



**HAL**  
open science

# Analyse des effets de la biodiversité sur les performances dans les exploitations en polycultures-élevage et en bio/bio-like de Guadeloupe

Hélène Troger

## ► To cite this version:

Hélène Troger. Analyse des effets de la biodiversité sur les performances dans les exploitations en polycultures-élevage et en bio/bio-like de Guadeloupe. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. hal-04725828

**HAL Id: hal-04725828**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04725828v1>**

Submitted on 8 Oct 2024

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

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

Public Domain

Rapport de stage 2<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieur  
Année 2024

Analyse des effets de la biodiversité sur les performances dans  
les exploitations en polycultures-élevage et en bio/bio-like de  
Guadeloupe



**Présenté par Hélène TROGER**

Sous la direction de Nathalie Mandonnet

*INRAE UR ASSET, Petit-Bourg (Guadeloupe)*

## RAPPORT DE STAGE

*(NOM prénom)* : Hélène TROGER

Dans le cadre du stage de **2<sup>e</sup> année** :

Stage effectué du (jj/mm/aa) : 20/05/2024 au 26/07/2024

À : *(Nom et adresse de l'organisme d'accueil)*

Centre INRAE ANTILLES-GUYANE à Petit-Bourg domaine Duclos 97170 Guadeloupe

Sur le thème :

Analyse des effets de la biodiversité sur les performances dans les exploitations en polycultures-élevage et en bio/bio-like de Guadeloupe

Eventuellement, rapport confidentiel :  Date d'expiration de confidentialité : .....

**Enseignant référent responsable** : Solène Pissonnier

**Enseignant référent associé** :

*Dans ce cas fournir un 2<sup>e</sup> exemplaire du rapport*

**Maître de stage** : Nathalie Mandonnet

## Engagement de non-plagiat

### ❶ Principes

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

### ❷ 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.

### ❸ Sanction

En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

### ❹ Engagement

Je soussigné (e) **Hélène TROGER**

reconnais avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non-plagiat.

A **Petit-Bourg** le **16/08/2024**

Signature :



## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier profondément toutes les personnes qui ont rendu ce stage de 4 mois à Petit-Bourg aussi agréable.

Un grand merci à Nathalie Mandonnet pour m'avoir accueillie à l'INRAE Antilles-Guyane. Ta sympathie, tes bons conseils, ta disponibilité et ton encadrement bienveillant m'ont permis de progresser autant sur le plan professionnel que personnel. Ton expertise et tes encouragements ont vraiment été essentiels pour le développement de mes compétences.

Merci aussi à Topia, Chloé et Louise, mes collègues de stage. Travailler avec vous a été un vrai plaisir. On a su échanger nos idées, travailler efficacement et se soutenir mutuellement tout au long de cette aventure tout en installant un environnement de travail agréable. Votre esprit d'équipe et votre enthousiasme ont vraiment contribué à la réussite de cette expérience.

Un grand merci également aux autres stagiaires des Bambous, notamment Emma, Elisabeth et Mathilde, pour les apéros et les week-end détente.

Enfin, un grand merci à Solène Pissonnier pour son soutien constant et ses précieux conseils dans l'amélioration de mon rapport de stage. Vos retours constructifs m'ont été d'une grande aide pour structurer et améliorer mon travail.

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- AB** : Agriculture Biologique
- ACP** : Analyse en Composantes Principales
- ANAP** : National Association of Small Farmers
- CERAFER** : Centre national d'Études Techniques et de Recherches technologiques pour l'Agriculture, la Forêt, et l'Équipement Rural
- CIRAD** : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- ENA** : Ecological Network Analysis
- EPA** : Établissement Public d'Aménagement
- FAO** : Food and Agriculture Organization
- FEADER** : Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural
- FEDER** : Fonds Européen de Développement Régional
- GDA ECO BIO** : Groupement de Développement de L'Agriculture ECOlogique et Biologique de la Guadeloupe
- IBF1** : Indice de Biodiversité de la Faune compagne
- IBF2** : Indice de Biodiversité de la Faune cultivée
- IBT1** : Indice de Biodiversité Totale compagne
- IBT2** : Indice de Biodiversité Totale cultivée
- IBV1** : Indice de Biodiversité Végétale compagne
- IBV2** : Indice de Biodiversité Végétale cultivée
- ICE** : Intégration Culture Élevage
- INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique
- INRAE** : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
- IRSTEA** : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
- MAEC** : Mesures AgroEnvironnementales et Climatiques
- OFB** : Office Française de la Biodiversité
- POSEI** : Programme d'Options spécifiques à l'Éloignement et à l'Insularité
- PDRG** : Programme de Développement Rural de la Guadeloupe
- UA** : Université des Antilles
- UE PEYI** : Unité Expérimentale sur les Agrosystèmes Innovants
- UE PTEA** : Unité Expérimentale Platerforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal
- UICN** : Union Internationale pour la Conservation de la Nature
- UMR ECOFOG** : Unité Mixte de Recherche ÉCOlogie des FORêts de Guyane
- UMR ISYEB** : Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité
- UMRH** : Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores
- UMR SAS** : Unité Mixte de Recherche Sol, Agro et hydrosystème, Spatialisation
- UMR SELMET** : Unité Mixte de Recherche Systèmes d'Élevage MEditerranéens et Tropicaux
- UR ASSET** : Unité de Recherche en Agroécologie, Génétique et Systèmes d'Élevage Tropicaux
- UR ASTRO** : Unité de Recherche AgroSystème TROPicaux

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Introduction.....</b>	<b>1-2</b>
<b>I. Présentation d’INRAE .....</b>	<b>3-5</b>
a. Historique de l’organisme.....	3
b. Organisation de l’institut .....	3
c. Missions d’INRAE .....	4-5
i. Enjeux de l’organisme .....	4
ii. Problématiques du centre Antilles-Guyane de Guadeloupe .....	4
iii. Présentation des unités de recherche du centre .....	4-5
<b>II. Contexte et objectifs de l’étude.....</b>	<b>6-14</b>
a. Quelques informations sur la Guadeloupe .....	6
b. Vue d’ensemble de l’agriculture sur l’archipel .....	6-8
i. Historique agricole.....	6-7
ii. Problématiques agricoles sur le territoire .....	7-8
c. L’agroécologie réponse aux contraintes du milieu.....	8-9
d. Le projet MAKIBIO : Trouver un optimum de multiperformance en faisant varier la biodiversité des exploitations polyculture-élevage.....	9-11
e. Description des indicateurs de biodiversité .....	11
f. Description des performances des systèmes en polyculture-élevage en milieu tropical.....	11-14
<b>III. Matériels et méthodes.....</b>	<b>14-21</b>
a. Choix et description de la zone d’étude .....	14
b. Vue d’ensemble de l’organisation.....	14-15
c. Techniques et outils utilisés.....	15-19
i. Atelier participatif avec les agriculteurs.....	15-16
ii. Conception des indicateurs de biodiversité.....	16-17
iii. Mesure de la biodiversité végétale.....	18

iv. Mesure de la biodiversité animale.....	18-19
v. Conception d'un gradient d'interaction culture-élevage.....	19
d. Analyse des données.....	19-21
i. Évaluation des indicateurs de biodiversité.....	19-20
ii. Analyse des performances des exploitations agricoles.....	20
iii. Étude de l'interaction entre culture et élevage.....	20-21
iv. Comparaison des performances, de la biodiversité et de l'interaction culture-élevage.....	21
<b>IV. Résultats et discussion.....</b>	<b>22-27</b>
a. Influence des pratiques agroécologiques sur la présence des fourmis et de l'orientation des exploitations sur l'usage des arbres.....	22-23
i. Comparaison des parcelles diversifiée et non diversifiée de l'échantillon fourmis.....	22
ii. Comparaison de l'utilisation des arbres par les agriculteurs.....	23
b. Comparaison des performances agroécologiques et économiques avec la biodiversité des exploitations.....	24-26
c. Evolution des performances agroécologiques des exploitations en fonction de leur diversité cultivée.....	26-27
i. Dépendance et productivité de l'exploitation.....	26
ii. Efficience et résilience.....	26-27
iii. Influence de la biodiversité sur l'intégration culture élevage.....	27
<b>Conclusion.....</b>	<b>28-29</b>



## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de l'Archipel de Guadeloupe avec localisation des domaines INRAE.....	1
Figure 2 : Unités INRAE Antilles Guyane impliquées dans le projet Makibio.....	2
Figure 3 : Organigramme de l'Unité de Recherche ASSET-UR 0143 .....	2
Figure 4 : Carte de Guadeloupe avec la moyenne annuelle des cumuls pluviométriques dans la période 1991/2020 .....	3
Figure 5 : Répartition des types de sols en Guadeloupe.....	3
Figure 6 : Carte de Guadeloupe montrant la répartition des types d'agriculture et du nombre d'exploitations.....	4
Figure 7 : Schéma Fonctionnel du projet Makibio.....	5
Figure 8 : Carte de l'Archipel de Guadeloupe avec localisation des exploitations enquêtées.....	6
Figure 9 : Photo de l'atelier MAKIBIO du 30 mai 2024.....	7
Figure 10 : Photo du tableau de bord constitué lors de l'atelier avec les agriculteurs.....	7
Figure 11 : Schéma de la méthode d'échantillonnage des placettes pour identification et comptage des adventices.....	8
Figure 12 : Exemple d'un échantillonnage d'adventice.....	8
Figure 13 : Schéma de la méthode d'échantillonnage des vers de terre.....	9
Figure 14 : Corrélation entre les différentes utilisations des arbres par les agriculteurs.....	13
Figure 15 : Analyse en Composantes Principales des exploitations en fonction des usages des arbres.....	13
Figure 16 : Répartition des agriculteurs selon leur utilisation des arbres.....	13
Figure 17 : Corrélation entre les performances et la biodiversité des exploitations.....	14
Figure 18 : Analyse en Composantes Principales des exploitations en fonction des performances et de la biodiversité.....	14
Figure 19 : Répartition des exploitations selon leurs performances.....	15
Figure 20 : Évolution de la dépendance aux flux d'azote entrants et de la productivité en fonction de l'IBT2.....	15
Figure 21 : Courbe de tendance de l'efficacité et de la résilience de l'exploitation en fonction de l'IBT2.....	16
Figure 22 : Courbe de tendance de l'ICE totale des exploitations en fonction de l'IBT2.....	16

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Indices de biodiversité des exploitations échantillonnées.....	10
Tableau 2 : Performances et index de biodiversité totale.....	11
Tableau 3 : Comparaison des moyennes des échantillons entre parcelle diversifiée et non diversifiée.....	12

## RESUMÉ

Devant les nombreux défis auxquels l'agriculture en Guadeloupe doit faire face, le projet MAKIBIO a pour objectif d'évaluer les performances multiples des agroécosystèmes bio et bio-like. Son objectif est de comprendre les effets de la diversification et du niveau d'intégration entre culture et élevage, afin de déterminer un optimum et de proposer un tableau de bord pour suivre les évolutions des exploitations enquêtées. De plus, ce projet s'intéresse à l'importance de la biodiversité cultivée et compagne sur la résilience de l'exploitation face aux aléas. Les résultats obtenus montrent que la biodiversité compagne peut avoir un effet positif à court terme sur les performances économiques, bien que cet effet ne soit pas significatif sur les performances agroécologiques. En revanche, la biodiversité cultivée influence positivement la résilience des exploitations, sans pour autant avoir un effet sur les autres performances agroécologiques ou économiques. De plus, nous avons observé que la biodiversité cultivée renforce l'interaction culture-élevage. Cependant, les résultats ne sont pas suffisamment significatifs pour apporter une réponse claire à la problématique et identifier un optimum de performances. Afin d'approfondir l'étude, il serait pertinent de réaliser cette étude sur un échantillon plus large et sur une plus grande durée. Cela permettrait de préciser les résultats obtenus et de mieux comprendre l'impact de la biodiversité cultivée et compagne sur les performances agroécologique et économiques des exploitations agricoles en polyculture-élevage.

## RESUME

Given the many challenges that agriculture in Guadeloupe faces, the MAKIBIO project aims to evaluate the performance of organic and organic-like agroecosystems. Its goal is to understand the effects of diversification and the level of integration between crops and livestock, in order to determine an optimal approach and create a dashboard to monitor the progress of the surveyed farms. Additionally, the project looks at the importance of cultivated and natural biodiversity on the resilience of farms to unexpected events. The results show that natural biodiversity can have a short-term positive effect on economic performance, though it does not significantly impact agroecological performance. However, cultivated biodiversity positively influences farm resilience, without affecting other agroecological or economic outcomes. Moreover, we observed that cultivated biodiversity strengthens crop-livestock interactions. Still, the results are not significant enough to provide a clear answer or identify an optimal level of performance. To further the study, it would be useful to conduct research on a larger sample over a longer period. This would help clarify the results and better understand the impact of cultivated and natural biodiversity on the agroecological and economic performance of mixed crop-livestock farms.

## Introduction

L'agriculture contemporaine est confrontée à des défis sans précédent, au premier rang desquels se place le changement climatique. Ce phénomène global influence directement sur les conditions de production et donc notre capacité à nourrir le monde. C'est pourquoi les agriculteurs doivent développer des stratégies d'adaptation et d'atténuation afin de garantir la pérennité de leurs exploitations. Bien que ce phénomène soit mondial, certaines régions du monde sont plus à même de subir ce dérèglement. En effet, la Guadeloupe, en particulier, est une région où ces enjeux sont particulièrement aigus. En raison de son insularité et sa situation géographique comprise entre le tropique du Cancer et de l'équateur, l'archipel est soumis à un climat tropical de plus en plus contraignant. Les agriculteurs guadeloupéens doivent non seulement faire face à des températures élevées et des précipitations irrégulières, mais aussi à une fréquence accrue d'événements climatiques extrêmes tels que les cyclones. Ces conditions posent des défis supplémentaires pour la production agricole locale, rendant impératif le développement de pratiques agricoles innovantes favorisant la résilience. Le changement climatique n'est pas la seule contrainte à laquelle doivent faire face les exploitations agricoles, en effet, la globalisation des marchés, la récente pandémie, les mobilisations sociales et d'autres, sont autant de défis à relever pour assurer la souveraineté alimentaire de la Guadeloupe. L'accompagnement des agriculteurs et la mise en place d'indicateurs de résilience sont essentiels pour comprendre et mettre en œuvre des solutions efficaces et durables dans le temps.

Ainsi, il est crucial pour la Guadeloupe de s'engager résolument dans la transition vers une agriculture durable, capable de surmonter les défis auxquels elle est confrontée. Cette transformation nécessite des efforts à tous les niveaux, tant au niveau local que global, pour promouvoir des pratiques agricoles qui assurent la sécurité alimentaire et le développement économique de l'archipel tout en préservant son environnement.

Des pistes de solutions existent déjà à travers le monde. Par exemple, l'agriculture biologique, qui s'est développée partout, y compris en Guadeloupe, ces dernières années. Cependant, aujourd'hui son expansion stagne par manque de valorisation et de soutien de cette filière. On constate alors un réel enjeu dans la préservation de ces pratiques agroécologiques plus respectueuses de l'environnement.

Afin de répondre à la nécessité de développer des systèmes agricoles capables de surmonter ces défis, le projet INRAE MAKIBIO a été lancé en janvier 2024 en Guadeloupe. Ce projet mobilise plusieurs unités d'INRAE de Guadeloupe, notamment l'UR ASSET, l'UR ASTRO et l'UE PEYI, ainsi que l'Université des Antilles. L'objectif du projet est d'évaluer la multi-performance des agroécosystèmes bio et bio-like en Guadeloupe, en fonction de l'intégration culture-élevage et de leur biodiversité. Le but de MAKIBIO est de réaliser des enquêtes afin de :

- Tester les effets d'une diversification et d'un niveau d'intégration culture-élevage (ICE) croissant pour déterminer s'il en existe un optimum,
- Proposer un tableau de bord robuste permettant de suivre les trajectoires de ces exploitations, y compris après la fin du projet,
- Quantifier l'importance de la biodiversité cultivée et élevée pour la résilience du système aux aléas climatiques, sanitaires et du marché,
- Contribuer à la compréhension des mécanismes de compromis entre ICE et biodiversité cultivée.

Dans le cadre de mon stage de deuxième année en école d'ingénieur agronome, j'ai eu l'opportunité de contribuer au projet. La problématique de mon stage portait sur l'analyse des effets de la biodiversité cultivée sur les performances dans les exploitations en polycultures-élevages en bio/bio-like de Guadeloupe. L'hypothèse de départ était que les pratiques en intégration culture-élevage et une biodiversité agronomique accrue favorisent la présence de biodiversité spontanée au sein des exploitations, et que la biodiversité globale améliore leurs performances. L'objectif pour moi était d'analyser les performances agroécologiques des exploitations en fonction de leur biodiversité agronomique afin de mettre en évidence un éventuel optimum. Afin de mieux comprendre ces objectifs, je vais d'abord présenter l'organisme à l'initiative du projet, puis contextualiser l'étude en exposant ses objectifs généraux. Ensuite, je décrirai la méthodologie et le matériel utilisés pour atteindre ces objectifs. Enfin, je discuterai des résultats obtenus, ainsi que des avantages de la biodiversité observés et des questions soulevées au cours de cette recherche.

# **I. Présentation d'INRAE**

## **a. Historique de l'organisme**

INRAE, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement résulte de la fusion de l'INRA et l'IRSTEA, en 2021. L'INRA a été créé suite à la loi du 18 mai 1946. À cette époque, c'était un établissement à caractère administratif. Puis, pendant quelques dizaines d'année, les droits de l'INRA ont évolué jusqu'en 1984 où il est devenu un établissement public à caractère scientifique et technologique. Concernant l'IRSTEA, l'Institut a vu le jour en 1971 sous le nom de CERAFER, qui était une structure dirigeant des études dans de nombreux domaines comme l'agriculture de montagne, les innovations techniques ainsi que l'utilisation ou la maîtrise de l'eau. Ce n'est qu'à partir de 1986, lors d'un changement de nom (Établissement public à caractère administratif, EPA) que l'Institut est devenu un établissement public à caractère scientifique et technologique, mais pour une meilleure visibilité il devint en 2012 l'IRSTEA.

## **b. Organisation de l'institut**

En France, il existe dix-huit centres INRAE et 14 départements de recherche, ce qui représente plus de 8 413 agents titulaires et 3110 agents contractuels. Le centre Antilles-Guyane, installé depuis 1949 est implanté à deux endroits, en Guadeloupe et en Guyane. INRAE de Guadeloupe comporte 3 sites (figure 1) :

- Domaine Duclos à Petit-Bourg
- Domaine de Gobet à Petit-Canal
- Domaine de Gardel au Moule

J'ai réalisé mon stage à INRAE de Guadeloupe situé à Petit-Bourg. Ce centre comptabilise 170 agents titulaires INRAE et 25 agents contractuels INRAE. Ces équipes permettent à INRAE Antilles-Guyane d'afficher 39 conventions de partenariat dont 6 avec l'Europe, 1 brevet et 2 licences en cours, ainsi qu'environ 50 articles de rang A/an.



Figure 1 : Carte de l'Archipel de Guadeloupe avec localisation des domaines INRAE

## **c. Missions d'INRAE**

### **i. Enjeux de l'organisme**

Les principaux enjeux INRAE sont liés au changement climatique, à l'augmentation de la population, à la raréfaction des ressources ainsi qu'au déclin de la biodiversité végétale ou animale. Ces enjeux fixent les lignes directrices des projets de recherche. En effet, il y a une volonté de transformation de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement de la part de l'organisme pour la France et le monde entier, en favorisant une agriculture bas-carbone et une économie circulaire avec une alimentation de qualité et durable tout en préservant l'environnement. Pour accomplir ces missions, INRAE au niveau des centres est structuré en différentes unités, comprenant les unités de recherche responsables des programmes scientifiques, les unités expérimentales qui conduisent les projets de recherche expérimentaux, ainsi que les services déconcentrés de soutien à la recherche qui appuient les unités administrativement.

### **ii. Problématique du centre Antilles-Guyane de Guadeloupe**

Le centre INRAE Antilles-Guyane se penche sur diverses questions agro-environnementales spécifiques aux régions tropicales insulaires et continentales. Cet organisme participe à des consortiums multidisciplinaires qui s'attaquent aux défis régionaux liés à la sécurité alimentaire et environnementale, en employant une approche de recherche novatrice. La vulnérabilité des écosystèmes tropicaux rend ces zones idéales pour étudier les changements globaux et promouvoir une agriculture agroécologique durable et productive. De plus, en accueillant des doctorants et post-doctorants, le centre joue un rôle essentiel dans la formation des jeunes chercheurs de la région Caraïbe et intertropicale.

### **iii. Présentation des unités de recherche du centre Guadeloupe**

Le centre de Guadeloupe abrite quatre unités distinctes : deux unités de recherche et deux unités expérimentales. Les unités de recherche comprennent un pôle végétal constitué de l'UR ASTRO (AgroSystèmes Tropicaux) et de l'UE PEYI (Unité Expérimentale sur les Agrosystèmes Innovants) qui travaillent sur les moyens d'innover pour la compréhension et le renforcement de la résilience des systèmes agricoles et alimentaires tropicaux, favorisant leur transition agro-écologique, tout en caractérisant les ressources génétiques végétales et en étudiant le comportement des espèces sous contraintes. Ainsi qu'un pôle animal contenant l'UR ASSET



(Agroécologie, Génétique et Systèmes d'Élevage Tropicaux), et l'UE PTEA (Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal) qui apportent des compétences en production animale et en méthodologie d'expérimentation, au service de trois programmes de recherche : l'adaptation des animaux aux contraintes d'élevage, l'évaluation multicritère des ressources végétales fourragères, classiques ou non conventionnelles, et l'évaluation zootechnique, agronomique et environnementale des systèmes d'élevage (figure 2).

L'unité de recherche ASSET dans laquelle j'ai réalisé mon stage, est dirigée par Jean-Christophe Bambou. On retrouve dans cette équipe deux grandes thématiques, la Résilience des Animaux pour des Systèmes d'Élevage tropicaux efficients à laquelle contribue ma maître de stage Nathalie Mandonnet et dans laquelle j'ai été accueillie pour mon stage, ainsi que l'Optimisation multicritères de fonctions pour l'efficacité des systèmes d'élevage tropicaux (figure 3).

Après avoir présenté les missions et les spécialisations du centre de Guadeloupe, nous pouvons maintenant nous pencher sur le contexte agricole spécifique de cette région. Cette perspective nous permettra d'introduire le projet MAKIBIO, une initiative innovante qui s'inscrit dans les recherches en cours et qui vise à répondre aux défis locaux tout en promouvant une agriculture durable et adaptative.

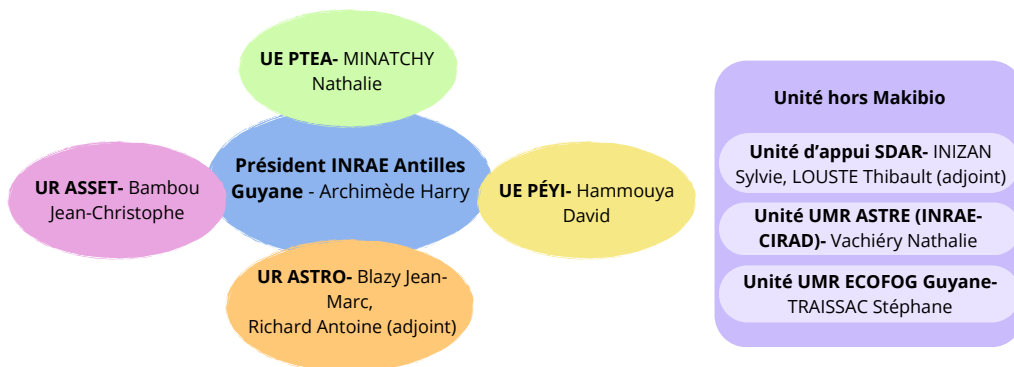


Figure 2 : Unités INRAE Antilles Guyane impliquées dans le projet Makibio

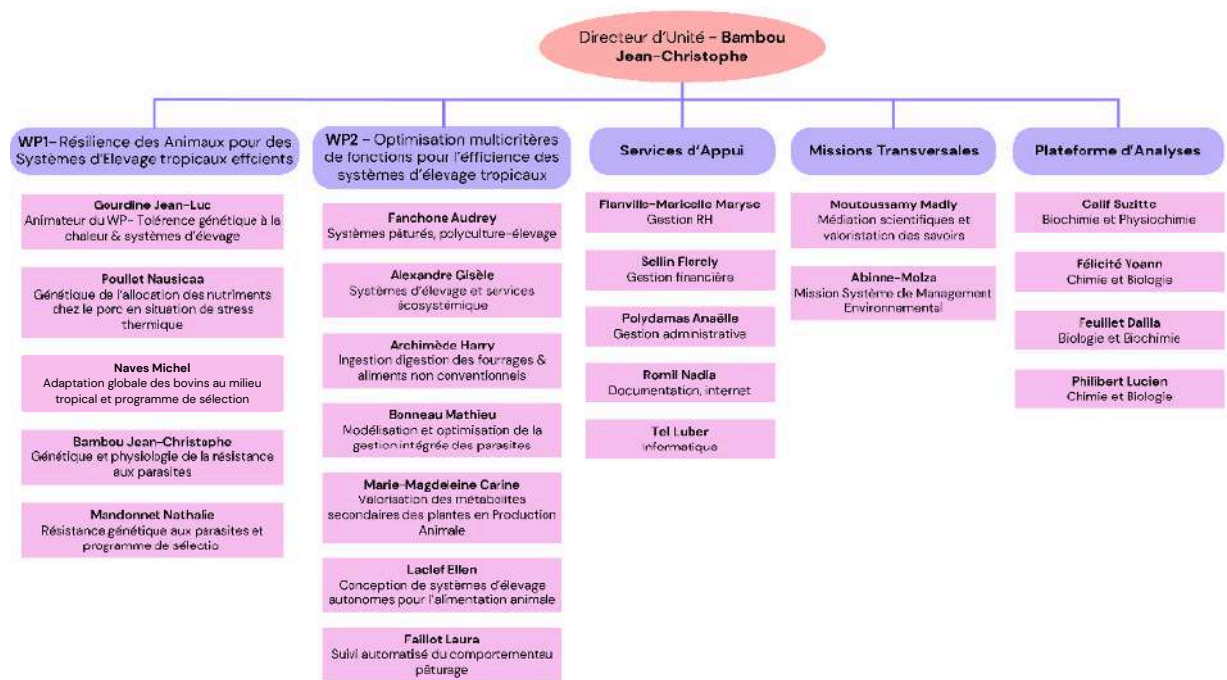


Figure 3 : Organigramme de l'Unité de Recherche ASSET-UR 0143

## II. Contexte et objectifs de l'étude

### a. Quelques informations sur la Guadeloupe

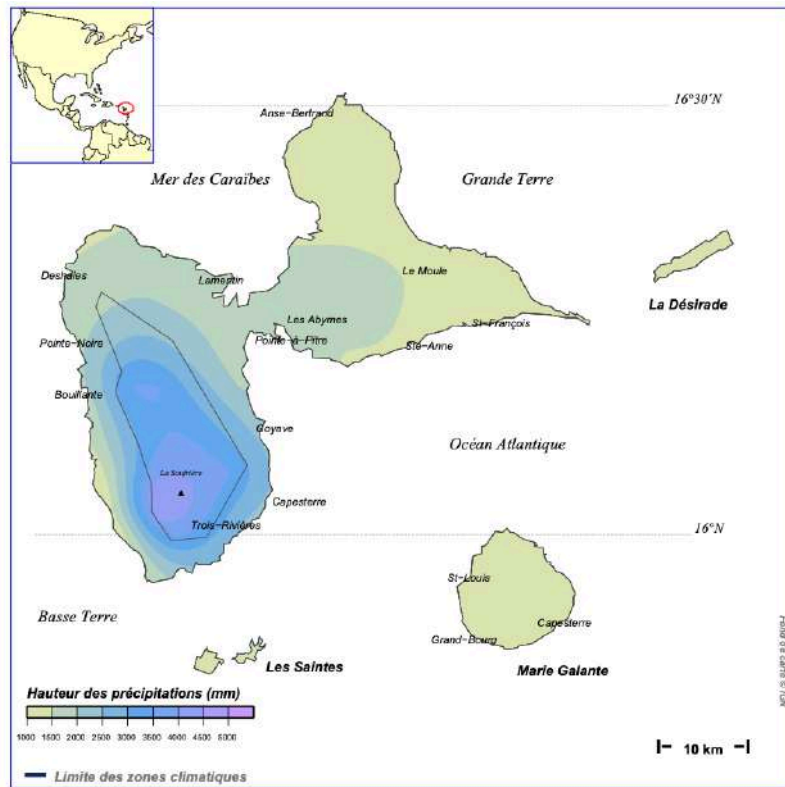
La Guadeloupe est un archipel situé dans la Caraïbe. C'est un département français d'Outre-Mer composé de 7 îles. Une partie principale en forme de papillon constituée de Grande-Terre et Basse-Terre séparées par « la Rivière Salée », la Désirade et Petite-Terre au Nord-Est de Grande-Terre, et les Saintes et Marie-Galante situées au Sud Sud-Ouest de Basse-Terre (Figure 4). La population de la Guadeloupe compte 384 315 habitants (INSEE, chiffres 2021). Seulement 3 % des habitants travaillent dans le secteur agricole. Les secteurs employant le plus de personnes sont le commerce, le transport et les services divers, représentant 44 % des salariés.

En ce qui concerne le climat, l'archipel bénéficie d'un climat tropical. On distingue une saison sèche, appelée le carême, de janvier à juin, et une saison humide, appelée l'hivernage, de juillet à décembre. Le climat tropical de l'archipel s'accompagne de températures relativement élevées tout au long de l'année, variant de 23°C à 32°C, avec une moyenne de 27°C. Une autre caractéristique de cette région est la pluviométrie inégale entre les îles. La Grande-Terre, plateau calcaire, reçoit peu de pluies, 1 000 mm à 1 500 mm par an en moyenne. A contrario, Basse-Terre, zone montagneuse volcanique, reçoit des précipitations annuelles importantes allant de 1 500 mm à plus de 5 000 mm en moyenne (figure 4). Enfin, en Guadeloupe on observe une grande diversité d'exploitations avec des contextes pédoclimatiques très variés, l'archipel présentant une grande diversité de types de sols entre Grande-Terre et Basse-Terre. On trouve des sols sur pyroclastites andésitiques, principalement des ferralsols à halloysite friables en Basse-Terre, et des sols sur substrat de calcaire corallien, principalement des calcisols peu profonds, sur Grande-Terre (figure 5). Par ailleurs, les prix des espaces agricoles varient entre les deux zones, avec des terrains ayant une valeur vénale plus élevée en Grande-Terre qu'en Basse-Terre.

### b. Vue d'ensemble de l'agriculture sur l'archipel

#### i. Historique agricole

L'histoire de l'agriculture guadeloupéenne est marquée par une évolution profonde depuis le siècle dernier, influencée par des facteurs socio-économiques et environnementaux. En effet, l'époque coloniale a fortement imprégné l'économie agricole de l'île, qui était alors dominée par les cultures de canne à sucre. Après l'abolition de l'esclavage, les structures agricoles ont

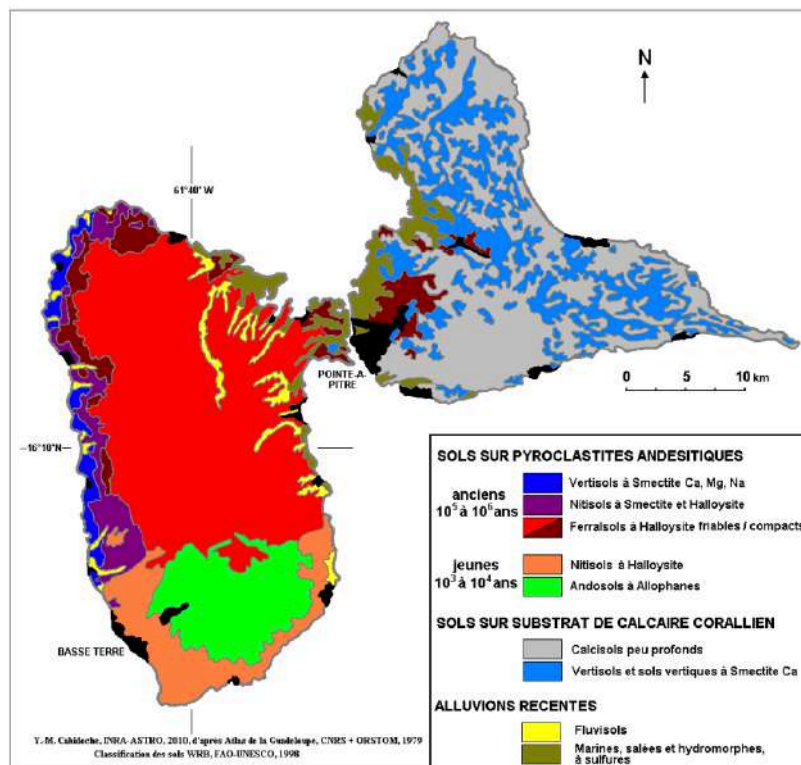


N.B.: La réutilisation non commerciale de ce produit est autorisée, à condition qu'il ne soit pas altéré, et que sa source: METEO-FRANCE ainsi que sa date d'édition soient mentionnées.

Edition du 07/10/2022

Source: <http://pluiesextremes.meteo.fr> Email: pluiesextremes@meteo.fr

Figure 4 : Carte de Guadeloupe avec la moyenne annuelle des cumuls pluviométriques dans la période 1991/2020



Y.M. Cahillache, INRA-ASTRO, 2010, d'après Atlas de la Guadeloupe, CNRS + ORSTOM, 1979  
Classification des sols WRB, FAO-UNESCO, 1998

Figure 5 : Répartition des types de sols en Guadeloupe

évolué, et la production de banane s'est développée, faisant de cette dernière la principale production d'exportation aujourd'hui, bien que la canne à sucre soit encore très présente également pour l'exportation. La Guadeloupe produit en plus une grande diversité de cultures pour la population locale. On y trouve des cultures maraîchères, des fruits (manguier, de goyavier, d'avocatier) ainsi que du cacao, des plantes à tubercules appelés racines, ainsi que des plantes aromatiques et médicinales (figure 6). Ces cultures s'étalent sur l'ensemble de la Guadeloupe sur une surface agricole utilisée de 3 911 ha (Agreste-Mémento, 2022).

Lors du dernier recensement agricole de 2020, l'agriculture occupait 28% des terres de la Guadeloupe, soit plus de 31 800 hectares de surface agricole répartie entre 7 254 exploitations agricoles (figure 6). Ces exploitations sont majoritairement de petites tailles, souvent appelées micro-fermes car elles possèdent en moyenne 2,4 ha de terres arables. En 2020, les micro-fermes représentaient 6 064 exploitations (Agreste-Recensements agricoles, 2020) soit plus de 80% des exploitations agricoles.

## **ii. Problématiques agricoles sur le territoire**

Bien que l'agriculture guadeloupéenne soit prometteuse, elle doit faire face à des problématiques liées notamment à son histoire, comme par exemple la contamination des sols par le chlordécone, un pesticide utilisé dans les bananeraies jusque dans les années 1990. Étant très persistant, l'eau et les sols sont encore contaminés aujourd'hui ce qui impacte les cultures et les productions animales, car on ne peut pas cultiver sur certaines parcelles.

Une autre problématique qui se pose de façon aigüe dans cet espace insulaire est la difficulté d'obtenir du foncier, du fait de l'urbanisation croissante ce qui constitue un obstacle à l'installation des jeunes. Ce frein explique aussi l'augmentation de la moyenne d'âge des exploitants agricoles. En effet, l'âge moyen d'un agriculteur est passé de 51ans en 2010 à 55 ans en 2020, et pose problème du renouvellement des générations dans le secteur agricole.

Enfin, bien que l'agriculture biologique connaisse une crise en France métropolitaine, la Guadeloupe connaît une croissance exponentielle de l'AB depuis 2019, avec 40 exploitations nouvellement certifiées en 2019, puis 79 en 2020 et 44 en 2021, ce qui l'a placé en 2022 comme première région de France en termes de taux de conversion. En effet, les exploitations en agriculture biologique ont reçu un appui technique lors de la création du GDA Eco Bio en 1996, qui a mis en place une plateforme d'échange et des ateliers aux agriculteurs de la région.

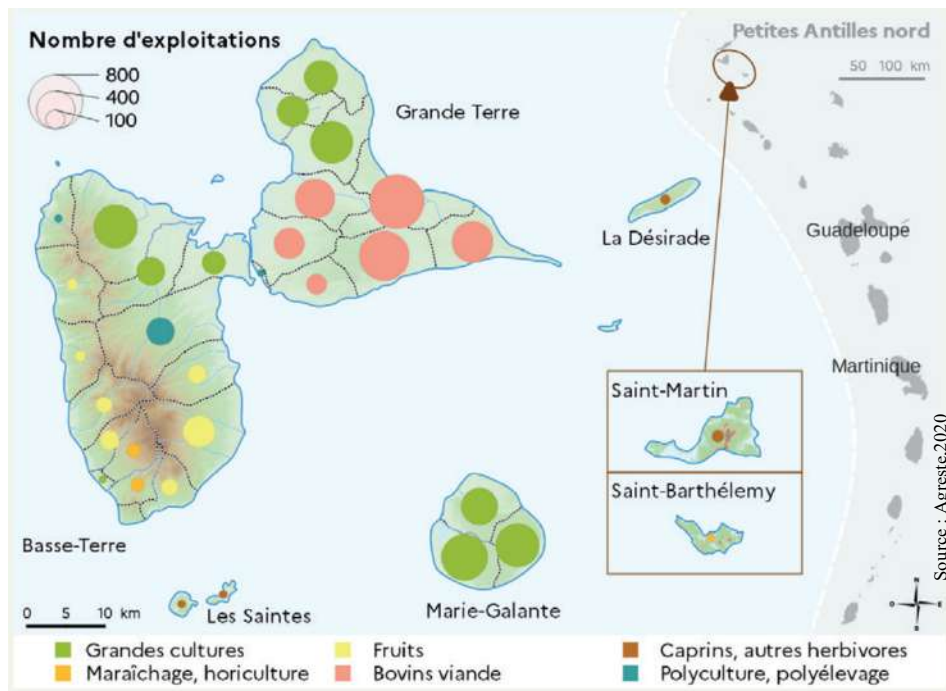


Figure 6 : Carte de Guadeloupe montrant la répartition des types d'agriculture et du nombre d'exploitations

Cependant, la production animale a du mal à se développer en raison du coût élevé de l'alimentation en agriculture biologique, et seulement 11 % des exploitations agricoles en AB possèdent des animaux.

Les différentes contraintes auxquelles l'agriculture est confrontée en Guadeloupe plaident pour plus de résilience notamment grâce l'adoption de nouvelles pratiques agroécologiques, inspirées des savoir-faire paysans présents sur le territoire.

### **c. L'agroécologie, réponse aux contraintes du milieu**

L'origine de l'agroécologie remonte dans les années 1970 dans les terres tropicales de la région de Tabasco au Mexique qui cherchaient à résister à l'arrivée de la « révolution verte ». Cette pratique est une approche de l'agriculture et de l'environnement qui cherche à optimiser les écosystèmes pour une production agricole durable, réduisant ainsi les impacts environnementaux (comme les émissions de gaz à effet de serre et l'usage de produits phytosanitaires) tout en préservant les ressources naturelles. Cette approche prend en compte l'exploitation dans son ensemble, en passant des performances économiques aux performances environnementales. En plus de cette approche scientifique et technique, l'agroécologie se décline également en mouvement politique « campesinos ». En effet, les systèmes en agroécologie intègrent un plan social juste et constituent la base d'une stratégie de souveraineté énergétique, productive et alimentaire (Altieri 1995, Gliessman 1998). Ces pratiques visent à transformer l'agriculture d'aujourd'hui, dépendante des énergies fossiles, et des intrants agrochimiques vers un système qui encourage les productions locales, des exploitations à taille humaine et l'énergie solaire afin de stopper ces dépendances (Altieri and Toledo, 2011). Une enquête réalisée à Cuba après l'ouragan Ike de 2008, a montré que les agriculteurs en diversification avaient subi 50% de pertes par rapport à 90 ou 100% de pertes pour les exploitations en monoculture voisines (Machin-Sosa et al. 2010). Cuba a mis en place une nouvelle agriculture cubaine afin de devenir autosuffisante, pour cela de nombreux sujets de recherche se sont tournés vers l'agroécologie ainsi que des agriculteurs de l'ANAP (National Association of Small Farmers) qui se sont convertis vers des pratiques agroécologiques (Altieri and Toledo, 2011).

Quant à la Guadeloupe, appartenant à l'un des « 34 points chauds » de la Biodiversité mondiale d'après UICN, a mis en place depuis 2020 des initiatives de réflexion autour de la modernisation des systèmes agricoles vers l'agroécologie et la bioéconomie sous la forme d'un Plan



stratégique régional pour une transition agroécologique foncière. Ce plan s'organise autour de trois axes :

- Accompagner des systèmes agroécologiques viables économiquement
- Permettre l'accessibilité au foncier pour des systèmes agroécologiques
- Garantir la diffusion, la formation et l'innovation au service d'une transition agroécologique

Pour faciliter cette transition, des aides existent pour les agriculteurs à l'échelle régionale, nationale et européenne. Au niveau régional, un dispositif financier pour les productions agroécologiques de petites échelles sont présentes avec en plus une offre d'assistance technique, administrative et comptable afin d'avoir une visibilité sur la faisabilité des projets. À l'échelle nationale et européenne trois aides existent : POSEI qui a pour objectif d'améliorer la compétitivité économique et technique des filières agricoles, en tenant compte de multiples critères notamment les conditions climatiques difficiles par exemple, FEADER est un autre type d'aide qui vise à améliorer l'accessibilité des petites exploitations aux dispositifs d'investissement, l'efficacité des MAEC et ainsi optimiser les mesures de diversification non agricole et les dispositifs forestiers, enfin le PLAN ECOPHYTO est une aide qui permet de suivre l'impact de la sortie du glyphosate et de développer des réseaux d'expérimentation et de capitalisation.

#### **d. Le projet MAKIBIO : Trouver un optimum de multiperformance en faisant varier la biodiversité des exploitations polyculture-élevage**

Le projet MAKIBIO (Métaprogramme Métabio INRAE) se déroule de janvier 2024 à janvier 2025. Il vise à développer et promouvoir des pratiques agroécologiques variées pour augmenter leur adoption par les agriculteurs. Ce projet, est coordonné par Nathalie Mandonnet de l'UR ASSET et Bernard Dumont de l'UMRH, et se concentre sur les petites exploitations familiales afin d'intégrer des pratiques agroécologiques dans leurs systèmes mixtes tropicaux. Il s'inscrit dans la continuité du PDRG de 2014 et du Plan Stratégique Régional de Transition Agroécologique de 2020, qui était axé sur les innovations biotechniques et qui se concentre désormais sur la définition des conditions de transition vers des systèmes agroécologiques. Pour cela, différents outils ont été suggérés afin de mesurer la multiperformance des systèmes agroécologiques dans leurs divers aspects (durabilité économique, biodiversité, changement climatique atténuation et résilience/adaptation, résilience socio-économique...) et de comparer les systèmes entre eux et dans leurs trajectoires (Hill, 1985 ; FAO, 2018 ; Mottet et al. 2020).



Les principes agroécologiques énoncés dans la Déclaration de Nyéléni (2015) et le Haut Conseil d'experts de la FAO sont utilisés dans ces outils. Cette réflexion est prolongée par le projet européen Agroecology-TRANSECT, auquel contribuent plusieurs participants du parcours MAKIBIO et qui propose des indicateurs de biodiversité, d'adaptation aux effets du changement climatique ainsi que sur la résilience socio-économique des exploitations en agroécologie.

Le projet MAKIBIO rassemble un consortium de seize chercheurs INRAE et de deux enseignantes chercheuses de l'Université des Antilles.

MAKIBIO a pour ambition de se déployer sur 30 exploitations en polyculture-élevage et en agriculture biologique en Guadeloupe, en partenariat avec le GDA ECO BIO et des fermes pilotes en agroécologie de INRAE. Cette initiative vise à explorer le potentiel de l'intégration culture-élevage dans le but de promouvoir l'élevage biologique dans les départements et régions d'Outre-Mer. Le projet MAKIBIO va proposer un tableau de bord afin de suivre les trajectoires des exploitations. L'un des défis majeurs est de développer des outils et des indicateurs économiques, environnementaux et sociaux adaptés aux exploitations familiales, afin de soutenir efficacement la transition agroécologique (figure 7).

Les résultats attendus pour ce projet comprennent la démonstration empirique de l'existence d'un optimum d'intégration culture élevage et de biodiversité cultivée. Le projet vise également à mettre en évidence des compromis/tensions entre intégration culture-élevage, et la biodiversité cultivée. Pour cela, des indicateurs globaux d'ICE, de biodiversité cultivée sont élaborés. De plus, une base de données partagée sera constituée.

Dans le cadre de ce projet, ma mission principale a été de répondre à la problématique suivante : « Existe-il un optimum des performances agroécologiques et économiques des exploitations en polyculture-élevage, dépendant du niveau de biodiversité cultivée et compagne en Guadeloupe ? ». Afin de répondre à cette problématique le stage comprenait un temps d'enquêtes pour collecter les données chez les exploitants agricoles bio et bio-like, c'est-à-dire ceux pratiquant l'agriculture biologique ou ayant des pratiques agroécologiques sans certification bio.

Après les enquêtes, une phase d'organisation des données sur la biodiversité et les performances des exploitations a été réalisée, suivie de l'analyse des données collectées.

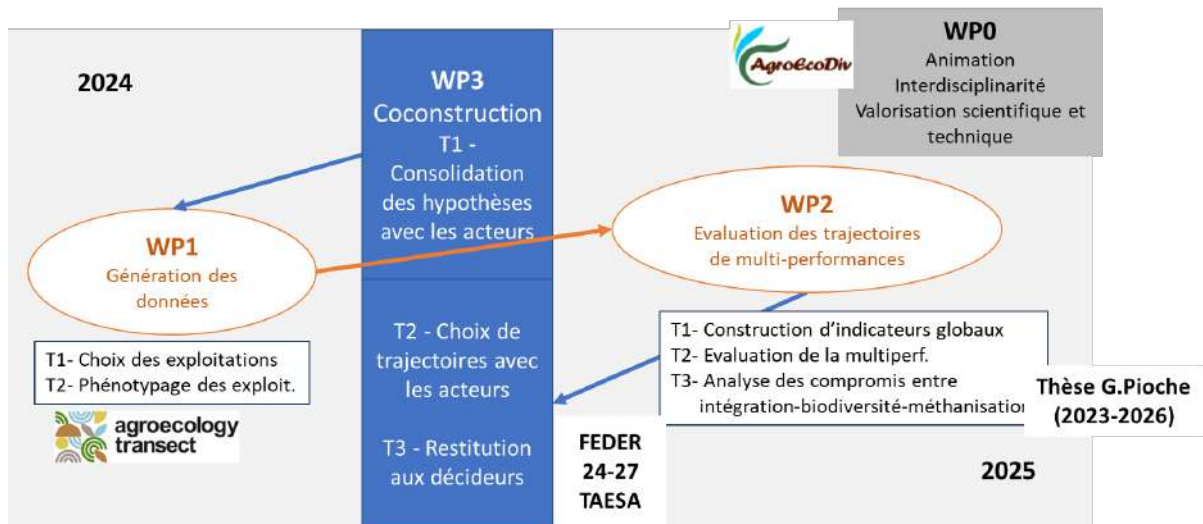


Figure 7 : Schéma Fonctionnel du projet Makibio

Afin d'obtenir ces résultats, le stage que j'ai réalisé a permis de recueillir un certain nombre de données concernant l'aspect biodiversité dans les exploitations en ICE. Nous allons maintenant nous intéresser aux méthodes employées pour générer ces données.

### e. Description des indicateurs de biodiversité

La biodiversité se mesure en calculant la diversité spécifique, c'est-à-dire la variété des espèces présentes dans un écosystème donné. Pour ce faire, plusieurs indices existent, chacun apportant une perspective différente sur la composition et l'équilibre de cette diversité. En effet, nous avons tout d'abord l'indice de Shannon qui prend en compte à la fois la richesse des espèces (le nombre total d'espèces) et l'abondance relative de chacune d'elle. Cet indice est particulièrement utile pour mesurer la diversité dans des écosystèmes où certaines espèces peuvent être rares mais néanmoins significatives pour l'équilibre global. L'indice de Shannon se calcule avec la formule suivante :  $H = -\sum p_i \ln(p_i)$  avec  $p_i$  la fréquence des espèces correspondant à  $n_i / N$  qui est l'abondance proportionnelle d'importance de l'espèce ;  $n_i$  est le nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon et  $N$  est le nombre total d'individus dans l'échantillon. L'indice varie de 0 à  $\ln(S)$  ou  $S$  est le nombre d'espèces.

Ensuite, l'indice de Simpson met davantage l'accent sur la dominance des espèces. Il est sensible aux variations dans l'abondance des espèces les plus communes et est souvent utilisé pour évaluer la probabilité que deux individus choisis au hasard appartiennent à la même espèce. Cet indice varie de 0 à 1, plus il se rapproche de 1 moins il y a une probabilité de rencontrer deux individus de la même espèce, ce qui montre une plus grande diversité. Pour calculer cet indice on utilise la formule suivante :  $1 - D = 1 - \sum_{i=1}^n [n_i(n_i - 1)] / [N(N - 1)]$ .

Enfin, l'indice de Hill fusionne les avantages des indices de Shannon et de Simpson en fournissant une série de mesure de la diversité qui tiennent compte à la fois de la richesse spécifique et de l'équité des espèces présentes. L'indice de Hill est calculé avec la formule suivante :  $Hill = \frac{D^{-1}}{e^H}$  avec  $e^H$  l'exponentiel de l'indice de Shannon et  $D^{-1}$  l'inverse de l'indice de Simpson.

### f. Description des performances des systèmes en polyculture-élevage en milieu tropical

Un système en polyculture-élevage est un système qui produit des cultures et de l'élevage dans un cadre coordonné, le plus souvent à l'échelle de l'exploitation mais aussi à l'échelle régionale

(van Keulen et Schiere, 2004). Dans de nombreux systèmes mixtes les sous-produits des compartiments sont utilisés comme ressource pour un autre, ce qui est considéré comme interaction culture-élevage. Plusieurs définitions de cette interaction sont possibles, telle que celle proposée par Séré et al. (1996) pour qui les systèmes en interaction culture élevage sont : « des systèmes d'élevage dans lesquels plus de 10% de la matière sèche utilisée pour l'alimentation animale provient de co-produits végétaux de l'exploitation, et où plus de 10% de la valeur produite provient d'activités agricoles autres que l'élevage ». De plus, l'interaction culture-élevage peut être considérée à différentes échelles : la parcelle, l'exploitation, le territoire ou même une filière (Moraine et al., 2017). Dans ce projet, nous nous concentrons sur l'échelle de l'exploitation et de la parcelle. Afin d'évaluer l'intensité d'interaction, nous avons construit un gradient d'interaction afin de classer les exploitations enquêtées. Puis nous avons calculer des indicateurs de performances pour chacune d'elle. Pour cela nous avons utilisé la méthode ENA ( Ecological Network Analysis ) proposée dans une des publications sur l'étude des systèmes polyculture élevage en Guadeloupe (Stark et al.,2010).

Cette méthode consiste à évaluer les performances de l'exploitation en convertissant l'ensemble des données récoltées en flux d'azote. Les flux sont additionnés en fonction de leur nature, c'est-à-dire des flux entrants ou sortants des compartiments de production. Puis une matrice par exploitation est construite afin de voir l'ensemble des flux d'azote entre chaque type de production avec la quantité d'azote qui sort et qui entre dans chacun d'eux. Ensuite, avec cette matrice, on calcule les indicateurs qui nous intéressent afin d'évaluer les performances de l'exploitation. Ici nous utilisons quatre indicateurs de performance issus de la méthode ENA : la productivité des flux, la dépendance, l'efficacité et la résilience de l'exploitation. Les définitions de ces indicateurs sont issues de la thèse de Stark et al. (2010).

**La productivité des flux d'azote (P)** se définit comme la quantité de biens et de services produits par unité de production. Dans ce contexte, elle est mesurée par le rapport entre les flux sortants et le total des flux entrants dans l'exploitation. La formule utilisée pour calculer cette productivité est la suivante :  $P = \frac{1}{TST} - \sum_{i=1}^n Y_{0i}$  avec TST le total des flux intrants et  $Y_{0i}$  les flux sortants d'un compartiment.

**La dépendance** consiste à mesurer la quantité de flux externe nécessaire au bon fonctionnement de l'exploitation. Pour cela on somme l'ensemble des flux entrants dans le système puis on le ramène à l'hectare pour la comparaison entre les systèmes, avec la formule suivante : Dépendance =  $\sum_{i=1}^n Z_{i0}$  avec  $Z_{i0}$  les flux entrants dans l'exploitation

**L'efficience (Eff)** mesure le rapport entre les flux entrants et sortants au sein des compartiments de l'exploitation. Lorsque ces flux sont exprimés pour un nutriment ou une source d'énergie, ce rapport constitue un indicateur classique de l'efficacité de l'utilisation des nutriments ou de l'énergie, que ce soit au niveau de la ferme ou à l'échelle nationale (van Bruchem et al., 1999).

La formule utilisée est la suivante :  $Eff = \frac{P}{SS}$

**La résilience** représente la capacité du système à face aux aléas potentiels (Darnhofer et al., 2010a). Ces perturbations peuvent être d'ordre économique, climatique ou social, ce qui complique la mesure de la résilience. Ici, nous utilisons le concept proposé par Ulanowicz, qui utilise les notions de capacité de développement (C), d'ascendance (A) et de surcharge (S), représentées par les formules suivantes :

$C = -\sum_{i,j} T_{ij} \log\left(\frac{T_{ij}}{T}\right)$      $A = \sum_{i,j} T_{ij} \log\left(\frac{T_{ij}T_{...}}{T_i T_j}\right)$      $\phi = -\sum_{i,j} T_{ij} \log\left(\frac{T_{ij}^2}{T_i T_j}\right)$  avec  $T_i$  Flux entrant total pour le compartiment i et  $T_j$  Flux sortant total pour le compartiment j.

Les performances économiques de l'exploitation sont analysées d'une autre manière. En effet, les données économiques recueillies lors des enquêtes sont utilisées pour calculer divers indicateurs issus de la publication de Selbonne et al. (2023) sur la mesure des performances des exploitations :

- **La marge brute** est un indicateur économique qui évalue la performance par unité de surface de la ferme, en tenant compte de la surface agricole disponible et de son potentiel de création d'emplois. Le coût d'investissement comprend le coût de la main-d'œuvre, en soustrayant le salaire du travail familial du produit brut. La marge brute est calculée en €/ha/an grâce à la formule suivante :  $Marge\ brute = \frac{Produit\ brut + Subventions - Coûts\ variables}{Ta}$  avec le produit brut qui correspond aux produits commercialisés (€/an), les coûts variables qui correspondent à la main d'œuvre, carburant, engrais, etc.(€/an) Ainsi que  $Ta$  la superficie totale de l'exploitation (ha)
- **Le revenu net** permet de déterminer le montant final que l'exploitation gagne après avoir soustrait toutes les dépenses, charges et taxes des revenus bruts. En d'autres termes, il représente le bénéfice net de l'entreprise. Il se calcule en euros par an à l'aide de la formule suivante :

$$Revenu\ net = marge\ brute - amortissement - charges\ fixes - impôts$$

- **La productivité du travail** est un indicateur qui mesure l'efficacité du travail d'un ménage en se fondant sur la marge brute, en prenant en compte les coûts de main-d'œuvre, y compris celle des membres de la famille, ainsi que le taux horaire minimum en vigueur

dans la région d'étude. Il fournit aussi des informations sur l'efficacité technique, l'attractivité du système, et les conditions de travail. Il est exprimé en €/h et se calcule selon la formule suivante :  $Productivité\ du\ travail = \frac{Marge\ brute}{Main\ d'oeuvre}$  avec la main d'œuvre en h/an et la marge brute en €/an

- **L'autonomie** est un indicateur qui évalue la dépendance des agriculteurs aux subventions publiques. Si ces aides peuvent parfois favoriser l'emploi, la plupart des études les associent à des effets négatifs tels que l'exode rural, l'impact environnemental et l'efficacité technique, avec des répercussions sur la sécurité alimentaire. Il est donc essentiel de comprendre cette dépendance pour analyser son interaction avec la durabilité des systèmes agricoles. L'autonomie est calculée en pourcentage avec la formule suivante :  
 $Autonomie = \frac{(Revenu - Subventions)}{Revenu} \times 100$

### III. Matériels et méthodes

Pour faire les enquêtes, nous étions trois stagiaires, un stagiaire de Master 2 s'est concentré sur les aspects de performances c'est-à-dire du guide d'enquête et deux stagiaires (dont moi) s'intéressaient plus à la biodiversité et ses mesures sur le terrain. La répartition des rôles a été faite au début du stage. Selon les accords avec les responsables du projet, chaque enquête consistait en une demi-journée de travail avec l'agriculteur, suivie de l'enquête proprement dite durant l'après-midi. La méthode mise en place vise à faciliter les échanges avec l'agriculteur tout en offrant un service mutuellement bénéfique, afin d'éviter que celui-ci ne perde du temps. Ces enquêtes se sont déroulées sur une période de deux mois, de juin à août 2024.

#### a. Choix et description de la zone d'étude

Les enquêtes ont été réalisées sur l'ensemble de la Guadeloupe sans chercher un échantillon représentatif de la répartition des fermes en polyculture-élevage. On cherche une diversité des pratiques et des opinions. Nous avons mené nos enquêtes dans des exploitations agricoles à Petit-Bourg, au Lamentin, à Sainte-Rose, qui se situent en Basse Terre ainsi qu'en Grande Terre, à Sainte-Anne et aux Abymes (figure 8).

#### b. Vue d'ensemble de l'organisation

L'étude porte sur l'analyse de l'influence de la biodiversité cultivée sur les multiperformances des exploitations en fonction de l'intensité de l'interaction culture-élevage dans celles-ci. Afin d'obtenir les données nécessaires pour cette analyse, nous avons réalisé une dizaine d'enquêtes

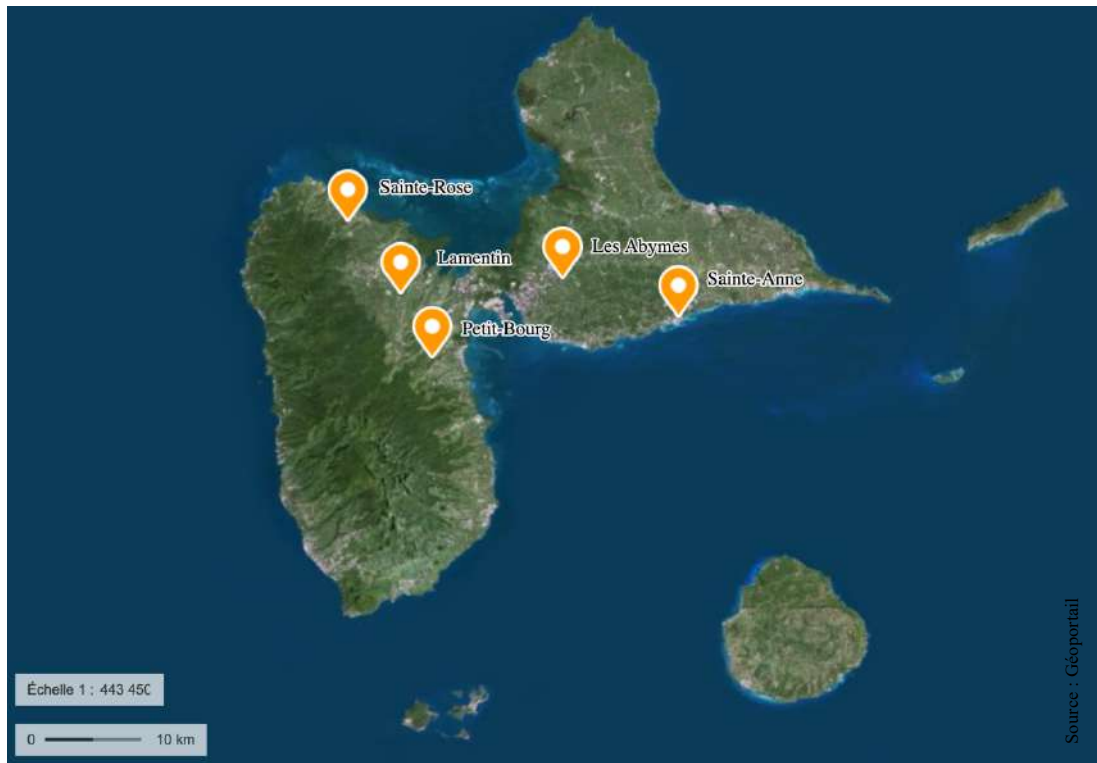


Figure 8 : Carte de l'Archipel de Guadeloupe avec localisation des exploitations enquêtées

chez des agriculteurs. Les exploitations enquêtées étaient toutes en agriculture biologique ou pratiquaient l'agroécologie, conformément aux objectifs du projet MAKIBIO. En amont de celles-ci, un guide d'enquête a été élaboré ainsi que des protocoles destinés à la collecte des données sur la biodiversité. Pour cela il a fallu évaluer l'intensité d'intégration dans les exploitations, mettre en place des indicateurs de biodiversité et évaluer les performances des exploitations. La biodiversité se définit d'après l'OFB comme ceci : « La biodiversité désigne l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent. Ce terme comprend également les interactions des espèces entre elles et avec leurs milieux ». Ce concept n'est apparu que dans les années 1980. La convention sur la diversité biologique signée lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro (1992) reconnaît pour la première fois l'importance de la conservation de la biodiversité pour l'ensemble de l'humanité. La biodiversité comprend plusieurs catégories au sein d'une exploitation. En effet, on retrouve la biodiversité cultivée (les animaux de rente, les plantes cultivées) que nous allons étudier ici, la biodiversité para-agricole (les espèces auxiliaires et les ravageurs) ainsi que la biodiversité extra-agricole qui est sauvage et spontanée (MAAP, MNHN, 2009) que nous étudions aussi et que l'on va appeler biodiversité compagne. Cette biodiversité fournit divers services écosystémiques tels que l'approvisionnement, la régulation, la culture et le soutien.

### **c. Techniques et outils utilisés**

#### **i. Atelier participatif avec les agriculteurs**

Nous avons collaboré avec le GDA ECO BIO qui nous a fourni des contacts d'agriculteurs ayant des pratiques bio ou en agroécologie et qui faisaient de l'intégration culture-élevage de façon plus ou moins intense. De plus, nous avons contacté des agriculteurs travaillant déjà avec INRAE. Pour faciliter le contact avec les agriculteurs et leur proposer de s'impliquer dans le projet MAKIBIO, un atelier a eu lieu le 30 mai. Lors de cet atelier, 8 exploitants se sont présentés sur une cinquantaine contactée (figure 9). L'atelier avait pour objectif d'initier une réflexion collective avec les agriculteurs afin de codéfinir des indicateurs de performances écologiques des exploitations agricoles, dans toutes leurs dimensions économiques, sociales et environnementales. Pour cela, un tableau de bord a été réalisé pour rendre compte de la diversité des performances des exploitations (figure 10). À la fin de l'atelier des rendez-vous pour les enquêtes ont été pris ce qui nous a permis d'avoir nos premiers rendez-vous.

Mon rôle dans cet atelier a consisté à plusieurs tâches de la mise en place à la restitution. Tout d'abord, j'ai pris contact avec les agriculteurs afin de les inviter à participer à l'atelier, puis le



jour de l'événement, j'ai assuré leur accueil. Pendant l'atelier, j'ai été chargé de prendre des notes des discussions entre les agriculteurs, en particulier lors des réflexions autour de la création du tableau de bord. Ce tableau de bord a été construit autour de 13 axes de performances établis avant l'atelier qui a été complété par un 14<sup>ième</sup> axe lors de l'atelier. Les axes de performances déjà identifiés sont les suivants : le recyclage, la réduction des intrants, la santé du sol, la biodiversité, la synergie, la diversification économique, la cocréation des savoirs, les valeurs sociales, la connectivité, la gouvernance des terres et des ressources naturelles ainsi que la participation. Un nouvel axe a été ajouté, portant sur la transmission en agriculture. Les agriculteurs ont exprimé leur difficulté à convaincre les jeunes actifs de rejoindre le secteur agricole et souhaitent rendre cette profession plus attrayante pour les générations futures. Suite à l'atelier, j'ai rédigé un compte rendu pour le site internet de INRAE. Cet atelier m'a donné un premier regard sur les problématiques agricoles en Guadeloupe. Il m'a permis d'identifier les indicateurs de performance les plus importants pour les agriculteurs et d'obtenir des contacts, ainsi que de planifier des rendez-vous pour les enquêtes à venir.

## **ii. Conception des indicateurs de biodiversité**

Un guide a été structuré en plusieurs parties afin de recueillir des informations sur le foncier, les productions animales et végétales, les aspects sociaux, la valorisation des produits, ainsi que la vision des agriculteurs sur le changement climatique. La constitution des protocoles et le choix des indicateurs de biodiversité compagne ont été effectués en binôme. Nous avons sélectionné les indicateurs en fonction de leur faisabilité sur le terrain, du contexte pédoclimatique du territoire, ainsi que du temps nécessaire pour leur échantillonnage et analyses. Sept indicateurs de biodiversité compagne ont été retenus pour l'étude : les arbres, les adventices, les vers de terre, les fourmis, les nématodes du sol, les micro-organismes et la matière organique. Les protocoles pour leur mise en œuvre ont été élaborés à partir de la littérature scientifique et avec l'aide des chercheurs du projet spécialiste de ces domaines. Ces indicateurs ont été choisis pour les raisons suivantes :

- Les arbres sont des protecteurs de la biodiversité, ils protègent les cultures du vent, sont un habitat pour la faune. De plus, les arbres contribuent à l'amélioration de la santé du sol en ajoutant de la matière organique, en stabilisant le sol avec leurs racines et en favorisant le développement des micro-organismes et des champignons.



Figure 9 : Photo de l'atelier MAKIBIO du 30 mai 2024

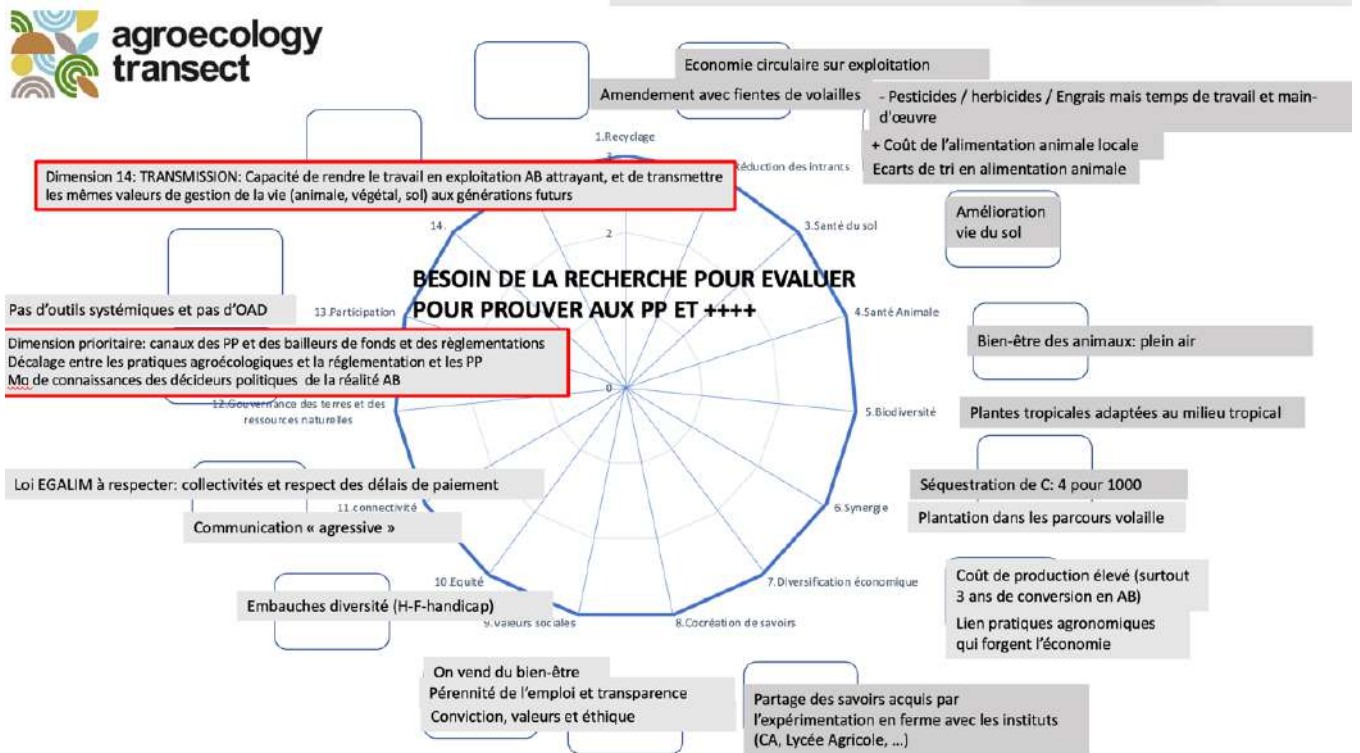


Figure 10 : Photo du tableau de bord constitué lors de l'atelier avec les agriculteurs

- Les adventices, souvent considérées comme de « mauvaises herbes » sont de bons indicateurs de biodiversité car elles favorisent le contrôle des ravageurs des cultures, la fertilité du sol et des fonctions associées aux cycles du Carbone, de l'azote, et du phosphore ainsi que la pollinisation (Sabrina S et al., 2015).
- Les vers de terre sont des indicateurs importants de la fertilité du sol, de l'évaluation des pratiques agricoles et du contrôle de la contamination des sols (Paoletti, 1999).
- Les fourmis jouent un rôle crucial dans l'aération du sol et agissent comme décomposeurs en se nourrissant de déchets organiques, d'insectes et d'autres animaux. Elles contribuent également à la dispersion des graines, favorisant ainsi la régénération des plantes. De plus, leur activité de creusement améliore la structure du sol, facilitant l'infiltration de l'eau et augmentant la disponibilité des nutriments pour les plantes.
- Les nématodes libres sont des bio-indicateurs de la santé du sol, leur abondance permet de caractériser le niveau d'activité biologique du sol. Ces nématodes participent à la décomposition de la matière organique et au recyclage des nutriments en interagissant avec les racines des plantes et les microorganismes (Elisol, 2019).
- Le carbone actif constitue la fraction labile de la matière organique du sol. Il se dégrade rapidement et est consommé par les microorganismes. L'analyse du carbone actif du sol permet de diagnostiquer les problèmes de productivité et de fertilité (AgroEnviroLab, 2016). Quant aux microorganismes du sol, ils sont de bons indicateurs de biodiversité puisqu'ils contribuent à la dégradation de la matière organique.

Les échantillons ont été prélevés ou observés sur deux parcelles dans chaque exploitation pour pouvoir évaluer un gradient qui soit le plus indépendant possible de particularités propres à chacune des fermes. Le principe du choix des parcelles a d'abord été défini avec les participants du projet : une parcelle témoin présentant le moins d'interaction culture-élevage et une parcelle caractérisée par une plus grande diversité et des interactions maximales entre culture et élevage. Le nombre d'échantillons et la technique de prélèvement utilisée est défini pour chaque protocole lié au critère mesuré.

La mesure de la biodiversité cultivée a été réalisée à l'aide du guide d'entretien employé par le stagiaire de Master 2. L'objectif était de recenser tous les ateliers existants, en précisant pour chacun le nombre d'espèces présentes ainsi que le nombre d'animaux ou la quantité de cultures pour chaque type de production.

### **iii. Mesure de la biodiversité végétale**

La biodiversité végétale est évaluée en fonction de la présence des adventices sur la parcelle témoin et la parcelle diversifiée ainsi que de la biodiversité des arbres. Pour échantillonner la diversité végétale, nous avons utilisé un quadrat de 1m<sup>2</sup> afin de délimiter la zone d'échantillonnage, puis nous avons pris en photo les zones d'études avec un zoom identique. L'identification des adventices a été réalisée par la chercheuse experte.

Pour chacune des parcelles, nous avons réalisé entre quatre et cinq photos : trois photos sur la longueur de la parcelle à une distance de 5 mètres, éloignées de la bordure, et plusieurs photos de la bordure en fonction de la diversité des adventices présentes (figure 11 et 12). Les zones échantillonnées ont été choisies aléatoirement. Les espèces présentes à l'intérieur du quadrat sont identifiées à l'aide des chercheurs de l'UR ASTRO puis quantifiées. Par la suite, les données ont été saisies dans un fichier Excel, puis nous avons utilisé des indices de diversité pour calculer la diversité végétale dans chacune des exploitations.

L'échantillonnage des arbres est réalisé avec l'agriculteur, sous la forme d'un questionnaire afin d'avoir le nombre d'arbres, les espèces ainsi que leurs utilisations (autoconsommations, bois, vente des fruits...). Nous avons aussi utilisé des indices de diversité pour mettre en avant cet indicateur et nous avons étudié les corrélations entre les différentes utilisations et les espèces.

Enfin, les protocoles réalisés comprenaient une partie questionnaire qui permettait de recueillir la perception de l'agriculteur sur la biodiversité végétale. Le questionnaire dédié aux adventices comportait cinq questions sur les bénéfices et les contraintes des adventices, avec des réponses sous forme d'échelle de 1 à 5. Ensuite, une section demandait de classer les différents bénéfices et contraintes des adventices pour les agriculteurs. Enfin, la dernière partie consistait à évaluer, sur les parcelles diversifiées et témoins, la présence d'insectes et de maladies sur les adventices, grâce à des intervalles de notation, mais aussi des questions sur les pratiques culturales réalisées sur les parcelles échantillonnées. Un questionnaire similaire a été utilisé pour les arbres qui comportait plus de questions concernant la perception de l'agriculteur sur la biodiversité et sans l'évaluation de la présence d'insectes et de maladies et des pratiques culturales.

### **iv. Mesure de la biodiversité animale**

La biodiversité animale est mesurée à l'aide d'indicateurs tels que les vers de terre, les fourmis et les nématodes, pour lesquels nous avons réalisé des prélèvements sur les deux parcelles

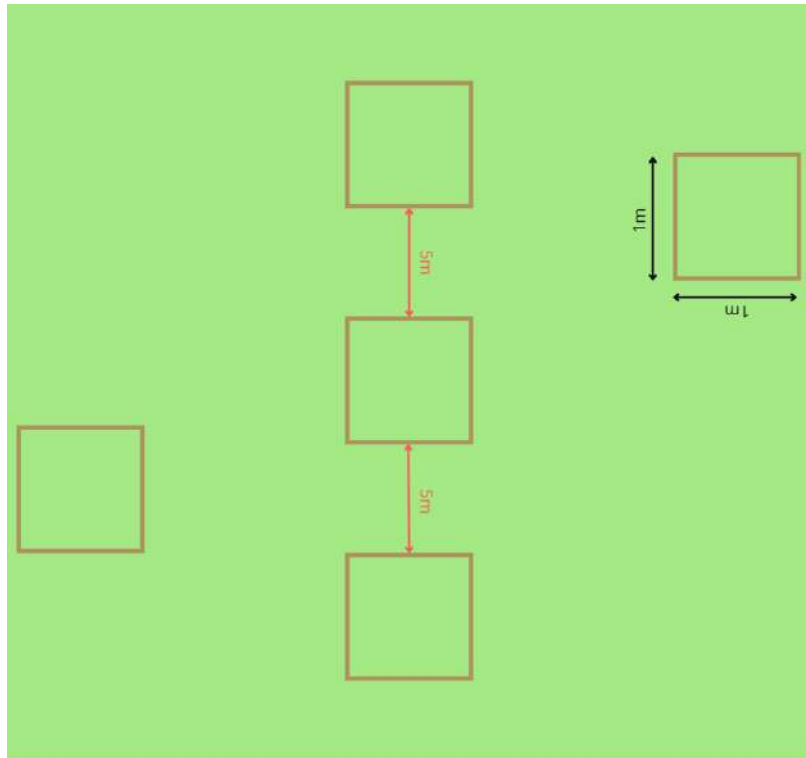


Figure 11 : Schéma de la méthode d'échantillonnage des placettes pour identification et comptage des adventices



Figure 12 : Exemple d'un échantillonnage d'adventice



étudiées.

Pour échantillonner les vers de terre, nous avons appliqué la méthode du W, qui consiste à effectuer cinq prélèvements espacés de 20 mètres en formant un W. Pour cela, il a fallu se positionner en dehors des zones de passage et à 10 mètres du bord de la parcelle, puis creuser des trous de 30 x 30 x 20 cm (figure 13). Ensuite, nous avons récupéré la terre afin de la trier et de collecter les vers de terre présents, que nous avons stockés dans des pots contenant de l'alcool à 70 degrés.

Les prélèvements des fourmis et de vers de terre ont ensuite été stockés dans un réfrigérateur, ensuite les fourmis ont été prises en photo sous plusieurs angles puis ont été identifiées par un spécialiste et enfin comptées. Concernant les vers de terre, ils ont été pesés pour chaque échantillon afin de calculer leur biomasse dans chacune des exploitations. Pour les nématodes, les échantillons ont ensuite été conservés au frais (entre 8°C et 20°C) avant d'être envoyés au laboratoire d'analyse.

Pour mesurer les microorganismes du sol, nous avons prélevé des échantillons de terre. Cinq prélèvements de 10 grammes ont été effectués en suivant un parcours en W sur l'ensemble de la zone à étudier, à une profondeur de 15 à 20 cm. Ces échantillons ont été placés dans des pots de 50 ml puis ont été conservés au congélateur avant leur envoi au laboratoire d'analyse. Ces échantillons ont aussi été utilisés afin de mesurer le carbone actif présent dans le sol.

#### **v. Conception d'un gradient d'interaction culture-élevage**

Les exploitations étudiées présentaient une interaction entre culture et élevage. Cela signifie que les pratiques mises en œuvre reposent sur une alimentation animale en partie issue des co-produits végétaux, sur la fertilisation des cultures par les déjections animales de l'exploitation, et sur l'utilisation des animaux comme force de traction (Sterling et al.,2024).

#### **d. Analyse des données**

##### **i. Évaluation des indicateurs de biodiversité**

En raison des délais du stage qui ne permettent pas de réaliser les analyses à temps pour tous les échantillons de terre, ainsi que pour les vers de terre, nous nous concentrons ici sur l'évaluation de la biodiversité à travers les échantillons de fourmis d'adventices et des arbres observé. Par ailleurs nous travaillons sur un échantillon de 6 exploitations sur les 12 échantillonnées pour des raisons de manques de données pour les 4 non retenues. Les données

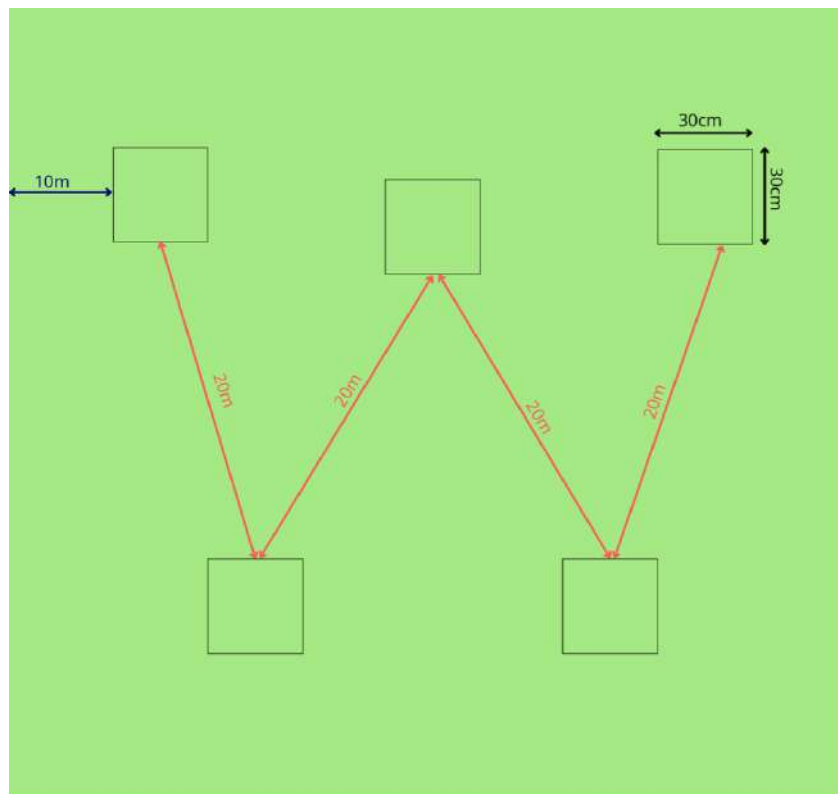


Figure 13 : Schéma de la méthode d'échantillonnage des vers de terre

récoltées nous permettent de calculer l'indice de Shannon qui nous permet d'obtenir la richesse spécifique pour chacun des indicateurs. Les indices concernant la biodiversité cultivée sont à l'échelle de l'exploitation et les indices concernant la biodiversité compagne sont à l'échelle de la parcelle (une parcelle diversifiée et une parcelle non diversifiée).

Cet indice nous permet ensuite de calculer un indicateur de diversité végétale compagne totale (IBV1), un indicateur de diversité animale compagne totale (IBF1), ainsi qu'un indicateur de diversité totale pour l'ensemble de la biodiversité compagne (IBT1). De plus, nous appliquerons ces mêmes indicateurs à la biodiversité cultivée, donnant ainsi les indices IBV2, IBF2, et IBT2. Pour ce faire, nous utiliserons le logiciel R. L'ensemble des index sont présentés dans le tableau 1. Par ailleurs, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée pour décrire les données concernant les arbres afin d'observer s'il y a des corrélations entre les différentes utilisations des arbres et leurs espèces. Enfin, un test de Mann-Whitney a été réalisé sur les données relatives aux fourmis à l'échelle des parcelles afin de voir s'il y a une différence significative entre parcelle diversifiée et parcelle non diversifiée.

## **ii. Analyse des performances des exploitations agricoles**

Les performances des exploitations agricoles sont analysées grâce à la méthode ENA. L'ensemble de la collecte de données, de l'organisation et de l'analyse a été faite par le stagiaire M2. Ici nous utiliserons seulement les résultats stockés sous forme d'un tableau afin de les comparer avec les niveaux d'ICE et des indicateurs de biodiversité. Le calcul des indicateurs de performances agroécologiques ont été traités sur le logiciel Excel par le stagiaire de Master 2.

## **iii. Étude de l'interaction entre culture et élevage**

Le gradient est établi en évaluant les exploitations à partir de la matrice de flux d'azote déterminée pour la partie performances agroécologiques des exploitations. En effet, nous utilisons un indicateur d'ICE établi dans la thèse de Stark (2016), qui consiste à faire la somme de l'ensemble des flux d'azote internes à l'exploitation, c'est-à-dire les échanges qu'il y a entre types de productions et plus particulièrement entre les compartiments de productions animales et de productions végétales. Lorsqu'une exploitation maximise l'ICE, de nombreux flux se produisent entre ces compartiments, ce qui entraîne un indicateur d'ICE élevé. Ces exploitations sont alors classées dans la catégorie des « Systèmes très intégrés » lorsque l'indicateur se situe entre [46-48%]. Pour les exploitations où le niveau d'intégration est moins important, comme



Tableau 1 : Indices de biodiversité des exploitations échantillonnées

ID de l'exploitation	Rank	Indice biodiversité animale compagne (IBF1)	Indice biodiversité végétale compagne (IBV1)	Indice biodiversité compagne totale (IBT1)	Indice biodiversité animale cultivée (IBF2)	Indice biodiversité végétale cultivée (IBV2)	Indice biodiversité cultivée totale (IBT2)
3	Diversifiée	1,33	NA	1,33	0,69	3,32	4,01
3	Peu diversifiée	0	2,64	2,64			
4	Diversifiée	1,33	2,08	3,41	0	3,87	3,87
4	Peu diversifiée	0,69	2,71	3,4			
5	Diversifiée	0	2,64	2,64	0	3,46	3,46
5	Peu diversifiée	0	2,48	2,48			
6	Diversifiée	1,61	2,48	4,09	0	1,79	1,79
6	Peu diversifié	0,64	1,79	2,43			
7	Diversifiée	0,69	2,4	3,09	0,69	3,52	4,21
7	Peu diversifiée	0	2,48	2,48			
8	Diversifiée	1,39	2,2	3,59	1,39	4,03	5,42
8	Peu diversifiée	0	2,3	2,3			

l'utilisation de matières organiques uniquement pour la fertilisation ou l'utilisation des animaux uniquement pour le désherbage, l'indicateur d'ICE se situe entre [16-29%]. Ces exploitations sont classées dans la catégorie des « Systèmes intégrés ». Enfin, les exploitations présentant un niveau très faible d'ICE, caractérisé par l'absence d'animaux sur la ferme ou l'utilisation de la matière organique animale sur une faible surface par rapport à la surface cultivée, sont classées dans la catégorie des « Systèmes peu intégrés » avec un indicateur d'ICE de [6-9%]. Le gradient a été élaboré en prenant en compte les 10 exploitations enquêtées. Cependant, pour la comparaison avec la biodiversité, nous n'analyserons que les 6 exploitations pour lesquelles nous disposons de l'ensemble des données.

#### **iv. Comparaison des performances, de la biodiversité et de l'interaction culture élevage**

Pour comparer les performances agricoles et économiques des exploitations en fonction de l'interaction culture-élevage ainsi que de la biodiversité, nous commencerons par effectuer une Analyse en Composantes Principales (ACP) afin d'examiner les corrélations entre les différents indices calculés. Ensuite, nous tracerons diverses courbes, plaçant un indice de performance sur l'axe des ordonnées et les niveaux d'intégration culture-élevage sur l'axe des abscisses, dans le but d'analyser l'évolution de la biodiversité spontanée et cultivée. Pour ce faire, nous utiliserons le logiciel R. Tous les indices sont présentés sous forme de tableau (tableau 2). Le tableau contient aussi les moyennes, les variances et les répartitions pour chacun des index.

Tableau 2 : Performances et index de biodiversité totale

	ICE Totale (%)	Dépendance de l'exploitation (%)	Productivité de l'exploitation (%)	Efficience de l'exploitation (%)	Résilience de l'exploitation	Marge brute en €/ha	Revenus nets en €	Productivité du travail en €/h	Autonomie en %	IBT1	IBT2
Exploitation 03	29,3	20,2	1	5	0,69	20431,8	19501,5	8	82,9	1,33	4,01
Exploitation 04	46,3	2,7	2,1	78	0,82	31372	29291	10,8	100	3,41	3,87
Exploitation 05	47,9	0,2	3,7	1633	0,66	1732	-386,8	0,7	100	2,64	3,46
Exploitation 06	6	42,2	3,6	9	0,37	269756,8	208048,8	30,9	74,8	4,09	1,79
Exploitation 07	21,9	28,1	0	0	0,59	89231	82792	25,8	0	3,09	4,21
Exploitation 08	47,2	1,6	2,4	148	0,71	114438	111630	19,1	100	3,59	5,42
Min	6	0,2	0	0	0,37	1732	-386,8	0,7	0	1,33	1,79
1st Quartile	23,75	1,88	1,28	6	0,61	23167	21948,9	8,7	76,83	2,75	3,56
Médiane	37,8	11,45	2,25	43,5	0,68	60302	56041,5	14,95	91,45	3,25	3,94
Moyenne	33,1	15,83	2,13	312,2	0,64	87827	75146,1	15,88	76,28	3,03	3,79
3ième Quartile	46,98	26,13	3,3	130,5	0,71	108136	104420,5	24,12	100	3,55	4,16
Max	47,9	42,2	3,7	1633	0,82	269757	208048,8	30,9	100	4,09	5,42

## **IV. Résultats et discussion**

### **a. Influence des pratiques agroécologiques sur la présence des fourmis et de l'orientation des exploitations sur l'usage des arbres**

#### **i. Comparaison des parcelles diversifiée et non diversifiée de l'échantillon fourmis**

La collecte des données sur les fourmis nous a permis de recueillir des informations sur le nombre de nids de différentes espèces présents sur chaque parcelle, le nombre d'entrées de nids, le nombre de chemins empruntés par les fourmis, ainsi que le nombre d'échantillons d'espèces différentes collectés sur les parcelles. Nous avons comparé les résultats obtenus sur les 2 types de parcelles, afin, en cas de différence significative, de voir quelle parcelle/pratique favorise la présence des fourmis et leur diversité. Nous avons donc réalisé des tests de Mann-Whitney pour chacune des variables en comparant à chaque fois la parcelle diversifiée avec la parcelle non diversifiée. Les résultats sont présentés dans le tableau 3. Le test révèle une p-value supérieure à 0,05 pour les variables « Entrées nids fourmis manioc », « Entrées nids fourmis de feu », « Nids fourmis manioc », « Nids fourmis de feu » et « Nids autres », ce qui indique que nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle. En d'autres termes, il n'y a pas suffisamment de preuves pour conclure qu'il y a une différence significative entre les deux groupes que nous avons comparés pour chacune de ces variables. Il est donc probable que les différences entre les deux groupes soient dues au hasard, ce qui signifie que nous ne pouvons pas dire si la parcelle diversifiée apporte une plus grande diversité que celle non diversifiée ou inversement dans l'ensemble des exploitations enquêtées.

Seule la variable « Échantillons prélevés », la comparaison entre parcelle diversifiée et non diversifiée nous donne une p-value inférieure au seuil de signification de 0,05, on peut donc rejeter l'hypothèse nulle. En d'autres termes, cela signifie que les différences observées entre les deux groupes sont statistiquement significatives, c'est-à-dire qu'il est peu probable que la différence observée soit due au hasard. Il existe donc une différence significative entre la parcelle diversifiée et la parcelle non diversifiée. En examinant les moyennes, on constate que la parcelle diversifiée présente une moyenne plus élevée que celle de la parcelle non diversifiée. La parcelle diversifiée favorise une plus grande diversité de fourmis par rapport à la parcelle non diversifiée 3,83 espèces différentes sur une parcelle avec des pratiques agroécologiques (intégration culture-élevage et/ou diversification culturale).

Tableau 3 : Comparaison des moyennes des échantillons entre parcelle diversifiée et non diversifiée

<b>Variabes</b>	<b>Moyenne échantillons parcelle diversifiée</b>	<b>Moyenne échantillons parcelle non diversifiée</b>	<b>p-value</b>
<b>Chemin fourmis manioc</b>	0	0,17	0,40
<b>Entrées nids fourmis manioc</b>	0	1,67	0,40
<b>Entrées nids fourmis de feu</b>	0,17	0	0,40
<b>Nids fourmis manioc</b>	0	0,17	0,40
<b>Nids fourmis de feu</b>	0,17	0	0,40
<b>Nids autres</b>	2,5	1,67	0,72
<b>Échantillons prélevés</b>	3,83	1,33	0,048

## ii. Comparaison de l'utilisation des arbres par les agriculteurs

Nous allons maintenant analyser les données recueillies sur l'utilisation des arbres par les agriculteurs sur 9 exploitations enquêtées. Le questionnaire incluait des questions sur les différentes fonctions des arbres, et nous avons réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour observer les corrélations entre ces usages et identifier d'éventuels groupes d'agriculteurs.

Les résultats (figure 14) montrent des corrélations positives entre les variables « Shade » et « Food », ainsi qu'entre « Shade » et « Feed ». Cela suggère qu'un agriculteur qui élève des animaux et utilise les arbres pour les nourrir accorde une importance particulière à la présence d'ombre sur son exploitation. En effet, l'analyse en composantes principales (figure 15) révèle un angle aigu entre ces deux variables, confirmant cette observation. De plus, il apparaît que les agriculteurs qui utilisent les arbres pour fournir de l'ombre sur leur exploitation sont également ceux qui consomment les fruits de leurs arbres. Par ailleurs, des angles aigus entre les variables « Sales », « Biomass », et « Razyé » indiquent une corrélation entre ces variables. On peut en déduire que les agriculteurs qui produisent des arbres pour leurs fruits et pour leurs avantages médicaux tendent également à commercialiser leur production. En revanche, on observe un angle plutôt droit entre les variables « Shade » et « Biomass », donc une indépendance. Un agriculteur qui utilise les arbres pour la production de fruits ne les emploiera pas pour leur capacité à fournir de l'ombre. Maintenant, intéressons-nous à la répartition des exploitations selon l'utilisation des arbres. Sur la figure 16, on ne distingue pas de groupes d'agriculteurs distincts. Cependant, les exploitations 7 et 8 semblent davantage orientées vers l'élevage, comme le montre leur position. En revanche, les exploitations 3 et 2 semblent privilégier la production végétale, ou du moins y accorder plus d'importance.

Les résultats obtenus fournissent des aperçus précieux sur les pratiques des agriculteurs en ce qui concerne l'utilisation des arbres. Ils indiquent certaines tendances et associations entre les différentes fonctions des arbres et les variables mesurées. Toutefois, il est important de noter que l'échantillon analysé est relativement limité en taille. Cette taille d'échantillon restreinte peut compromettre la robustesse des résultats et leur capacité à être généralisés à une population plus large. Il serait intéressant de compléter les données afin de réaliser une analyse plus fiable.

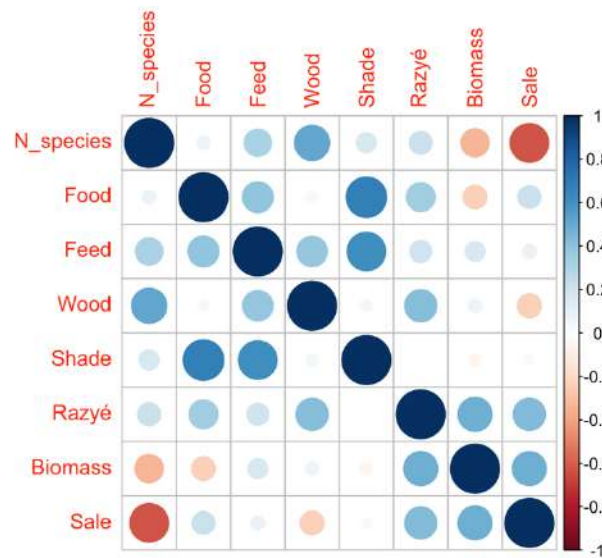


Figure 14 : Corrélation entre les différentes utilisations des arbres par les agriculteurs

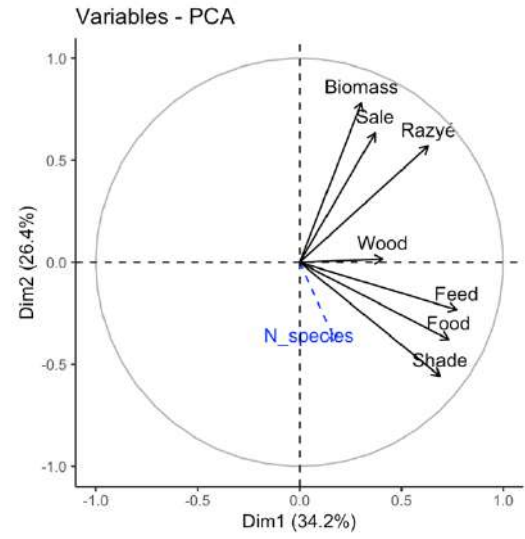


Figure 15 : Analyse en Composantes Principales des exploitations en fonction des usages des arbres

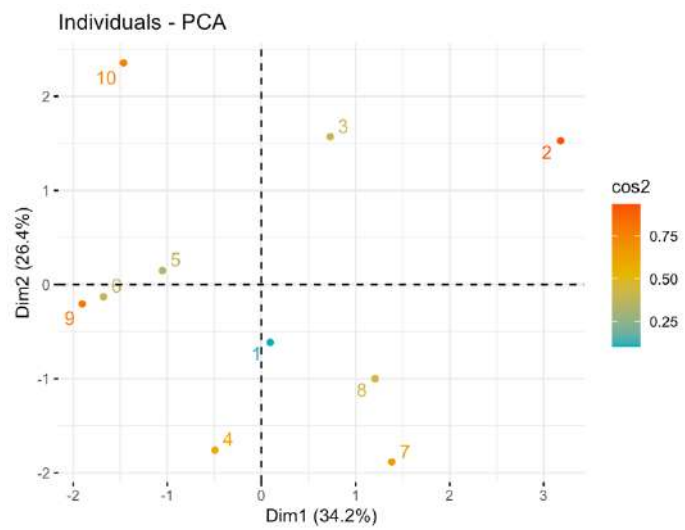


Figure 16 : Répartition des agriculteurs selon leur utilisation des arbres

## **b. Comparaison des performances agroécologiques et économiques avec la biodiversité des exploitations**

Dans cette partie, nous analysons la corrélation entre les performances des exploitations agricoles et la biodiversité présente dans chacune d'entre elles. Pour notre échantillon, les résultats (figure 17) montrent une corrélation positive entre la biodiversité cultivée (IBT2) et le pourcentage d'intégration culture-élevage, ce qui semble logique, car une plus grande diversité d'espèces cultivées favorise une meilleure intégration des différentes activités agricoles. Cela indique que les exploitations avec une biodiversité cultivée élevée tendent à intégrer plus étroitement les cultures et l'élevage, renforçant ainsi leur polyvalence.

De plus, nous observons une forte corrélation négative entre la biodiversité cultivée et la dépendance de l'exploitation. Cette relation suggère que plus l'indice de biodiversité cultivée est élevé, plus l'exploitation est autonome. Une biodiversité riche est donc associée à la stratégie de l'exploitant d'être moins dépendant vis-à-vis des intrants externes, en améliorant la circularité des flux d'azote.

Il y a également une corrélation positive entre IBT2 et la résilience des exploitations. Les exploitations qui intègrent une plus grande diversité de leurs productions accroissent leur résilience face aux aléas. Nous objectivons là que la diversité des espèces cultivées joue un rôle important pour permettre aux exploitations de mieux résister aux perturbations.

Concernant la biodiversité compagne (IBT1), nous observons une légère corrélation positive avec la productivité globale de l'exploitation. De plus, la biodiversité compagne présente des corrélations plus marquées avec des indicateurs économiques tels que la marge brute, les revenus nets et la productivité du travail. La biodiversité compagne est donc un indicateur de performances économiques des exploitations.

Cependant, une corrélation légèrement négative entre IBT1 et la résilience est également présente. Cela pourrait indiquer qu'une forte abondance de biodiversité compagne pourrait avoir un effet négatif sur la résilience des exploitations, peut-être en introduisant des espèces concurrentes ou nuisibles qui compliquent la gestion agricole.

En croisant ces corrélations avec la représentation graphique des différentes performances dans notre échantillon (figure 18), nous observons un angle aigu entre IBT2, la résilience et l'ICE totale (intégration culture-élevage). De même, pour l'IBT1, il existe une association avec la marge brute, le revenu net, la productivité du travail et la productivité globale de l'exploitation. Ces observations suggèrent que les agriculteurs dont les exploitations sont résilientes possèdent un indice de biodiversité cultivée élevé et un taux d'intégration culture-élevage important. De la même manière, ceux qui présentent un indice élevé de biodiversité compagne semblent obtenir de bonnes performances économiques et une forte productivité.



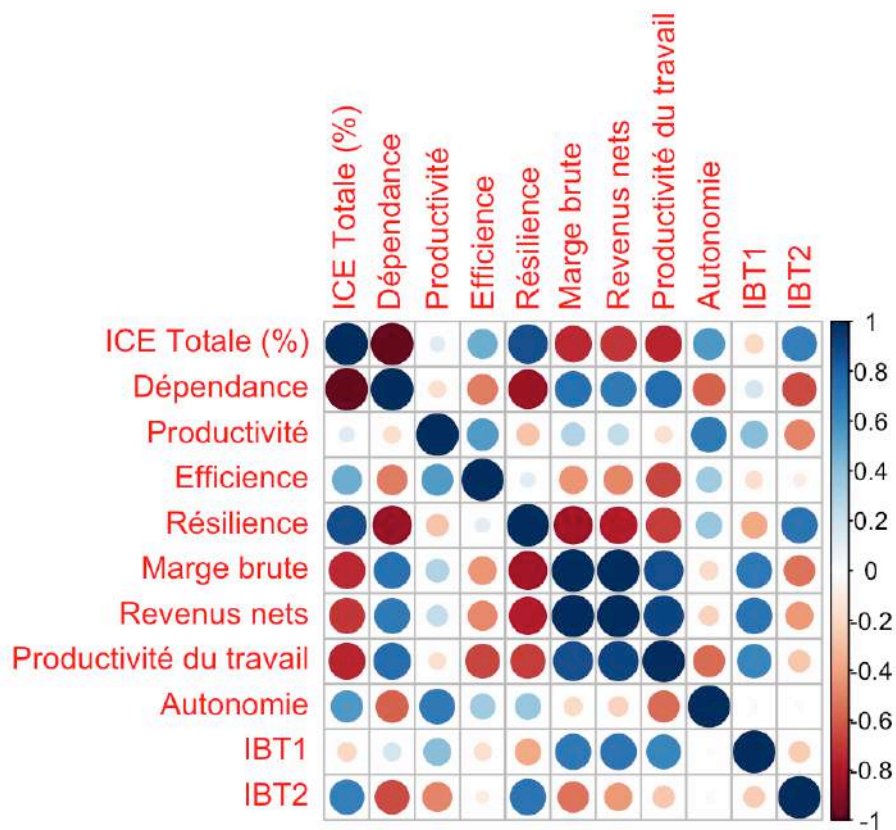


Figure 17 : Corrélation entre les performances et la biodiversité des exploitations

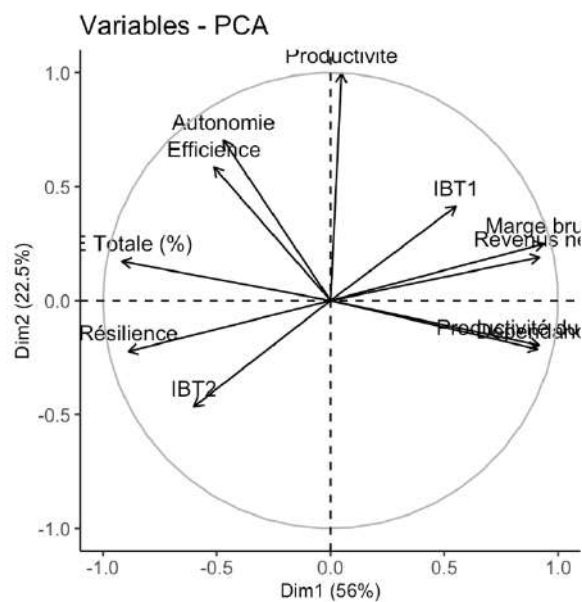


Figure 18 : Analyse en Composantes Principales des exploitations en fonction des performances et de la biodiversité

Cependant il est surprenant d'observer une indépendance entre l'autonomie, l'efficacité, et les indices de biodiversité. La littérature scientifique indique que la biodiversité tend à améliorer la productivité des exploitations, notamment par exemple par l'apport d'auxiliaires de cultures et l'amélioration de la structure des sols. Il aurait donc été attendu de constater un lien significatif entre ces variables, ce qui soulève des questions sur les spécificités des exploitations étudiées ou sur la nature des relations entre ces différents facteurs.

Nous nous intéressons maintenant à la répartition des exploitations selon leurs performances et leurs indices de biodiversité (figure 19). Les résultats ne nous permettent pas d'obtenir des groupes d'individus similaires, cependant certaines ressemblances peuvent être constatées. Par exemple, les exploitations 4 (2 sur le graphique), 5 (3 sur le graphique), et 8 (6 sur le graphique) se distinguent par une tendance à favoriser l'autonomie, la résilience et l'intégration culture-élevage. Cela suggère que ces exploitations, même si elles ne forment pas un groupe strictement homogène, partagent un fonctionnement qui leur permettent de réduire leur dépendance extérieure tout en améliorant leur capacité à résister aux aléas et en maximisant les synergies entre culture et élevage.

En ce qui concerne la biodiversité, l'exploitation 3 (1 sur le graphique) se démarque par son intérêt pour la biodiversité cultivée et la résilience. Cela semble indiquer une approche où la diversité des cultures et de l'élevage sont utilisées comme levier pour renforcer la robustesse de l'exploitation face aux perturbations. De son côté, l'exploitation 6 (4 sur le graphique) favorise la biodiversité compagne, ce qui est associé à de meilleures performances économiques et une productivité plus importante. Ce lien entre biodiversité compagne et performance économique pourrait s'expliquer par l'effet positif des espèces compagnes sur la productivité du sol (par exemple l'amélioration de la teneur en matière organique) ou par leur rôle dans la réduction des coûts externe liés aux intrants par exemple.

Ces observations nous permettent de constater plusieurs points intéressants. Tout d'abord, la tendance de certaines exploitations à valoriser l'autonomie, la résilience et l'ICE peut supposer que ces aspects pourraient être reliés, et permettraient de maximiser l'efficacité globale de l'exploitation. Cette stratégie est intéressante lorsqu'on le rapproche de la situation actuelle en Guadeloupe concernant la dépendance de l'alimentation d'importation pour les animaux par exemple.

D'autre part, la différence entre les exploitations favorisant la biodiversité cultivée et celles favorisant la biodiversité compagne révèle deux stratégies différentes mais potentiellement complémentaires. La biodiversité cultivée semble être associée à une meilleure résilience, ce qui pourrait être crucial pour les exploitations cherchant à se protéger contre les fluctuations du marché ou des conditions climatiques défavorables, ce qui est intéressant au vu des conditions climatique en Guadeloupe. En revanche, la biodiversité compagne est davantage corrélée aux performances économiques, ce qui suppose que ces exploitations pourraient être plus focalisées sur l'efficacité et la rentabilité à court terme.

Enfin, l'absence de groupe d'exploitations homogènes indique que nos résultats sont spécifiques à ces exploitations. Ces exploitations semblent adapter leur stratégie en fonction de leurs contraintes spécifiques, que ce soit en termes de ressources disponibles, de conditions environnementales ou d'objectifs économiques. En d'autres termes, il faudra élargir l'échantillon plus important afin d'obtenir des résultats représentatifs des exploitations de polyculture-élevage en bio et bio-like en Guadeloupe.

### **c. Evolution des performances agroécologiques des exploitations en fonction de leur diversité cultivée**

Les résultats précédents nous ont permis d'avoir une vue d'ensemble sur les corrélations entre les différentes performances et la biodiversité, nous analysons maintenant le poids respectif des exploitations sur ces relations.

#### **i. Dépendance et productivité de l'exploitation**

En effet, les courbes tendances pour les variables « dépendance » et « productivité de l'exploitation » en fonction de la biodiversité (figure 20), montrent que plus l'IBT2 est faible plus l'exploitation va être dépendante de flux d'azote externes. Cependant, lorsque l'on se focalise sur le nuage de points on constate qu'il n'y a qu'une exploitation qui « tire » la courbe de tendance ( $r^2=0,4756$ ). Cette exploitation est la moins intégrée de notre échantillon.

Concernant la courbe de tendance de la productivité ( $r^2=0,361$ ), on observe une exploitation avec un IBT2 faible mais une forte productivité, et une exploitation avec un IBT2 élevé avec une productivité plutôt élevée. Ce sont ces deux exploitations qui expliquent l'allure de la courbe.

On peut voir que les deux courbes ont des allures plutôt similaires, ce qui nous permet de conclure que la biodiversité cultivée ne permet pas d'améliorer la productivité de l'exploitation, en revanche elle pourrait avoir une influence bénéfique sur l'indépendance de l'exploitation. Pour obtenir des conclusions plus robustes et généralisables, il serait nécessaire d'élargir l'échantillon. Une étude plus vaste permettra de mieux comprendre les relations complexes entre biodiversité cultivée, dépendance aux flux externes, et productivité, et d'affiner nos conclusions.

#### **ii. Efficience et résilience**

On s'intéresse à l'effet de la biodiversité sur l'efficience et la résilience des exploitations grâce à leur courbe de tendances (figure 21). Tout d'abord, la courbe de tendance de la résilience

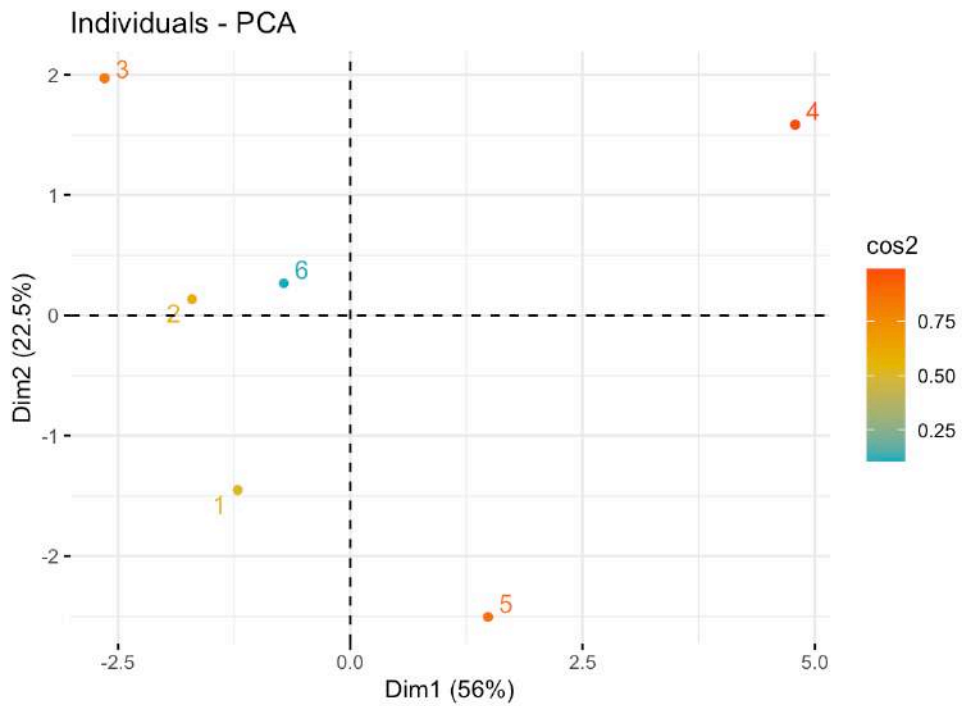
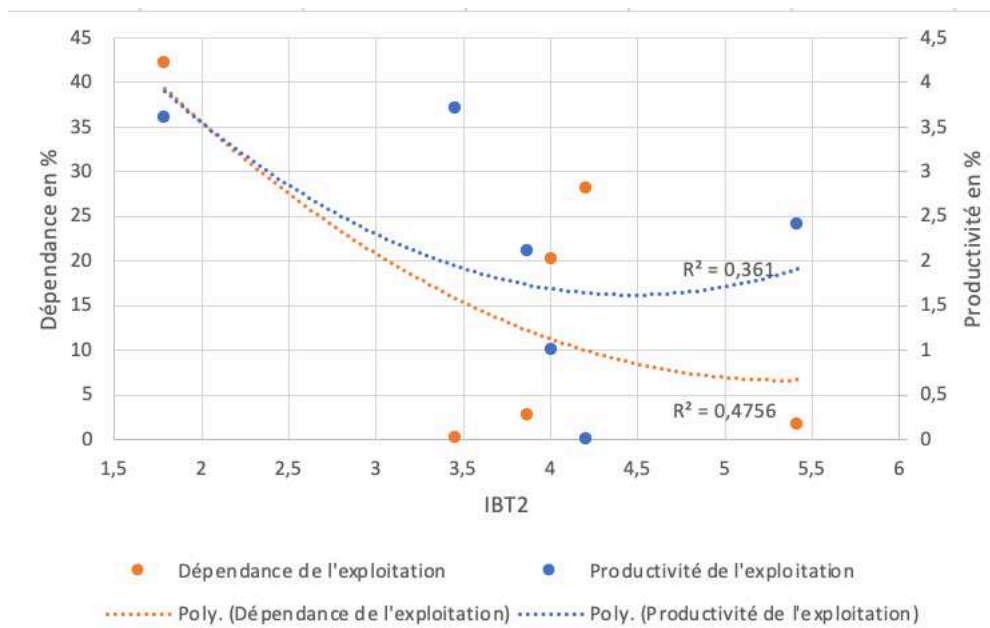


Figure 19 : Répartition des exploitations selon leurs performances



les données analysées dans ce graphique sont des données brutes

Figure 20 : Evolution de la dépendance aux flux d'azote entrants et de la productivité en fonction de l'IBT2

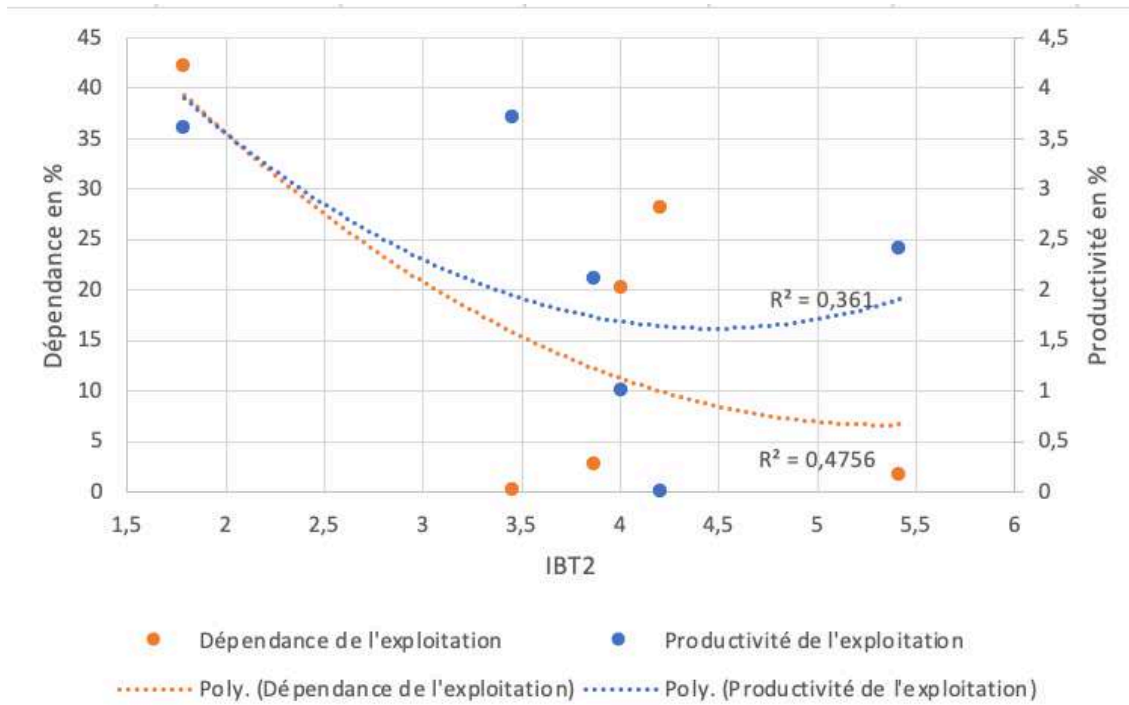
( $r^2=0,7316$ ) semble croissante ce qui signifie que plus l'indice de biodiversité cultivée est élevé, plus la résilience de l'exploitation augmente. Lorsque l'on observe le nuage de point on voit que l'ensemble des six exploitations suivent cette allure. Notre conclusion est donc robuste malgré notre faible effectif. Ce résultat reflète la littérature scientifique, plus on diversifie les systèmes de productions plus on assure une adaptation de l'exploitation aux aléas.

Concernant la courbe de tendance de l'efficacité n'explique que 12% de sa variabilité, en cohérence avec l'absence de corrélation significative estimée entre les 2 variables. On aurait pu s'attendre à une influence positive de la biodiversité cultivée sur l'efficacité au vu de la littérature scientifique.

En conclusion, les exploitations obtiennent des résultats plutôt hétérogènes, ce qui peut être expliqué par la taille de l'échantillon comme pour les variables précédentes. Il serait donc intéressant de faire cette étude sur un échantillon de données plus important pour obtenir des résultats significatifs.

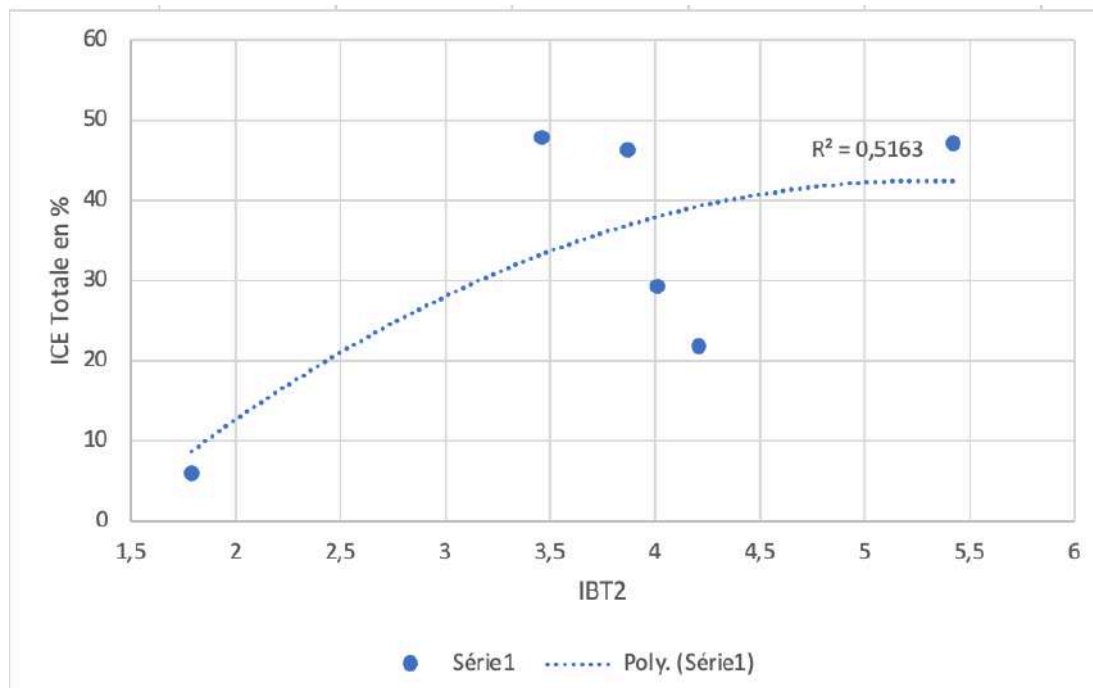
### **iii. Influence de la biodiversité sur l'intégration culture élevage**

Enfin, en analysant la courbe de tendance de l'ICE totale pour évaluer l'influence de la biodiversité sur cette variable (figure 22), on distingue clairement les trois catégories d'intégration développées dans la section précédente. On observe ainsi une exploitation appartenant à la catégorie des « Systèmes peu intégrés », quatre exploitations appartenant à la catégorie des « Systèmes intégrés » et une exploitation classée parmi les « Systèmes très intégrés ». Plus l'IBT2 augmente, plus le système intègre les interactions entre culture et élevage. Cela suggère que la biodiversité cultivée ( la diversification des ateliers végétaux ou animaux) favorise l'intégration active des cultures et de l'élevage au sein du système d'exploitation. Cependant, on peut discuter de la représentativité des catégories « Systèmes peu intégrés » et « Systèmes très intégrés » car ils sont représentés seulement par une exploitation.



les données analysées dans ce graphique sont des données brutes

Figure 21 : Courbe de tendance de l'efficacité et de la résilience de l'exploitation en fonction de l'IBT2



les données analysées dans ce graphique sont des données brutes

Figure 22 : Courbe de tendance de l'ICE totale des exploitations en fonction de l'IBT2

## Conclusion

L'agriculture en Guadeloupe est confrontée à de nombreux défis, tels que le changement climatique et la mondialisation des marchés. Ce contexte milite pour le renforcement des pratiques agroécologiques des exploitations familiales en polyculture-élevage, majoritaires sur le territoire. Dans cet objectif, leur multiperformance doit être évaluée au regard des principaux leviers que sont la biodiversité cultivée et l'intégration entre cultures et élevages. Dans le cadre du projet INRAE MAKIBIO, ma mission fut d'enquêter avec 3 autres étudiants en immersion sur le terrain, 10 exploitations bio et bio-like, pour collecter des données de performances agroécologiques avec la méthode ENA (évaluation des flux d'azote entre les compartiments du système) et socioéconomiques. Les observations des biodiversités cultivée et compagne ont été complétées pour 6 exploitations. D'autres indicateurs relatifs à la santé et aux fonctions du sol seront disponibles ultérieurement.

Concernant l'observation des fourmis, seule leur diversité spécifique augmente avec les pratiques d'intégration et la biodiversité sur les parcelles. Par ailleurs, nous apportons des connaissances sur les usages des arbres dans les exploitations en polyculture-élevage. Les agriculteurs qui utilisent des arbres pour fournir de l'ombrage sont également ceux qui consomment les fruits et nourrissent leurs animaux de feuillages et d'écarts de récolte. Les agriculteurs qui produisent des arbres pour leurs fruits et pour leurs avantages médicinaux tendent à commercialiser leur production. Les exploitations ayant une biodiversité cultivée élevée sont également dans une logique d'intégration étroite entre leurs cultures et l'élevage, renforçant l'intensité et le nombre de flux d'azote internes. Une biodiversité cultivée augmentée favorise significativement la résilience et l'autonomie en intrants des exploitations, sans avoir d'effet notable ni sur l'efficacité et la productivité, ni sur performances économiques. En revanche, nous observons un lien significatif entre la biodiversité compagne avec les performances économiques, et aucun lien significatif avec les performances agroécologiques. Cependant, le nombre restreint d'exploitations enquêtées n'autorise pas l'identification d'un optimum de performances agroécologiques en fonction de la biodiversité cultivée, ni celui d'un optimum des performances économiques en fonction de la biodiversité compagne.

Il est important de noter que la taille réduite de l'échantillon nous oblige à la prudence dans l'interprétation des résultats. Diverses contraintes tels que les aléas climatiques, les annulations des agriculteurs, et la difficulté à trouver des contacts nous ont empêchés d'atteindre l'objectif

initial de 30 exploitations. Afin d'approfondir l'étude, il serait pertinent d'enquêter un échantillon plus large et sur une plus longue durée. Mieux comprendre l'impact de la biodiversité cultivée et compagne sur les performances agroécologique et économiques des exploitations agricoles en polyculture-élevage, éclairera les agriculteurs et les scientifiques sur les compromis possibles entre biodiversité et intégration cultures-élevages afin d'optimiser la multiperformance de l'agriculture familiale en Guadeloupe et tendre vers une meilleure souveraineté alimentaire de la Guadeloupe.



## Bibliographie

- « 384 315 habitants en Guadeloupe au 1<sup>er</sup> janvier 2021 - Insee Flash Guadeloupe - 194 ». <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7739221>.
- A Mottet, A Bicksler, et D Lucantoni. « Frontiers | Assessing Transitions to Sustainable Agricultural and Food Systems: A Tool for Agroecology Performance Evaluation (TAPE) ». <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2020.579154/full>.
- « Agreste, la statistique agricole ». <https://www.agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/>.
- Altieri, M.A. 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Boulder CO: Westview Press.
- Altieri, Miguel A., et Victor Manuel Toledo. « The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants ». *The Journal of Peasant Studies* 38, n° 3 (1 juillet 2011): 587-612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>.
- « Analyse de la nematofaune du sol ». ELISOL, 2019.
- Andrieu, Nadine, Genowefa Blundo-Canto, Eduardo Chia, Jean Louis Diman, Patrick Dugué, Audrey Fanchone, Fanny Howland, Salomé Ott, et Célia Poulayer. « Scenarios for an Agroecological Transition of Smallholder Family Farmers: A Case Study in Guadeloupe ». *Agronomy for Sustainable Development* 42, n° 5 (13 septembre 2022): 95. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00828-x>.
- Baraud, Lena. « 256 espèces de la flore de Guadeloupe menacées de disparition ». *UICN France* (blog), 21 novembre 2019. <https://uicn.fr/liste-rouge-flore-guadeloupe/>.
- calameo.com. « Accélérer la transition agro-écologique en Guadeloupe ». <https://www.calameo.com/read/005986755294403efac6a>.
- « Disco-Weed - Fondation pour la recherche sur la biodiversité ». <https://www.fondationbiodiversite.fr/la-frb-en-action/programmes-et-projets/le-cesab/discoweed/>.
- « Dossier complet – Département de la Guadeloupe (971) | Insee ». <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=DEP-971#consulter-sommaire>.
- « Étudier les fourmis face aux effets du climat | Site Web IRD ». <https://www.ird.fr/etudier-les-fourmis-face-aux-effets-du-climat>.
- Gliessman, Stephen R., Eric Engles, et Robin Krieger. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press, 1998.
- Guadeloupe, Conseil Régional de. « Croissance verte | Accélérer la transition agro-écologique en Guadeloupe ». <https://www.regionguadeloupe.fr/actualites-et-agendas/toute-lactualite-du-conseil/detail/actualites/croissance-verte-accelerer-la-transition-agro-ecologique-en-guadeloupe/>.
- Guadeloupe, DEAL de. « Liste rouge (UICN) des espèces menacées – Flore vasculaire de Guadeloupe ». DEAL de Guadeloupe, 4 février 2020. <https://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/liste-rouge-uicn-des-especes-menacees-flore-a2964.html>.
- Hill, Stuart B., et Rod J. MacRae. « Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture ». *Journal of Sustainable Agriculture*, 1 mai 1996. [https://doi.org/10.1300/J064v07n01\\_07](https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07).
- Keulen, et Johannes Schiere. « Crop-livestock systems: old wine in new bottles », 1 janvier 2004.
- « La Guadeloupe en bref ». <https://www.culture.gouv.fr/regions/Dac-Guadeloupe/la-direction-des-affaires-culturelles-dac-de-guadeloupe/La-Guadeloupe-en-bref>.
- « L'agroécologie au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition : actes du Symposium international de la FAO | FAO ». <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/342680/>.
- « Le carbone actif », AgroEnviroLab, 2016. <https://www.agro-enviro-lab.com/fichiers/upload/SGS/4-Le%20carbone%20actif.pdf>
- « Les richesses insoupçonnées du sol | INRAE ». <https://www.inrae.fr/actualites/richesses-insoupconnees-du-sol>.
- « Les services écosystémiques - Les services écosystémiques ». <https://www.supagro.fr/ress-pegites/servicesecosystemiques/co/ServicesEcosystemiques.html>.
- L'Europe s'engage en France, le portail des Fonds européens. « Fonds européen agricole pour le développement rural », 22 juin 2022. <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/fonds-europeens/fonds-europeen-agricole-pour-le-developpement-rural-FEADER>.
- MAAP, MNHN, 2009. Indicateurs de biodiversité en milieu agricole : Elaboration d'un jeu d'indicateurs permettant de mieux suivre la biodiversité en lien avec l'évolution de l'agriculture.

- Machin-Sosa, B., A.M. Roque-Jaime, D.R. Avila-Lozano, and P. Rosset. 2010. *Revolució n Agroecoló gica: el Movimiento de Campesino a Campesino de la ANAP en Cuba*. Habana: ANAP.
- Mandonnet, N. « MAKIBIO (2024-2025) ». <https://asset.antilles.hub.inrae.fr/vie-scientifique/projets-de-recherche/makibio-2024-2025>.
- Martel, Gilles, Romain Dieulot, Daphné Durant, Clémence Guilbert, Pierre Mischler, et Patrick Veysset. « Mieux coupler cultures et élevage dans les exploitations d'herbivores conventionnelles et biologiques: une voie d'amélioration de leur durabilité? », 2017.
- « Microfarms in Guadeloupe: The Agroecological Transition Has Begun | INRAE ». <https://www.inrae.fr/en/news/microfarms-guadeloupe-agroecological-transition-has-begun>.
- Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. « Qu'est-ce que l'agroécologie ? ». <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lagroecologie>.
- Moraine, Marc, Michel Duru, et Olivier Therond. « A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop–livestock systems from farm to territory levels ». *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, n° 1 (février 2017): 43-56. <https://doi.org/10.1017/S1742170515000526>.
- Paoletti M.G., 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Planchais, Gaël. « Stratégie et performance des agriculteurs dans un enjeu d'agriculture durable », s. d. « Qu'est-ce que la biodiversité ? ». <https://www.ofb.gouv.fr/quest-ce-que-la-biodiversite>.
- « Qu'est-ce que le POSEI ? » DAAF Martinique, 15 juin 2016. <https://daaf.martinique.agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-le-posei-a215.html>.
- « Région Guadeloupe-La Guadeloupe, terre d'histoire ». <https://www.regionguadeloupe.fr/ma-region-un-territoire/un-territoire-a-decouvrir/terre-dhistoire/#>.
- Ryschawy, Julie, Alexandre Joannon, et Annick Gibon. « Mixed crop-livestock farm: definitions and research issues. A review ». *Cahiers Agricultures* 23, n° 6 (novembre 2014): 346-56. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0727>.
- Sabrina S. Gaba, Thomas Perrot, Jacques Caneill, Vincent Bretagnolle. Les espèces adventices, indispensables à la production agricole dans les systèmes à bas intrants. Rencontres sur la gestion durable des adventices en grandes cultures GCHP "Comment maîtriser les adventices dans de nouveaux contextes de production ?", GCHP2E, GIS - Grande Culture à Hautes Performances Economiques et Environnementales, France., Dec 2015, Paris, France. pp.36-38. (hal-01896517)
- Selbonne, Stan, Loïc Guindé, François Causeret, Pierre Chopin, Jorge Sierra, Régis Tournebize, et Jean-Marc Blazy. « How to Measure the Performance of Farms with Regard to Climate-Smart Agriculture Goals? A Set of Indicators and Its Application in Guadeloupe ». *Agriculture* 13, n° 2 (février 2023): 297. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020297>.
- Séré Rabé, Carlos, et H. Steinfeld. *World Livestock Production Systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996. <https://hdl.handle.net/10568/21111>.
- Stark, Fabien Shandor. « Evaluation agroécologique des pratiques d'intégration agriculture-élevage : Application de l'analyse de réseau écologique à des exploitations agricoles en milieu tropical humide ». Thesis, AgroParisTech, 2016. (Guadeloupe). <https://agritrop.cirad.fr/591652/>.
- Stark , Alexandre, Diman, Fanchone,. « Intégration au sein des systèmes de type polyculture élevage en Guadeloupe : première caractérisation ». 2010. (Guadeloupe). [https://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2010\\_14\\_03\\_Stark.pdf](https://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2010_14_03_Stark.pdf).
- Sterling, Damaris, Jean-Marc Meynard, Jean-Philippe Choisis, Audrey Fanchone, Génétique Et Systèmes D'élevage Tropicaux Agroécologie, l'Alimentation et l'Environnement Institut National de Recherche pour l'Agriculture, Produits Sciences pour l'Action et le Développement : Activités, et al. « Étude des verrouillages sociotechniques à l'intégration culture élevage: Cas d'étude en Guadeloupe », 2024. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/66290ccb2b3930d7cdc09bfl>.
- Trabelsi, Meriem. « Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition? » Phdthesis, Université Paul Valéry - Montpellier III, 2017. <https://theses.hal.science/tel-01735527>.
- Van Bruchem, J., Schiere, H., van Keulen, H., 1999. Dairy farming in the Netherlands in transition towards more efficient nutrient use. *Livestock Production Science*
- Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., Milestad, R., 2010a. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(3), 545-555.