivant un gradient de dissimilarité fonctionnelle. Ensuite, nous avons mené une expérimentation en serre pendant deux mois, où chaque assemblage était mis dans un pot avec de la litière et un vitroplant de bananier. Certains pots, servaient de témoins et n'ont pas eu d'invertébrés détritivores le long de l'expérimentation. Nos résultats montrent que tous les assemblages des invertébrés détritivores ont pu augmenter significativement la décomposition de la litière par rapport aux témoins. De plus, certains assemblages ont augmenté la masse aérienne du bananier. Nous avons aussi montré qu'une plus grande diversité spécifique est associée à un effet net négatif des assemblages sur la décomposition de la litière, suggérant l'existence de compétition entre les espèces pour ce processus. Par ailleurs, la dissimilarité fonctionnelle a permis une diminution significative de l'effet net des assemblages sur la masse souterraine. Nous expliquons cela par un investissement moindre de la plante dans son système racinaire, dû à une meilleure disponibilité des nutriments. D'autre part, le maintien de l'expérimentation sur une plus longue durée (> 2 mois) ainsi que la mesure d'autres traits permettraient d'observer des effets significatifs de la dissimilarité fonctionnelle des invertébrés détritivores sur la croissance totale du bananier.

Abstract

In Martinique, the agricultural practices in banana plantations involve a high use of chemical inputs causing diversity loss of soil invertebrates. These invertebrates have an important role in recycling nutrients and improving soil structure. Thus, understanding their functioning is essential to support the agroecological transition. Studies show that greater species diversity in a community is not always associated with a better ecosystem functioning. Indeed, species interact differently among themselves, and it can lead to competition interactions, complementary interactions, or neutral interactions. The functional composition of decomposers species assembly based on the measurement of traits, seems to better explain the functioning of ecosystems. In this study, we are interested in the effect of functional dissimilarity in decomposers invertebrate species assembly on banana litter decomposition processes and its growth. We selected species assemblies along a functional dissimilarity gradient, then we conducted a two-month greenhouse experiment, where each assembly was placed in a pot with litter and a banana plant. Some pots served as control and had no decomposers invertebrates throughout the experiment. Our results show that all decomposes invertebrate assemblies were able to significantly increase litter decomposition. In addition, some assemblies increased the aerial mass of the banana plants. We also showed that greater taxonomic diversity in assemblies was associated with a negative effect on litter decomposition, suggesting competition between species in this process. Furthermore, functional dissimilarity resulted in a significant decrease in the effect of assemblies on the groundmass. We explain this by a lower investment of the plant in its root system, due to a better availability of nutrients. Maintaining the experiment over a longer period (> 2 months), as well as measuring other traits would allow us to observe significant effects of functional dissimilarity of decomposers invertebrates on total banana growth.