

CARACTERISATION FONCTIONNELLE D'ARBRES INDIGENES A POTENTIEL AGROFORESTIER

Construire un système agroforestier en bananeraies
en Martinique

Juliette VINCENT

Encadrants : **Mathieu Coulis, Marney Isaac**

Mémoire d'Ingénieur

102 ème promotion

septembre 2023

Résumé

A trop vouloir simplifier la nature, les écosystèmes entiers sont déséquilibrés. Les paysages martiniquais font l'objet de cette uniformisation par la monoculture de bananes. Face aux enjeux actuels, il est urgent de composer avec la nature.

L'agroforesterie est une pratique mêlant arbres et cultures, misant sur les relations d'entraides et tirant son inspiration de l'équilibre naturel des écosystèmes. Le projet MADINSAF vise à explorer la biodiversité commune de Martinique afin de sélectionner des arbres adaptés aux systèmes bananiers. Il s'inscrit dans une démarche de préservation de la flore locale. L'étude suivante se base sur la caractérisation de 16 espèces d'arbres indigènes plantés sur la station expérimentale du CIRAD de Petit Morne. La mesure des traits fonctionnels chimiques, morphologiques et physiques à l'échelle de l'arbre, des feuilles et du sol permet d'établir l'identité de chaque essence. Ainsi, il est possible d'appréhender le fonctionnement de l'arbre avec ses stratégies d'adaptation, d'utilisation des ressources, et les services écosystémiques rendus à la parcelle. Les interactions écologiques de l'arbre en association peuvent être hypothétiquement anticipées. Appliquer une approche d'écologie dans un contexte agronomique nécessite de prendre en compte les spécificités de l'agroécosystème dans sa globalité. Le but étant de faciliter le choix des agriculteurs, il est essentiel d'intégrer dans la réflexion leurs objectifs agronomiques, économiques, environnementaux et répondant à un système de valeurs personnelles; plusieurs scénarios sont donc présentés. Un système agroforestier présente des éléments de complexité d'une forêt avec les enjeux agricoles demandant beaucoup d'adaptation mais cultiver la biodiversité est synonyme de durabilité.

Mots-clés : services écosystémiques, biodiversité, enjeux agricoles, conservation, bananeraies durables, sécurité alimentaire, transition agroécologique.

Abstract

Natural Ecosystems are disequilibrium because of human simplification. Martinique's landscapes are standardised with banana crops. Because of climate change it's an emergency to change. Agroforestry is a practice combining trees and crops, based on mutual support and inspired by the natural balance of ecosystems. The MADINSAF project aims to explore Martinique's common biodiversity in order to select trees adapted to banana systems. It is part of an approach to preserve local flora. The following study is based on the characterization of 16 native tree species planted on CIRAD's Petit Morne experimental station. By measuring functional chemical, morphological and physical traits at tree, leaf and soil levels it's possible to know better each species. Therefore, it's possible to understand how the tree functions, with its strategies for adaptation and resource use, and the ecosystem services it provides to the plot. The ecological interactions of trees in association can be hypothetically anticipated. Applying an ecological approach in an agronomic context means taking into account the specific features of the agro-ecosystem as a whole. As the aim is to facilitate farmers' choices, it is essential to integrate their agronomic, economic and environmental objectives, as well as their personal values, into the process. An agroforestry system presents elements of the complexities of a forest, with agricultural issues requiring a great deal of adaptation, but cultivating biodiversity is synonymous with sustainability.

Keywords : ecosystems services, biodiversity, agriculture issues, conservation, sustainable crops, food security, agro ecological transition.

Remerciements

Un grand merci à Mathieu Coulis pour m'avoir proposé le projet, accompagné dans sa réalisation, pour son soutien et ses précieux conseils dans la rédaction de ce mémoire.

Un grand merci également à Marney Isaac pour sa pédagogie, son accompagnement, son soutien dans la rédaction du mémoire et les échanges que nous avons pu avoir autour de l'agroforesterie et de ses expériences. Merci d'incarner la femme inspirante que tu es.

Un immense merci à Eliane pour son aide si précieuse au labo, son travail et sa bienveillance,

Merci à toute l'équipe GECO pour les échanges que nous avons pu avoir,

Merci beaucoup à l'ensemble des services civiques et stagiaires du CAEC pour avoir rendu cette expérience martiniquaise si riche. Un merci tout particulier à Moutte, merci Elisa, Marine, Thibault, Baptiste, Julia et Violaine pour avoir partagé un quotidien si joyeux,

Merci à Antoine Brin pour l'accompagnement dans la rédaction de ce mémoire et globalement merci à toute l'équipe pédagogique pour ces cinq années d'enseignements et d'expériences.

Merci du fond du cœur à mes amis de Purpan, mes colocs, pour tous les précieux moments passés ensemble et tous ceux à venir. Un merci tout particulier à Alex, Clarisse, Manon, Laurie, Julia, Manon et Eva. J'ai passé 5 années merveilleuses, merci pour tout.

Merci à ma famille pour leurs nombreuses relectures. Un immense merci pour leur soutien quels que soient mes choix, sincèrement merci de me suivre dans toutes mes aventures.

Sommaire

Résumé.....	II
Abstract.....	III
Remerciements	IV
Sommaire.....	5
Introduction	6
PARTIE 1 : L'agroforesterie en bananeraies en Martinique : entre enjeux économiques, environnementaux et sociétaux	7
1 Enjeux climatiques globaux.....	8
2 Contexte de la banane en Martinique.....	8
3 Vers une démarche agroécologique.....	11
4 Projet MADINSAF : problématiques et objectifs	16
PARTIE 2 : Matériel et Méthodes.....	17
1 Présentation des zones d'études.....	19
2 Sélection des traits fonctionnels	24
3 Plan d'échantillonnage	26
4 Traitement des données - Analyse statistique	28
PARTIE 3 : Résultats.....	31
1 Variabilité interspécifique et intraspécifique des traits des espèces étudiées	32
2 Caractérisation des stratégies écologiques des espèces	37
3 Vision plus globale : Résultats complémentaires.....	41
PARTIE 4 : Discussions, propositions et prise de recul.....	44
1 Discussion	45
2 Un système agroforestier bananiers adapté.....	47
3 Exemples d'adaptation de l'agroforesterie – Propositions	49
4 Limites de l'étude, prise de recul	52
Conclusion	55
Table des illustrations.....	56
Table des tableaux.....	57
Tables des matières	58
Bibliographie	60
Annexe n°1 : plan de l'essai Petit Morne avec les dates de plantations.....	66
.....	66
Annexe 2 : Plan d'échantillonnage	67
Annexe 3.....	68
Annexes 4 : fiches techniques ; prototypes.....	71
.....	72
Annexe 5.....	73

Introduction

À trop vouloir simplifier la nature en faveur d'une partie de l'humanité, les écosystèmes entiers sont déséquilibrés et ce en défaveur de toute forme de vie. Cette simplification est une réalité sur l'île de la Martinique avec la monoculture de la banane qui occupe 25% de la Surface Agricole Utile, héritage de l'empire colonial. Autant présent dans l'histoire de la Martinique que dans l'actualité, le colonialisme a façonné les paysages, hanté les esprits, empoisonné les terres, les eaux, les populations. Située dans les Caraïbes, la Martinique est au cœur de l'un des 36 hotspots de biodiversité. Cette richesse est menacée et demande à être protégée. L'ensemble de ces éléments place la Martinique au centre des enjeux environnementaux, agricoles, humains et sanitaires.

Depuis le scandale de la chlordécone, la filière de la banane se réadapte et tend vers une transition agroécologique, accompagnée entre autres par l'unité de recherche GECO au sein du Centre International de Recherche en Agronomie et Développement (CIRAD). Les recherches se tournent vers l'agroforesterie, pratique qui consiste à associer arbres et cultures sur une même parcelle afin que ces dernières bénéficient des services écosystémiques fournis par les arbres. Il s'agit de recréer l'équilibre naturel des forêts par optimisation et régulation.

Le projet MADINSAF vise à explorer la biodiversité commune d'arbres présents spontanément en Martinique afin de déterminer quels arbres sont les plus adaptés à être intégrés dans un système bananier en agroforesterie, d'une part, pour assurer la durabilité et la résilience face au changement climatique des bananeraies et, d'autre part, pour conserver la richesse de la biodiversité indigène de l'île. L'étude fait appel à l'écologie dans un contexte agronomique. Cela demande aussi d'intégrer les instabilités de ces systèmes, ainsi que les dimensions sociales et économiques pour construire un agrosystème correspondant aux objectifs propres à l'agriculteur. Le projet de départ est lancé par le CIRAD en étroite collaboration avec l'« Isaac lab » spécialisé sur les questions agroforestières dans ses dimensions écologiques, sociales et agronomiques via une approche des traits fonctionnels. Des partenariats avec le Conservatoire Botanique (CBNm), l'Office Nationale des Forêts (ONF) et l'Association Française d'AgroForesterie (AFAF) sont envisageables sur le long terme.

L'objectif de ce mémoire est de caractériser au niveau des traits fonctionnels une sélection de 16 arbres indigènes à la Martinique. Cette étude écologique permettra de connaître les stratégies écologiques des arbres et leurs services écosystémiques rendus. Ainsi, il sera possible, en fonction du système agricole, de proposer une essence d'arbre à intégrer dans le système.

La première partie du mémoire permet de replacer l'étude dans son contexte tant historique, pédoclimatique, qu'agronomique mais aussi d'explicitier les termes écologiques et agronomiques. Ensuite, la méthodologie de l'étude est exposée puis les résultats sont présentés, permettant de confirmer ou d'infirmer les hypothèses établies. La dernière partie laisse place aux propositions dans un objectif de conseils et d'appropriation auprès des différents acteurs. De plus, cette dernière remet en question les limites de l'étude, les limites des termes et évoque des axes d'amélioration.

PARTIE 1 : L'agroforesterie en bananeraies en Martinique : entre enjeux économiques, environnementaux et sociétaux

1 Enjeux climatiques globaux

Premièrement, les rapports scientifiques sont clairs, la dégradation de l'environnement par l'homme est une réalité. En 2019, 11250 chercheurs de 153 pays différents expriment leur forte inquiétude, notamment sur la pression qu'exerce la population humaine sur la planète, l'appauvrissement de la couche d'ozone, les difficultés d'accessibilité à l'eau douce, les zones d'océans morts, la déforestation et le déclin de la biodiversité ((Ripple et al. 2020). Les derniers rapports du GIEC alertent sur le fait que cette dernière décennie fut, depuis 125 000 ans, la plus chaude, avec un taux de CO₂ record dans l'atmosphère depuis 2 millions d'années de 410 ppm en moyenne enregistré en 2019. Peu importe les efforts qui pourront être mis en place le réchauffement de plus de 1,5°C depuis l'ère industrielle est inévitable d'ici 2030. L'inquiétude réside dans le fait que tout est lié. En effet, le réchauffement climatique et des océans, dont 80 % ont subi une vague de chaleur, engendre des catastrophes naturelles de plus en plus récurrentes (World Meteorological Organization (WMO) 2020). De plus les mécanismes d'absorption du carbone seront de moins en moins efficaces, par exemple les forêts tropicales ont un seuil de tolérance à la chaleur fixé à 32°C et au-delà elles pourraient passer de puits à sources de carbone. De surcroît, la destruction de l'environnement, de l'habitat humain, place la population en insécurité alimentaire : en 2019, près de 690 millions de personnes, soit 9 % de la population mondiale, ont été sous-alimentées (FAO 2019). Par ailleurs, 33% des terres agricoles sont dégradées engendrant une perte de productivité de 23% au niveau mondial. Ce sont un tiers des sols qui sont stériles car érodés (Mooney et al. 2021). Le jour du dépassement est un bon indicateur de la surpression exercée sur la Terre. Il représente l'empreinte écologique qui dépasse la biocapacité de notre planète calculée à partir de 200 pays fournissant trois millions de données statistiques. La conclusion est qu'il faudrait 1,7 Terre pour subvenir aux besoins de l'humanité. L'ONG Global Footprint Network l'annonce le 02 août en 2020, ce qui fait cinq mois « à crédit » (WWF 2023).

2 Contexte de la banane en Martinique

2.1 Présentation générale

Les Antilles françaises, dans les Caraïbes, ont un contexte bien particulier et différent de la métropole. Situées en zone tropicale, il s'agit de milieux insulaires impliquant des cycles biologiques et physico-chimiques accélérés, fortement anthropisés.

L'île de la Martinique est une région française d'Outre-Mer de 1128 km². Elle se situe entre la Dominique au Nord et Sainte Lucie au Sud et est bordée par la mer des Caraïbes à l'ouest et par l'Océan Atlantique à l'est. L'île peut être divisée en deux zones topographiques avec un Nord montagneux, dont le point culminant est la Montagne Pelée (1397m) avec une végétation dense et luxuriante et des forêts hygrophiles. Le sud est plus sec et érodé avec une végétation xérophile. Au milieu, la plaine du Lamentin concentre le plus de population. Le climat de la Martinique est de type tropical, avec une moyenne de température de 26,5° c sur l'année et 1950 mm de précipitations. L'humidité reste presque constante sur l'année, variant entre 80% à 90%. Deux périodes se distinguent, séparées par des intersaisons ; d'une part, la saison sèche, le carême, de février à avril et, d'autre part, la saison des pluies, « l'hivernage », de juillet à octobre, correspondant à la période chaude et humide avec la formation de cyclones (Météo France 2023). Les sols de l'île sont jeunes et d'origine volcanique issues d'andésites de la montagne Pelée et des Carbet (notre-environnement 2023).

2.2 Histoire : Un fonctionnement basé sur l'histoire coloniale

Dès septembre 1635, suite à l'arrivée de Pierre Belain d'Esnameux, la Martinique est proclamée terre française administrée et exploitée à vocation commerciale. Suite à l'extermination de la population locale, « les Caraïbes », le commerce triangulaire entre l'Afrique, les îles Caraïbes et la France commence afin de tirer profit des ressources de l'île. Après la culture du café puis du tabac, c'est la canne à sucre qui fait la fortune des colons qui possédaient plus de la moitié des terres agricoles. Alors que le premier Code noir de 1685 interdisait les abus et le commerce illégal des esclaves, le second, paru en 1734, légalise l'esclavagisme. Ce système perdurera jusqu'au 22 mai 1848, jour de l'abolition de l'esclavage. Toutefois, l'importation d'hommes, elle, continuera. En effet, entre 1853 et 1885, plus de 29 000 noirs sont amenés d'Afrique avec contrat et garantie de retour gratuit. Le 19 mars 1946, la Martinique change de statut, passant de colonie à département français. Ce statut, bien qu'utile économiquement et administrativement parlant, ne change dans les faits pas beaucoup le fonctionnement de la Martinique. Jusqu'à aujourd'hui, les Békés, blancs créoles descendants des premiers colons européens, contrôlent l'économie de l'île et sont en situation d'oligopole. Ils représentent 1% de la population martiniquaise mais possèdent environ 30% des entreprises de plus de 20 salariés, 52% des terres agricoles, 40% de la grande distribution, 50% du commerce d'importation alimentaire et 90% de l'industrie agro-alimentaire (Zander 2013). Leurs impacts sont forts en termes de disponibilité et gestion des terres.

2.3 La monoculture de banane

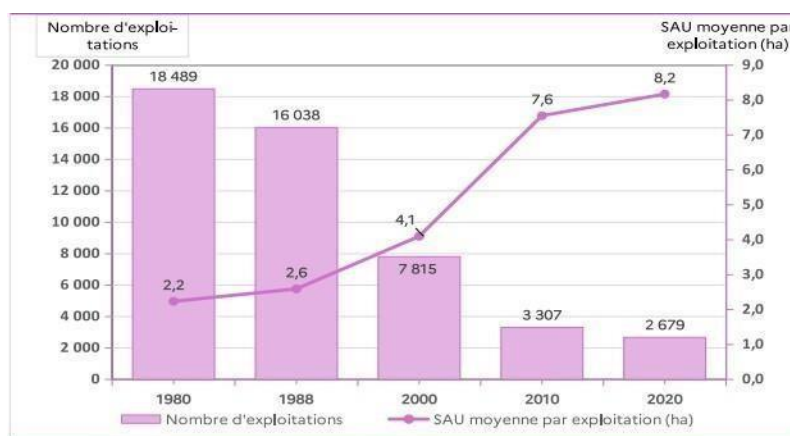
L'agriculture martiniquaise repose principalement sur la culture de la banane. Le bananier est une herbe géante de la famille des Musacées originaire de l'Asie du sud-est (Lassoudière 2007). Le fruit, la banane, est un des plus cultivés, vendus et consommés dans le monde avec en majorité la variété Cavendish également produite en Martinique. Une bananeraie se compose en moyenne de 1950 plants/ha pour des rendements de 40 à 60 tonnes par hectares. Une bananeraie peut rester en place jusqu'à 10 ans. La récolte est faite après 9 à 10 mois. Le pied du bananier est remplacé par un rejet. Les bananiers sont premièrement exigeant en azote et potassium. Le système racinaire du bananier est peu profond. Deuxièmement, en termes d'environnement, le bananier a besoin d'un bon ensoleillement avec une température optimale moyenne de 27°C, de beaucoup d'eau (1200 mm par an) avec un bon drainage et une humidité de 60%. Il est également sensible au vent, c'est d'ailleurs la principale cause de perte. Troisièmement, c'est une plante sensible aux ravageurs (charançons) et confrontée à une pression maladies de plus en plus importante. (FAO 2023a).

La culture de la banane commence à apparaître en 1730 pour apporter une diversification à la culture de la canne. Toutefois, elle se transforme rapidement en monoculture en 1930. Cette dernière devient compétitive sur le marché, bénéficiant, d'une part, d'une flotte bananière pour améliorer le transport des fruits jusqu'en France et, d'autre part, d'une politique protectionniste qui avantage la banane française face aux étrangères (africaine, dollars...). Les politiques agricoles qui ont suivi au XXème siècle, ont encouragé et continuent d'encourager la spécialisation de la Martinique dans la production de banane export au détriment de cultures vivrières (Duplan 2001). Les bananeraies représentent 25% de la SAU (Figure 1), une filière portée par les subventions et destinée aux exportations avec 142 080 tonnes de bananes exportées vers la métropole en 2021.

Surfaces en hectares	2010	2020
Canne à sucre	4 070	4 033
Banane	6 396	5 570
Fruits (hors banane)	953	1 164
Patates douces, ignames et autres tubercules	661	448
Légumes frais	1 940	1 122
Plantes aromatiques, médicinales et à parfum	112	64
Surface toujours en herbe (prairies, etc.)	8 592	7 517
Fleurs et plantes ornementales	146	81
Jardin et verger familiaux des exploitations agricoles	10	10
Pépinières	7	35
Jachères	2 065	1 787
Autres surfaces (semences, fourrages annuels, etc.)	30	63
Surface agricole utilisée (SAU)	24 982	21 894

Source : Recensements agricoles 2010 et 2020

Figure 2 : Assolement en Martinique, comparaison entre 2010 et 2020



Source : Recensements agricoles 1980, 1988, 2000, 2010, et 2020

Figure 1 : Evolution du nombre d'exploitations et de la Surface Agricole Utile (SAU) entre 1980 et 2020, (Agreste 2021)

En Martinique, la filière de la banane représente 60% des salariés agricoles. Le nombre de micro-exploitations ne cesse de baisser et la SAU par exploitation d'augmenter avec, pour moyenne en 2020, 8,2 hectares (0,7 ha de plus qu'en 2010) (Figure 2). En effet, 10 % des exploitations cultivent plus de 13 hectares alors que la moitié des exploitations ne possèdent pas plus de 3 hectares (daaf 2021).

2.4 La chlordécone

En plus de présenter des enjeux environnementaux importants, la monoculture de banane est à l'origine de l'utilisation de la chlordécone, dont le scandale sanitaire est toujours et pour longtemps d'actualité. La chlordécone est une molécule organochlorée utilisée massivement en Guadeloupe et en Martinique contre le charançon du bananier et ce, officiellement, pendant vingt ans (1972 -1993). Pesticide présentant une forte toxicité pour l'environnement, c'est un polluant persistant qui s'agrège dans les sols, les nappes phréatiques, les cours d'eaux, les zones côtières, pour des siècles. De nombreuses études prouvent que la molécule de chlordécone possédant des propriétés hormonales est reprotoxique, neurotoxique et cancérigène. Il est estimé que 95% des Guadeloupéens et 92% des Martiniquais en sont contaminés. Et pour cause, la Martinique est aujourd'hui le territoire qui connaît la plus forte proportion du cancer de la prostate à travers le monde. Pourtant, dès 1975, l'intoxication des ouvriers travaillant dans l'usine de chlordécone et la pollution de la rivière James prouvent déjà sa toxicité. Ainsi, en 1976, les États-Unis qualifient la chlordécone comme « probablement cancérigène pour les humains ». Les mises en garde et les études se succèdent pour que la chlordécone soit finalement déclarée comme cancérigène par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 1979 puis interdite en 1990. Pourtant, son utilisation se poursuit grâce à des dérogations du ministère de l'agriculture française jusqu'à, officiellement, 1993. La force des lobbys des Békés n'est pas anodine (Oublié, Gobbi, Lebrun 2022).

3 Vers une démarche agroécologique

3.1 L'agroforesterie

«L'arbre attend que l'homme s'arrête, qu'il le regarde et qu'il lui dise : Continuons ensemble » (Zürcher, Sirven 2016).

À trop vouloir simplifier la nature en faveur d'une partie de l'humanité, les écosystèmes entiers sont déséquilibrés et ce en défaveur de toute forme de vie. Pour produire plus, culture et forêt ont été séparées, les paysages uniformisés, les espaces cloisonnés, l'agriculture réduite à la monoculture. Or, les plantes vivent aussi en société, interagissent, s'entraident. L'équilibre existe puisque nous faisons partie de l'écosystème contrairement à ce que l'ère de l'anthropocène nous laisse penser. Collaborer, observer et s'adapter plutôt que de forcer (Torquebiau 2022). Inspiré des agroforêts, l'agroforesterie est l'intégration d'arbres sous forme d'intercultures, de haies et/ou de bosquets sur une parcelle agricole et ou à des pratiques d'élevages. L'association permet de recréer un équilibre écologique des ressources de l'écosystème tout en conférant des avantages sociaux, économiques et environnementaux (World Agroforestry 2023). L'agroforesterie est étroitement liée à l'agroécologie avec des concepts et valeurs qui se répondent. L'arbre remplit un rôle multifonctionnel assurant la pleine optimisation de l'agro écosystème dans la valorisation de ses cycles. Par valorisation, il est entendu le maintien de l'équilibre par la restitution et le recyclage des matières. Cet équilibre, quant à lui, assure la résilience face aux aléas climatiques (Wood, Burley 1991). Au niveau économique, l'agroforesterie permet de réduire les coûts de production en limitant les intrants et dans certains cas de diversifier la production (produits agricole supplémentaire, plante médicinale, fleurs). Au niveau social, cela peut aider à améliorer le bien-être des populations locales en valorisant des terres et des savoirs. L'agroforesterie permet de maintenir ou de renouer avec des pratiques ancestrales, c'est aussi par la même occasion l'opportunité de créer des groupes de travail pour échanger sur ses pratiques (FAO 2023b). L'agroforesterie permet de s'inscrire dans une transition répondant aux grands enjeux actuels et à un système de valeurs personnelles. Au niveau agro-environnemental, les arbres fournissent un certain nombre de services écosystémiques (Harmand, Seghieri 2021):

Premièrement, en termes de biodiversité, les arbres offrent des habitats pour les pollinisateurs et auxiliaires en créant un environnement plus propice avec des multi strates et un micro-climat plus humide. Une biodiversité plus importante améliore la résilience de l'écosystème face aux aléas et assure un pouvoir tampon limitant la propagation de maladies (Malézieux et al. 2009). L'incorporation d'arbres améliore la matière organique du sol en ajoutant de la litière à la fois au-dessus et au-dessous du sol. La matière organique alimente les organismes du sol qui ont une influence directe sur les fonctions biologiques du sol (Dollinger, Jose 2018). Deuxièmement, le système agroforestier s'intègre dans les processus environnementaux : structure du sol, cycles de nutriments et qualité de l'eau. La présence d'arbres améliore la structure et la biodiversité du sol et donc la diffusivité du méthane. Ainsi ils sont des puits à méthane plus importants que les prairies. De plus, une quantité plus importante d'azote de carbone de phosphore est mesurée sous la canopée que dans une prairie. Au Cameroun, le stockage de carbone a été comparé entre la Savane et un système agroforestier avec de l'Eucalyptus (*Eucalyptus Saligna*). Le potentiel de séquestration est plus élevé avec de l'Eucalyptus (398,25 t CO₂eq /ha) qu'en savane (50,05 t CO₂eq /ha). De surcroît, il a été constaté que plus les peuplements sont vieux, plus ils stockent du carbone, 4 tC/ha/an pour les jeunes contre 9tC/ha/an pour les plus âgés. (Noiha Noumi et al.2018).

Pour ce qui est de la structure du sol (Figure 3), les arbres s'adaptent et s'enracinent de manière plus profonde en présence d'une culture (Torquebiau 2022; Cannell, Van Noordwijk, ONG 1996). Au-delà de structurer le sol et de limiter la concurrence, l'arbre procède comme une pompe à eau. En effet, grâce à un processus d'ascenseur hydraulique, l'eau en profondeur est redistribuée dans les couches supérieures (Bayala, Prieto 2020). De plus, ils améliorent l'infiltration et donc réduisent le ruissellement, limitent les pertes par évapotranspirations et filtrent les polluants. De la même manière, la structure racinaire œuvre comme un filet à nutriments permettant de réduire les pertes en créant un filant de sécurité (Isaac, Borden 2019). Ainsi, des nutriments très mobiles comme le NO_3 sont fixés. Les racines des arbres stratifiées sous la zone racinaire des cultures capturent les nutriments inutilisés qui se déplacent vers le bas du profil du sol (Pierret et al. 2016). Ceux-ci trouvés en profondeur sont restitués ensuite au sol en surface via la décomposition de la litière, le terme de pompe à nutriments est utilisé. Il est observé également un apport supplémentaire via les exsudats racinaires. Finalement, les arbres fixateurs d'azote ont la capacité de rendre l'azote de l'air accessible aux plantes par un processus de fixation via les nodules (Nygren et al. 2012).

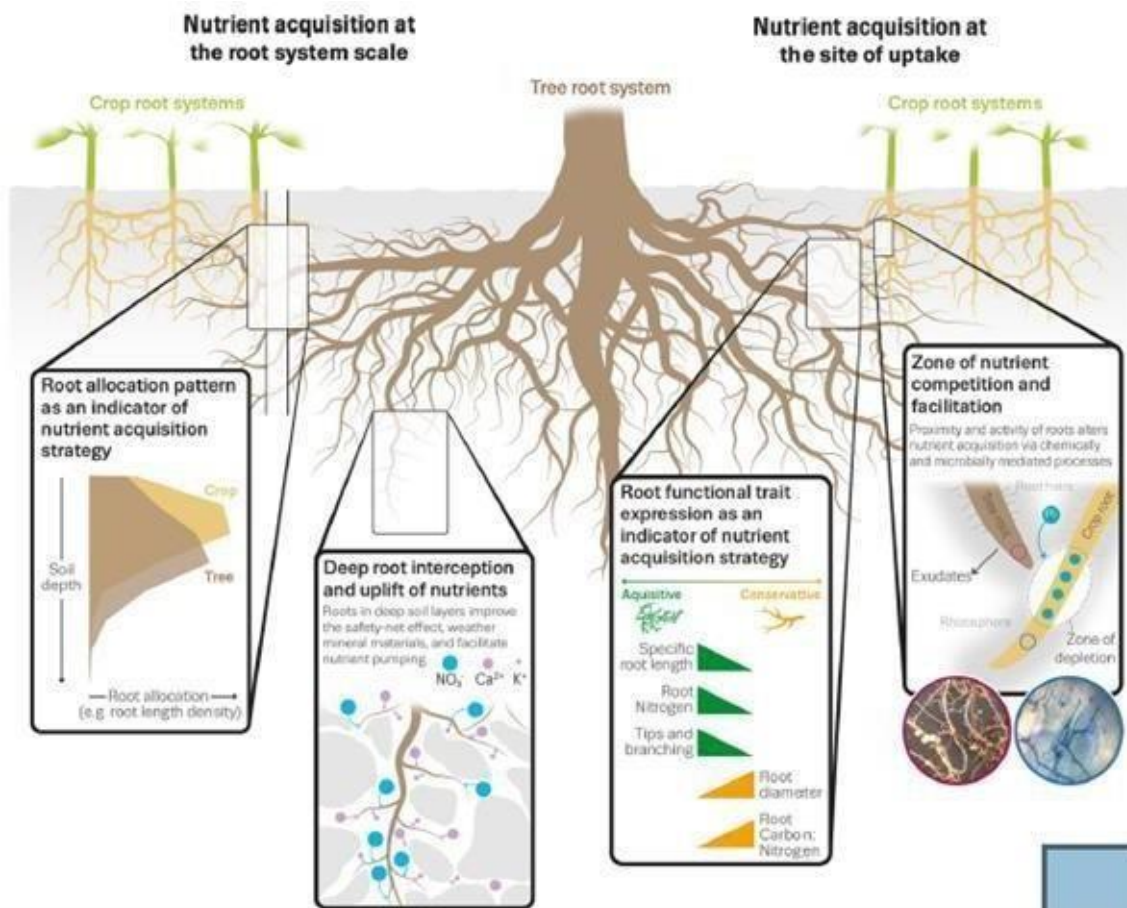


Figure 3 : Schéma des services écosystémiques racinaires : filet à nutriments, transferts de nutriments, enracinement plus profond et stratégie acquisition des nutriments (Borden et Isaac, 2019)

3.2 Des acteurs pour accompagner la transition

3.2.1 Le CIRAD

Le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en recherche Agronomique pour le développement) est un établissement public français à caractère industriel et commercial (Épic). Ce dernier, avec de nombreux partenaires dans une cinquantaine de pays sur l'ensemble des continents, œuvre pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes (Cirad, 2023). En Martinique, le CIRAD est accueilli au sein du Campus Agro environnemental des Caraïbes avec l'Institut technique tropical (IT2). L'unité GECO travaille sur le Fonctionnement écologique et la gestion durable des agrosystèmes bananiers et ananas avec notamment, en 2007, le lancement du Plan banane durable. L'objectif du projet était de mobiliser les acteurs de la filière banane en Guadeloupe et en Martinique : LPG (Les Producteurs de Guadeloupe), BANAMART (Union des producteurs de bananes de Martinique), UGPBAN (Union des groupements de Producteurs de Bananes de Guadeloupe et Martinique) et le CIRAD afin de co-construire des innovations agronomiques. Ce projet a permis de réduire de 50% l'utilisation des pesticides et de créer l'IT2 (Institut Technique Tropical) ayant pour mission de faire le lien entre la recherche et les producteurs. De plus, deux plateformes ont vu le jour, « Systèmes de culture innovants » et « Création et sélection de nouvelles variétés » rassemblant et rendant accessibles les données autour des alternatives agroécologiques et la création de nouvelles variétés. Ensuite, un projet autour de l'agroécologie et de l'agroforesterie voit le jour, la plateforme expérimentale : BANABIO. Mis en place en 2017 sur une base de co-conception participative entre agriculteurs, techniciens, responsables d'organisation de producteurs, institutionnels et chercheurs, le projet vise à améliorer les connaissances de la culture de banane en bio et encourager sa mise en place. Les objectifs sont les suivants : fédérer des acteurs en formant un réseau autour de la transition agroécologique, établir des références techniques et économiques pour mettre en lumière les avantages et freins à la mise en place de tels systèmes par des planteurs, transmettre les résultats à travers des publications scientifiques et sous format vulgarisé.

3.2.2 L'Isaac Lab

L'Integrative Agroecology Lab travaille sur les systèmes agroécologiques et agroforestiers. Les études basées sur traits fonctionnels permettent d'améliorer l'efficacité du système en optimisant les interactions plantes sols, les cycles de nutriments et en favorisant les services écosystémiques. Au-delà de l'aspect technique, les processus sociaux sont étudiés afin d'identifier ce qui initie le changement et afin de comprendre le rôle du bien-être des agriculteurs, le rôle des réseaux agraires et le rôle des traits fonctionnels (comme l'étude réalisée au Costa Rica : Isaac and al ; 2018).

3.2.3 Le Conservatoire Botanique National de Martinique

Le Conservatoire Botanique National est une institution à caractère scientifique qui a pour mission de connaître, faire connaître et recenser la flore autochtone et ses milieux naturels, d'en déterminer ceux qui sont rares et menacés et donc de mettre en place des actions de préservation et conservation. Le CBN a également un rôle de sensibilisation et de vulgarisation auprès du grand public. Dans une démarche de conservation, le CBN est en cours de rédaction d'itinéraires techniques de production d'arbres indigènes afin d'aider les pépiniéristes à les cultiver, pour que ces arbres soient plus accessibles pour des projets d'aménagements du territoire, agricoles, personnels, de restaurations des écosystèmes et des fonctionnalités écologiques. Le conservatoire est également acteur du développement de la marque Végétal Local. Cette marque est un outil de traçabilité sur les aspects sauvages (issus de milieux naturels) et locaux (indigènes / endémiques).

Mêlant compétences agronomiques, écologiques, techniques et scientifiques, ces deux entités se réunissent autour du projet MadinSAF. Venant en appui et inscrivant le projet sur le long terme, le conservatoire de botanique suit le projet.

3.3 Une étude écologique

3.3.1 Une approche par l'étude des traits fonctionnels

Avant toute chose, un trait est associé à une caractéristique qui se veut mesurable à l'échelle de l'individu. Par trait fonctionnel, il est entendu un trait qui influence la croissance, la reproduction et la survie et qui donc a un impact direct ou indirect sur l'adaptation de l'individu (valeur sélective) (Violle et al. 2007).

Dans ce projet, la caractérisation des essences d'arbres se base sur l'étude des traits fonctionnels. L'approche se veut à la fois à l'échelle individuelle et parcellaire. Cela s'inscrit dans une compréhension globale de l'écosystème car les traits constituent l'identité de l'arbre d'un point de vue morphologique, physiologique et chimique. C'est une manière d'appréhender les causes et conséquences des interactions entre les espèces qu'elles soient d'origine biotiques ou abiotiques. Cela a permis entre autres de mieux comprendre le fonctionnement écologique des écosystèmes, élément important pour anticiper une réponse des écosystèmes aux changements environnementaux. Les traits fonctionnels permettent d'établir des hypothèses de réponses des plantes face à un stimuli extérieur et comment elles influencent elle-même l'écosystème. Cette structure « réponse et effet » est très utile en agriculture pour déterminer les besoins des cultures pour pousser et survivre, ainsi que leur manière de s'adapter à un aléa et pour connaître les apports de ces dernières à leur environnement (notamment sur le cycle du carbone et le cycle des nutriments). Cette approche est d'autant plus utile en association de cultures pour mettre en lumière les relations entre espèces et surtout leur nature. En effet, elles peuvent être de compétition si les espèces se partagent la même ressource (eau/ nutriments), elles peuvent avoir une relation de complémentarité avec une optimisation de la ressource (récupération de la ressource sur des strates différentes). Finalement, les espèces peuvent se faciliter l'accès aux ressources, la relation est de facilitation. Ainsi, il est possible d'expliquer certaines réponses de l'arbre vis-à-vis de son environnement qui constituent donc un réel atout pour anticiper quelle place pourrait avoir l'arbre étudié dans un agroécosystème bananier. Ces caractéristiques donnent une idée des apports, restitutions, compétitions des individus. Ainsi, en connaissance de ces traits, le choix d'intégration d'une espèce d'arbre en système agroforestier sera guidé et facilité par des critères répondant à des objectifs agronomiques, environnementaux et sociaux. Le schéma ci-contre (Figure 4) illustre bien la complexité de l'écosystème très dépendant des caractéristiques individuelles (traits fonctionnels) sans pour autant négliger les effets d'interactions et de réponses résultant des facteurs externes, qu'ils soient biotiques ou abiotiques. L'équilibre de l'écosystème en est très dépendant d'où l'enjeu de le prendre en compte dans un système agricole pour en assurer sa durabilité :

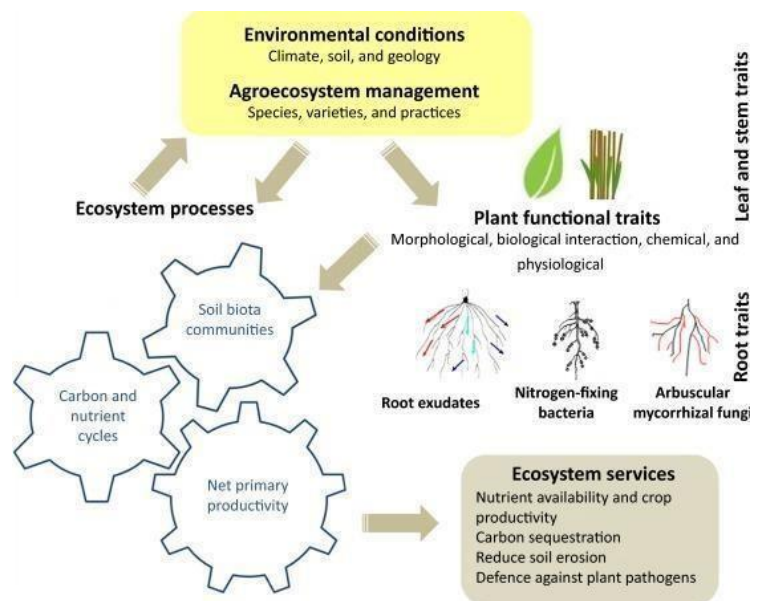


Figure 4 : Schéma illustrant le lien entre traits fonctionnels et influence de l'environnement ((Falcon et al, 2017)

3.3.2 Utilisation des ressources – Stratégie écologique des arbres

Afin de maximiser leur valeur sélective, les végétaux font des compromis évolutifs, notamment pour l'allocation des ressources. La forte corrélation entre l'expression des traits fonctionnels des feuilles permet de supposer que les stratégies d'investissement des plantes suivent un spectre commun. Cette hypothèse a permis d'établir un modèle commun aux espèces : *Leaf economic spectrum* qui, par la suite, est généralisé en *Plant economic spectrum*, présentant le compromis entre stratégie acquisitive et stratégie conservatrice. Basé sur une étude de 2548 espèces sur 175 sites, le spectre défini oscille entre un retour sur investissement lent à rapide en nutriments et masse sèche. Les plantes acquisitives misent sur l'acquisition des nutriments avec des grandes feuilles fines, un taux de renouvellement et une croissance générale rapide. Tandis que les plantes conservatrices misent plus sur la structure pour assurer leur résistance avec des feuilles épaisses et une forte teneur en matière sèche ainsi que des troncs plus denses et donc une croissance plus lente. (Xiaoping,2020)

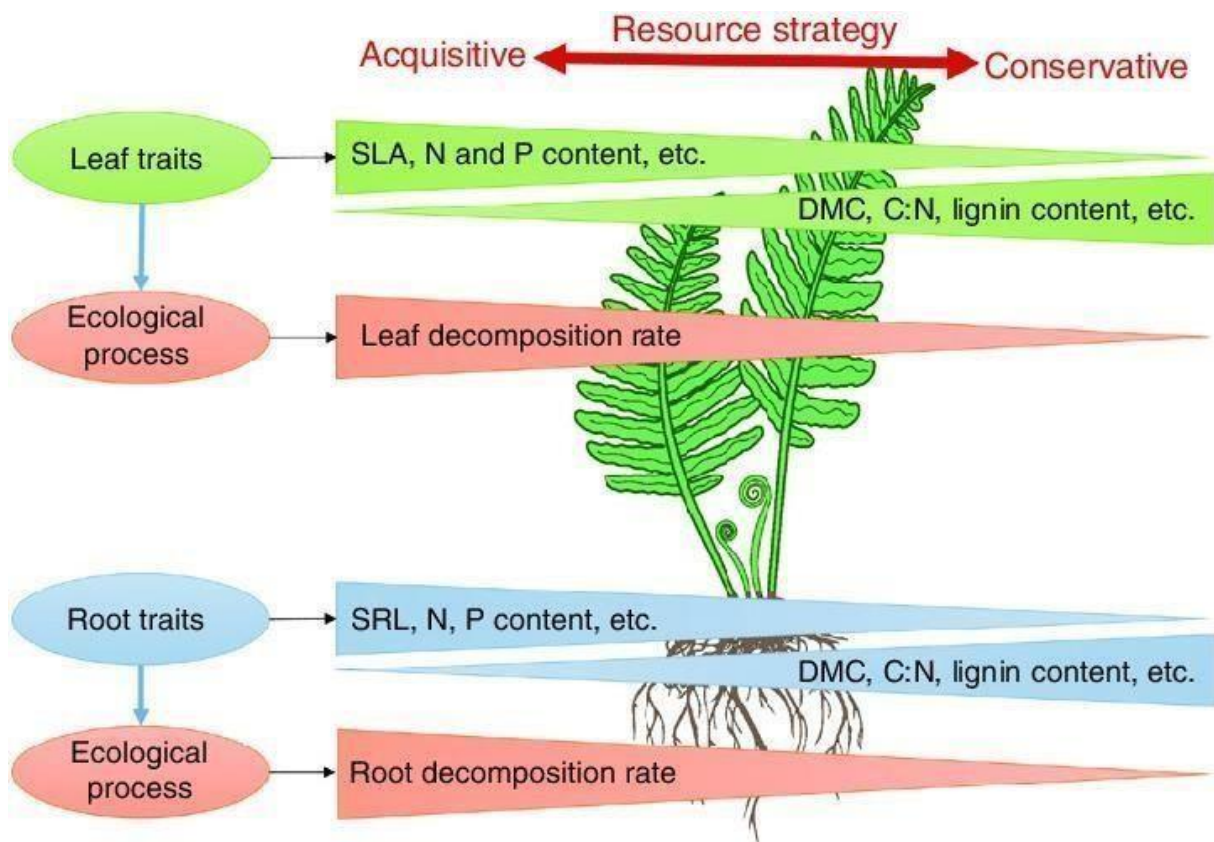


Figure 5: Diagramme du spectre économique des feuilles et des racines et les effets sur les processus écologiques (Dunmei, 2019)

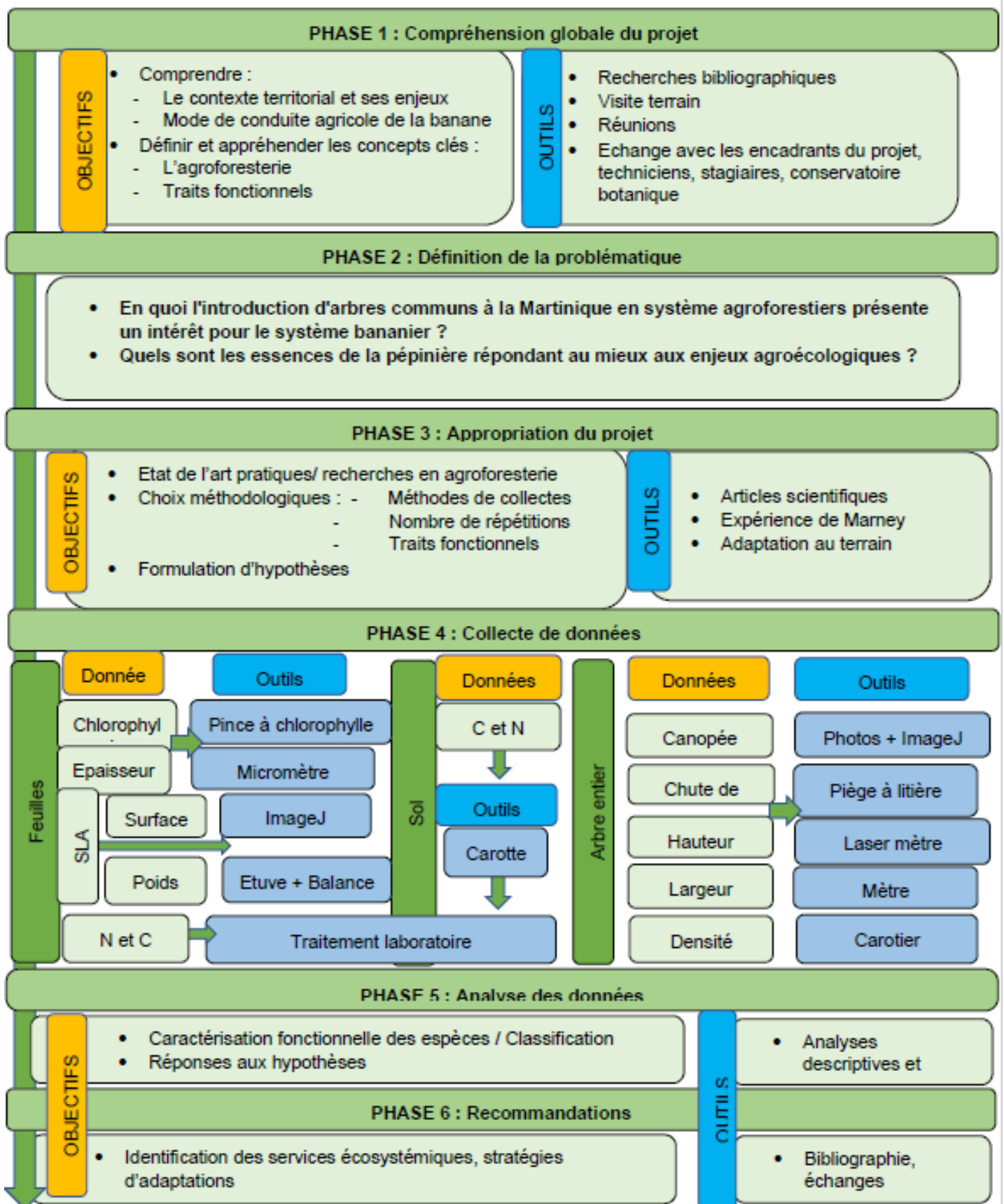
4 Projet MADINSAF : problématiques et objectifs

Ainsi dans ce contexte, deux enjeux se dessinent : d'une part, il est urgent de préserver la biodiversité indigène à la Martinique et, d'autre part, d'initier une transition agroécologique afin que la production de bananes soit économiquement rentable, socialement utile/ acceptée et respectueuse de l'environnement. L'agroforesterie dans ce contexte tropical riche et propice semble être le point de rencontre entre conservation et production agricole. De nombreuses études ont été menées ces 10 à 20 dernières années pour introduire des plantes de couverture dans les agrosystèmes de Martinique (Damour G. 2014). Ces études concernent principalement l'introduction de plantes de service herbacées, or les écosystèmes naturels des petites Antilles se caractérisent par la prépondérance de la végétation arborée dans les systèmes naturels. Les arbres constituent donc un réservoir biologique où certaines espèces peuvent présenter un fort potentiel pour être intégrées dans les systèmes de culture et apporter divers services écosystémiques.

L'originalité de cette étude est qu'elle ne concerne pas des espèces d'arbres déjà étudiées pour le bois d'œuvre, il s'agit d'explorer la "biodiversité commune". Il y a en effet des espèces d'arbres très répandues et qui pourraient rendre des services intéressants pour l'agriculture mais qui n'ont pas été étudiées jusqu'à présent. Cette démarche a déjà été utilisée en systèmes agroforestiers café et cacao de par le monde, soit en reposant sur des évaluations par dire d'acteurs (Snoeck et al. 2021), soit par des quantifications directes de traits fonctionnels des arbres (caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques) qui sont reliées à leurs effets sur l'agroécosystème (Sauvadet, Asare, Isaac 2020). L'analyse de ces différentes approches dans ces systèmes agroforestiers a ainsi permis la mise en place de cadres de prédiction des effets des espèces d'arbres sur leur compatibilité avec la culture et la fourniture de différents services écosystémiques (Isaac, Borden 2019) En résumé, le projet MADINSAF vise à explorer la biodiversité d'arbres présente spontanément en Martinique autour de la question suivante : **En quoi l'introduction d'arbres communs à la Martinique en système agroforestier assure la durabilité du système bananier ?** De manière plus pragmatique cela sous-entend : **quels types d'essences en fonction du système bananier pour répondre aux enjeux agroécologiques ?** Par agroécologie, il est sous-entendu premièrement les enjeux agronomiques et donc : quelles sont les essences qui répondent au mieux aux besoins des bananiers ? Ceci s'intéresse à l'efficacité du système en lien avec la rentabilité. Deuxièmement, les enjeux sont environnementaux et donc l'étude s'intéresse à : Quels types de services écosystémiques apportent chacun des arbres ? et : Quelles sont les essences qui s'intégreront au mieux en limitant les relations de compétition ? Finalement, le sujet touchant à des problématiques d'ordres sociétales, l'étude abordera les motivations et intérêts liées à l'agroforesterie. La question soulevée est la suivante : Quels types d'essences en fonction des priorités des agriculteurs ? La facilité de gestion sera également un critère de choix. Un dernier objectif sera de fédérer les acteurs nécessaires (Planteurs, Conservatoire de Botanique, Office Nationale des Forêts, Association Française d'Agroforesterie...) et surtout de rendre accessibles les données à ces derniers (réalisation de fiches techniques : Annexe 4).

PARTIE 2 : Matériels et Méthodes

Schéma général méthodologique :



1 Présentation des zones d'études

Les prélèvements ont été réalisés principalement sur la pépinière du site expérimental de Petit Morne (Annexe 1). L'étude est complétée, sous le même protocole, par deux autres sites appliquant l'agroforesterie. Sur les trois sites, les sols, très profonds, sont de type alluvionnaire argileux.

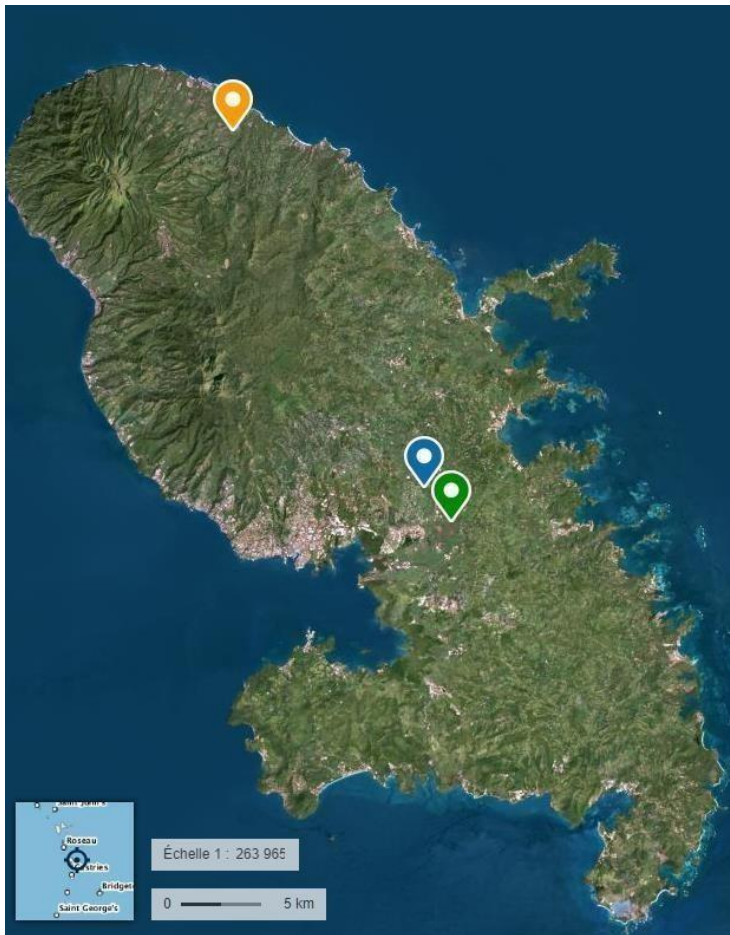


Figure 6: Carte localisant les trois sites d'études (Géoportail, 2023)

- Bananeraie Aubery
- Banabio
- Pépinière Petit Morne

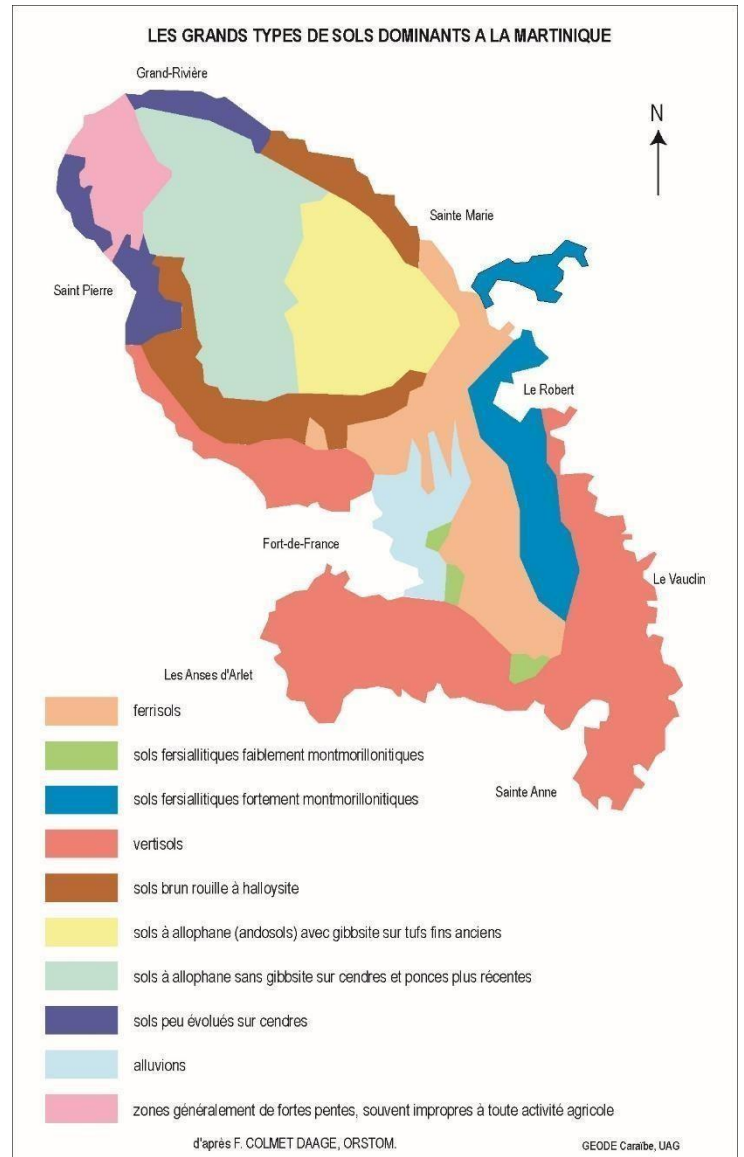


Figure 7: Carte des sols (Géomartinique, 2016)

1.1 Pépinière expérimentale – Petit Morne, CAEC

1.1.1 Organisation générale

L'étude est menée dans la pépinière située sur la parcelle expérimentale « Petit Morne » du CAEC. La pépinière de 0,2 ha est constituée de 4 planches d'environ 500m². Les précédents culturaux sont des bananiers peu traités suivis d'une jachère sur deux ans.



Figure 8: Vue aérienne pépinière Petit Morne (Géoportail, 2017)

Les planches sont découpées en six placettes. Chaque placette possède une espèce différente représentée par 12 individus espacés de 2,67 m. Au total, 23 espèces indigènes à la Martinique constituent la pépinière.

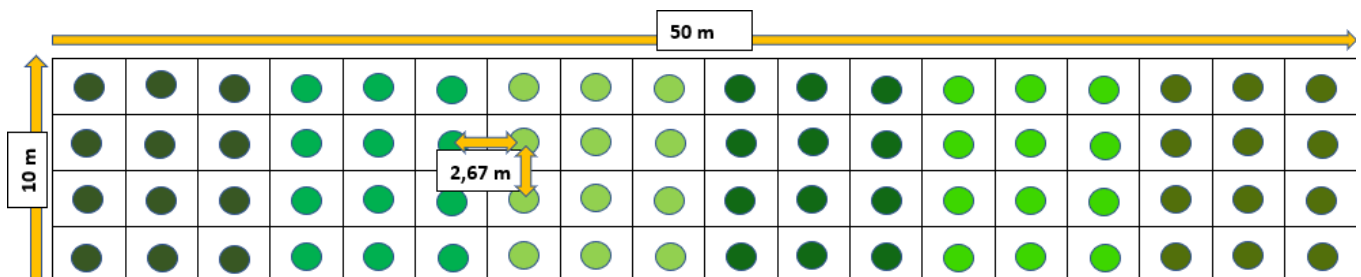


Figure 9: Schéma d'une planche (auteur, 2023)

1.1.2 Les essences d'arbres

Les arbres ont été plantés entre 2019 et 2022, après avoir effectué des semis de graines récupérées en milieux naturels ou bien issues de plants fournis par le Conservatoire Botanique de Martinique. Ces derniers constituent une collection d'arbres à potentiel agroforestier. La pré-sélection a été effectuée selon les critères suivant :

- L'origine géographique : les espèces sont natives à la Martinique.
- La facilité de gestion et les potentiels intérêts agronomiques : arbres avec une croissance rapide, qui supportent la taille et qui produisent des résidus de bonne qualité permettant d'améliorer la qualité du sol. Les fixateurs d'azote par associations symbiotiques sont privilégiés tout comme les espèces qui présentent un potentiel de valorisation (fruits, médicinal).

L'étude se concentrera sur les individus âgés de deux à trois ans, soit sur 16 espèces qui sont les suivantes :

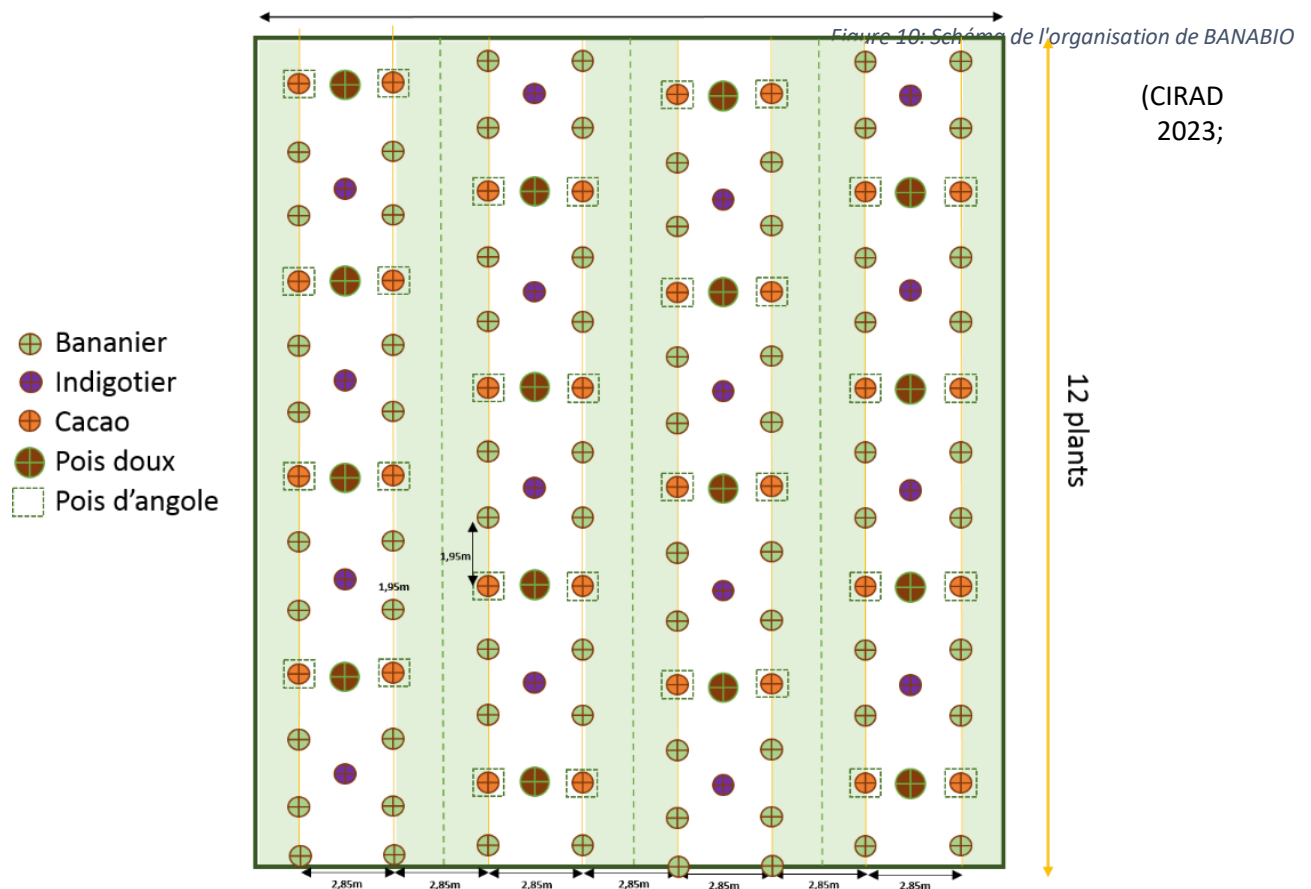
Tableau 1: Essences de la pépinière Petit Morne ; les essences en orange sont fixatrices d'azote (Amassaghrou et al. 2021)(INPN 2023)

Arbres à potentiels agroforestiers – Pépinière Petit Morne		
<u>Nom latin</u>	Famille	Valorisation
<i>Erythrina corallodendron</i>	Fabacée	Bijoux / Plantes Médicinales
<i>Trema micrantha</i>	Cannabacées	Cordes/ Bois
<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	Fabacée	Bois / Insecticide/ Plantes Médicinales
<i>Cedrela odorata</i>	Méliacée	Bois
<i>Inga laurina</i>	Fabacée	Gousses comestibles/ Bois/ Plantes Médicinales
<i>Ochroma pyramidales</i>	Malvaceae	Bois/ Fibres
<i>Pimenta racemosa</i>	Myrtaceae	Bois/ Plantes Médicinales/ Condiments
<i>Inga ingoides</i>	Fabacée	Bois/ Ombrage
<i>Cordia alliodora</i>	Boraginacées	Bois
<i>Lonchocarpus roseus</i>	Fabacée	Bois/ Plantes Médicinales
<i>Cecropia shreberiana</i>	Cecropiaceae	Fruit comestible/ Bois/ Plantes Médicinales
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Fruits comestibles (boisson) Bois Ombrage Fourrage Plantes Médicinales Fibres de l'écorce : cordes
<i>Citharexylum spinosum</i>	Verbenaceae	Bois (fragile)/ Plantes Médicinales
<i>Lonchocarpus punctatus</i>	Fabacée	Bois Poison de pêche Production de mousse (lessive...)
<i>Sapium glabulosum</i>	Euphorbiaceae	Bois/ Glu/ Poison de pêche
<i>Gliricidia</i>	Fabacée	Purin

1.2 BANABIO (BANAne BIologique)

Le deuxième site de prélèvement est situé à Rivière Lézarde sur la parcelle expérimentale BANABIO. Cet essai est composé de deux systèmes de cultures bananiers innovants en agriculture biologique, Bio-intensive et Bio-diversifiée. Ceux-ci sont comparés à un témoin en agriculture conventionnelle. Dans le premier système « Bio-intensif », les intrants conventionnels sont remplacés par des intrants organiques et biologiques. Dans le deuxième système « Bio-diversifié », les bananiers sont associés à d'autres cultures et arbres. Les trois parcelles Bio-diversifiées sont constituées de plusieurs strates (Figure 10)

- Le pois doux en strate haute qui fixe l'azote, restitue de la matière organique et favorise la régulation des ravageurs.
- L'Indigotier sous les bananiers qui fixe de l'azote et apporte de la MO.
- Des cacaoyers sont également présents en strate basse pour la valeur ajoutée.
- Les pois d'Angole ont servi en début de cycle à fournir du mulch par destruction.



Ecophyto 2023)

Le but de la présente étude étant de comparer la variation d'expression des traits fonctionnels en pépinière et en système agroforestier, les prélèvements sont effectués sur les pois doux (*Inga Ingoides*) de ces trois parcelles.

1.3 Bananeraies Aubery

Les derniers prélèvements sont réalisés dans les bananeraies de l'Habitation Capote de Patrick Aubery à Basse-Pointe. L'agroforesterie est testée sur une dizaine d'hectares parmi les 60 hectares de l'exploitation.



Figure 11 : Photographies des bananeraies en agroforesterie de monsieur Aubery

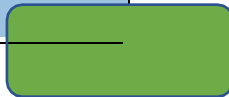
Les parcelles sont composées d'un mélange de bananiers, de desmodium (plante de couverture), de cacaoyers associés soit à des eucalyptus soit à des gliricidias (*Gliricia Sepium*). Un enherbement permanent est maintenu permettant l'arrêt des insecticides. L'objectif est d'améliorer la qualité des sols et d'assurer la résilience du système (Inghirami Benaroch 2023). Les mesures des traits fonctionnels sont effectuées sur neuf des gliricidias (*Gliricia Sepium*).

2 Sélection des traits fonctionnels

La mesure de traits fonctionnels va être utilisée pour caractériser les arbres, les suivants sont sélectionnés pour les indications qu'ils donnent :

Nature des traits	Traits	Indicateur de fonctions, (Siefert et al. 2016; Syversten 1995; Pietsch et al. 2014; VILE et al. 2005)
Physiologiques	Chlorophylle	Plus le taux de chlorophylle est important, plus la feuille est en bonne santé et plus elle présente de bonnes capacités pour réaliser la photosynthèse. En effet, la chlorophylle est une molécule de pigment qui absorbe la lumière et la transforme en énergie chimique (le glucose) lors de la photosynthèse.
Chimiques	Azote	Plus le taux d'azote est important dans les feuilles, plus les litières en seront riches et donc plus ce nutriment sera restitué au sol. De plus, l'azote est également essentiel à la photosynthèse puisque c'est un composant de la Rubisco 8 et 13, enzyme permettant la fixation du CO ₂ . Enfin, le taux d'azote est corrélé positivement à la quantité de phosphore.
	C/N	Indicateur de la capacité d'un produit organique à se décomposer. Les repères sont les suivants : <ul style="list-style-type: none"> • Si le Carbone est en proportion plus importante (C/N > 60), l'apport de nutriment se fera sur le long terme. • Au contraire, si l'Azote est en proportion plus importante, la fertilité sera plus immédiate (C/N < 25 – 30).
Les éléments participant à la photosynthèse contribuent par son processus au captage du CO ₂		
Morphologiques	Chute de feuilles	Plus la quantité de feuilles qui tombe est importante, plus il y a de restitution de nutriments via les feuilles par décomposition de la matière organique. Les litières couvrent le sol et peuvent faire concurrence aux adventices et également maintenir une humidité au sol. La litière d'espèces avec une qualité d'azote foliaire et des taux d'assimilation du carbone plus élevés se décompose plus rapidement, tandis que la litière d'espèces avec des investissements plus élevés dans la structure (LMA, lignine) se décompose plus lentement.
	Ouverture de la canopée	L'ouverture de la canopée détermine l'accessibilité et la transmission de la lumière des strates inférieures. Ce paramètre va jouer sur les processus de photosynthèse et du sol. Cela va aussi déterminer la création d'un micro-climat, en effet, plus la canopée sera fermée, plus l'humidité au sol et ambiante sera présente, tout comme une diminution de l'évapotranspiration.

	Vitesse de croissance	Plus la vitesse de croissance est importante, plus vite l'arbre se retrouve en strate haute et a donc accès à la lumière. Cela est un bon indicateur sur son taux de productivité et ses choix stratégiques dans l'utilisation des nutriments. Un arbre qui pousse rapidement investira moins dans sa structure ligneuse et sera donc plus vulnérable aux aléas climatiques. (compromis biotiques/ abiotiques)
	Épaisseur	Plus la feuille est épaisse, plus la décomposition de la litière est lente. Une feuille épaisse aura une durée de vie plus longue avec un nombre de couches mésophylles plus importantes. Le pourcentage d'azote est plus faible dans des feuilles plus épaisses et la diffusion du CO2 dans les tissus est plus lente. Une feuille plus épaisse sera plus résistante aux déficits hydriques avec une augmentation des cellules dans le mésophylle et donc une diminution de l'espace intercellulaire et du mouvement d'eau : moins de transpiration / évaporation au détriment de la photosynthèse
	LDMC Leaf Dry Matter Content	Plus le taux de matière sèche augmente dans la feuille, plus ces dernières sont résistantes aux agressions extérieures. La litière au sol sera quant à elle plus longue à se décomposer
	SLA Surface foliaire spécifique)	Plus la surface foliaire spécifique (SLA) est importante, plus la feuille a la capacité de capter la lumière. Au niveau de la litière, sa décomposition sera accélérée. Lorsqu'au contraire elle se réduit (SLA plus petite), cela confère à la plante une meilleure résistance au stress hydrique avec une diminution de l'évapotranspiration. La feuille ainsi plus petite est plus résistante donc sa longévité est plus importante avec plus d'investissements de Carbone dans les composées secondaires (tanins et lignine).



FEUILLES

SOL

3 Plan d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage (Annexe 3) se repose sur le manuel qui standardise les mesures de traits au niveau mondial (Pérez-Harguindeguy et al. 2013), la méthode globale de caractérisation par les traits fonctionnels se base sur les études suivantes : (Martin, Isaac 2015; 2018)

3.1 Étude foliaire

Chaque mesure est réalisée sur cinq feuilles de trois individus représentatifs par comparaison parmi les douze de chaque espèce. Les individus sont dits représentatifs sur des critères qualitatifs observables : sont exclus les extrêmes (trop grand / petit ; trop fin/ épais) et ceux en bordures de parcelles dans la mesure du possible. Les feuilles sont collectées à 60% de hauteur de l'arbre ; sont exclues les feuilles jeunes. Ainsi, cinq feuilles sont prélevées à l'aide d'une perche soit 15 répétitions par espèce.

3.1.1 Traits Physiologiques :

- Chlorophylle

Le taux de chlorophylle est mesuré avec une pince à chlorophylle à trois endroits différents sur chaque feuille.

3.1.2 Traits Morphologiques :

- Épaisseur, LDMC, SLA

L'épaisseur est mesurée sur chaque feuille avec un micromètre puis celles-ci sont numérotées de 1 à 5 et placées dans un papier humide. En laboratoire, le poids vert est pesé avec une balance puis elles sont scannées avant d'être placées à l'étuve dans une enveloppe les identifiant. L'image scannée est analysée sur ImageJ afin de calculer la surface. Après 48h dans une étuve à 60°C, les feuilles sont pesées pour obtenir la masse sèche. La relation de la surface à la masse sèche est la suivante :



Figure 12: Scan d'une feuille de *Lonchocarpus hepta*

$$SLA = \text{Surface (cm}^2\text{)} / \text{masse sèche (g)}$$

3.1.3 Traits Chimiques :

- Azote, Carbone

Les feuilles sèches sont ensuite broyées au broyeur, placées et identifiées dans des Eppendorf et envoyées au laboratoire de Toronto « Isaac lab ». Les feuilles broyées sont préparées sous forme d'échantillons dans des petites capsules en aluminium pour être analysées grâce à une chromatographie en phase gazeuse.

3.2 Etude sol

- Masse volumique (cm³/g)

À 70 cm du tronc, vers l'intérieur de la parcelle, un prélèvement par individu est réalisé, soit trois prélèvements par espèce.

Après avoir dégagé la zone de prélèvement de la litière, avec un cylindre métallique, une planche en bois et un maillet, une carotte est constituée puis récupérée avec une pelle. L'intégralité du cylindre doit être repris sans tasser le sol.

La carotte est pesée puis un échantillon de celle-ci est récupéré et pesé. Cet échantillon est placé dans une étuve à 60°C pendant 48h. Il est ensuite de nouveau pesé. Le pourcentage d'humidité est obtenu par proportionnalité permettant d'avoir la valeur de masse sèche. La masse volumique du sol est calculée de la manière suivante :

$$\text{Masse volumique} = \text{Masse sèche (en grammes)} / \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

- Azote, Carbone

Pour chaque individu, trois prélèvements sont réalisés de la même manière que précédemment, puis mélangés. Ces derniers sont placés à l'étuve à 60°C pendant 48h puis broyés, placés dans des Eppendorf identifiés et envoyés à l'Isaac Lab. Les échantillons sont ensuite préparés dans des capsules en aluminium pour être analysés par chromatographie en phase gazeuse.

3.3 Etude de l'arbre en entier

- **Vitesse de croissance :**

La hauteur de l'arbre est mesurée avec un laser pointant la base de l'arbre puis l'extrémité du houppier. À cette mesure est ajoutée la hauteur à laquelle le laser effectue la mesure.

L'âge est calculé depuis la date de plantation dans la pépinière.

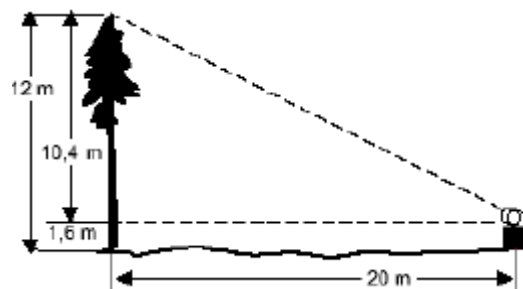


Figure 13: Schéma de la mesure de la hauteur par laser (FAO, 2023)

La vitesse est donc calculée avec la formule suivante :

$$\text{Vitesse} : \text{Hauteur (en m)} / \text{âge (en années)}$$

- Chute de litière

Un piège à litière est placé au milieu de chaque espèce. Le piège est fabriqué avec quatre tasseaux d'un mètre, fixés entre eux par des équerres. Un filet est agrafé à la structure et l'ensemble est mis en place entre quatre arbres grâce à de la ficelle.

Les litières sont relevées une fois par semaine et elles sont placées à l'étuve à 45 °c pendant une semaine. Les litières sont ensuite pesées et stockées dans des boîtes en plastique classées par espèce. Elles sont conservées pour des analyses qui suivront.

- Ouverture de la canopée

Trois photos hémisphériques sont réalisées par arbre à un mètre du sol à l'aide d'un trépied. Les photos sont analysées sur ImageJ pour déterminer le passage de la lumière.

ImageJ permet d'obtenir le pourcentage de lumière à travers la canopée par sélection du ciel sur l'image. Un cercle standardisé est placé sur l'image. Ce même cercle est utilisé sur l'ensemble des images. L'analyse des particules permet d'obtenir le pourcentage de ciel correspondant à l'ouverture de la canopée. Une moyenne des trois photos permet d'obtenir le pourcentage de lumière que laisse passer la canopée.

4 Traitement des données - Analyse statistique

4.1 Étude foliaire

Les choix des tests statistiques sont guidés par les hypothèses qui doivent être confirmées ou infirmées.

Dans une première phase exploratoire, des boîtes à moustaches sont réalisées sur R pour visualiser les tendances des données et les variations entre espèces en fonction des traits mesurés. Puis les moyennes avec le coefficient de variation par trait en fonction des espèces sont calculées.

- 1) Pour l'hypothèse n°1, les différents niveaux de prélèvements sont comparés entre eux pour valider la cohérence de l'étude. Le but étant de vérifier que la différence des moyennes est significative entre les espèces sans toutefois l'être entre les individus d'une même espèce et entre les feuilles d'un même individu. Une ANOVA est réalisée avec le logiciel R.
- Avant toute chose, il s'agit de vérifier que les données suivent une loi normale et confirment l'homoscédasticité. Ces vérifications, sont réalisés avec le package « rstatix ». De plus, par la méthodologie d'échantillonnages, l'interdépendance des individus est vérifiée.

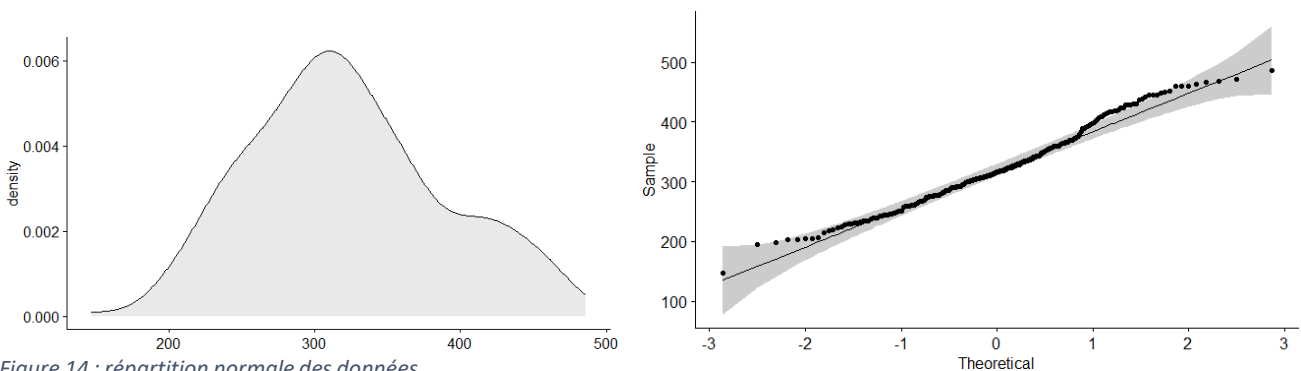


Figure 14 : répartition normale des données

- Si tel n'est pas le cas, les données font l'objet d'une transformation log. Cette transformation concerne les données de chlorophylle, l'épaisseur et le rapport C/N
- Ensuite, une ANOVA supplémentaire est faite pour comparer les moyennes de chaque trait entre les espèces. Un test de Tukey vient compléter l'analyse en formant des groupes permettant d'identifier entre quelles espèces existent les différences.

2) Pour l'hypothèse n° 2,

Une ANOVA vient ensuite comparer les différentes zones d'études en agroforesterie pour les espèces concernées avec la pépinière Petit Morne.

3) Pour l'hypothèse 3, il s'agit d'intégrer les données collectées en Martinique sur un graphique réalisé à partir de la base de données TRY (Fraser 2020) et Glopnet pour tracer l'inverse de la surface foliaire (LMA) en fonction du taux d'azote des feuilles.

4) Pour l'hypothèse 4, une ACP est réalisée avec les traits foliaires. Le package R « Factominer » est utilisé. Le but est d'obtenir une représentation visuelle permettant d'identifier les stratégies écologiques de chacune des espèces. Les coordonnées cartésiennes des individus sont récupérées afin de placer les espèces sur le « spectre d'économie foliaire ».

- ETAPE 1 : Déterminer le nombre de composantes principales

Les valeurs propres mesurent la quantité de variance expliquée par chaque axe principal. Ainsi, les axes (dimensions) portant une quantité maximale de variation des données seront conservés (Jolliffe 2002, Peres-Neto, Jackson, and Somers (2005)).

Les quatre premières composantes principales contiennent 91,6% de la variation. Nous nous concentrerons sur ces quatre dimensions.

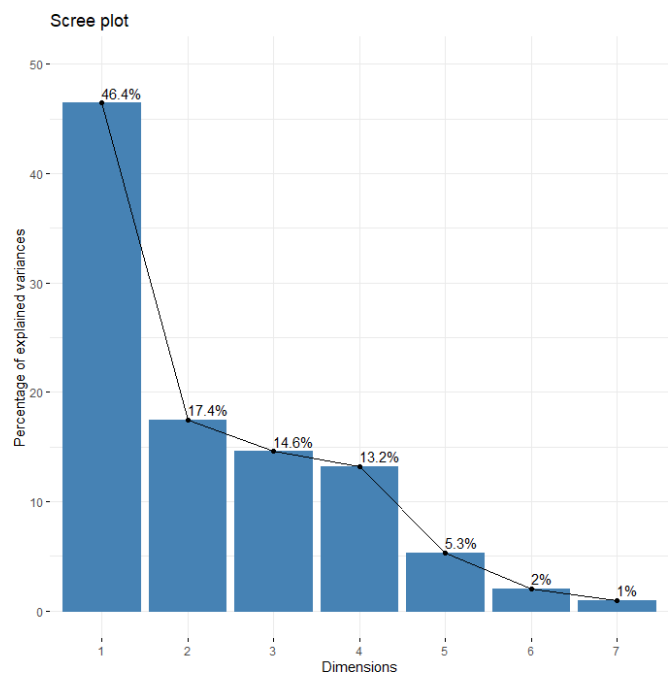


Figure 15 : Graphique des valeurs propres

- ETAPE 2 : corrélation des variables aux axes

Le Cosinus renseigne sur la corrélation entre la variable et le facteur, en d'autres termes, plus le cosinus est élevé en valeur absolue plus la variable est liée à l'axe. Le seuil de représentativité est fixé à $\cos = 0,6$ et donc $\cos^2 = 0,36$.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
Chloro	0.48628087	0.29124837	0.035108624	0.0000512099
thickness	0.24835348	0.03248732	0.001756875	0.6944078423
LDMC	0.51311457	0.14533156	0.183699044	0.0770632383
SLA	0.73887092	0.02909089	0.004820148	0.0376088270
N	0.61445306	0.19558393	0.076147351	0.0689519005
C.N	0.64827381	0.22678941	0.033073849	0.0461509701
Croissance	0.00190425	0.29996696	0.686408084	0.0002339416

Ainsi les variables qui contribuent à la détermination de l'axe 1 sont la chlorophylle, la LDMC, la SLA, l'Azote et le rapport C/N. La croissance sera lue sur l'axe 3 tandis que l'épaisseur sur l'axe 4. Finalement, l'étude se focalisera sur la manière dont les espèces se répartissent sur l'axe n°1.

- 5) Pour la dernière hypothèse n°5, une colonne qualitative est rajoutée à la base de données indiquant si l'espèce est fixatrice ou non. Ainsi, grâce au package « Factoextra », il est possible de créer des ellipses représentant visuellement les groupes.

4.2 Etude du sol et des autres paramètres

Des ANOVA permettent de tester l'effet des espèces et/ ou des groupes fonctionnels sur différents paramètres de sol ou autres.

PARTIE 3 : Résultats

1 Variabilité interspécifique et intraspécifique des traits des espèces étudiées

1.1 Hypothèse n°1 : Les différentes essences indigènes à la même zone géographique sont écologiquement différentes.

Les résultats montrent que les différentes espèces étudiées ont des valeurs de traits significativement différentes. Cela est le cas pour l'ensemble des 6 traits étudiés (Figure 15, Tableau 2).

Tableau 2 : Résultats des ANOVA testant l'effet des espèces sur l'expression des traits foliaires : surface foliaire spécifique, chlorophylle, épaisseur, teneur en matière sèche ; n=15 ; Les P-value significatives sont en gras. Le seuil de significativité α est de 0,05.

Traits Foliaires	Source	df	Mean SQ	F-value	P-value
Surface foliaire spécifique	Espèces	15	44247	27,36	<2e-16
Chlorophylle	Espèces	15	1,6140	41,07	<2e-16
Épaisseur	Espèces	15	0,4078	10,09	<2e-16
Teneur en matière sèche	Espèces	15	44559	25,31	<2e-16
Taux d'azote	Espèces	14	6,192	58,29	<2e-16
C/N	Espèces	14	0,9221	45,61	<2e-16

En effet, les valeurs moyennes de chlorophylle ont une grande gamme de variation allant de $264,84 \pm 43,3 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ pour le *Cedrela odorata* à $750,14 \pm 129,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ pour *Inga ingoides*. De la même manière, la moyenne de surface foliaire spécifique observe un écart important de $197,49 \text{ cm}^2/\text{g}$ entre *Pimenta racemosa* et *Lonchocarpus roseus* ayant respectivement les valeurs moyennes minimales et maximales. Le *Lonchocarpus punctatus* a un taux d'azote foliaire moyen de 3,24 % soit 1,8 fois plus que le *Pimenta racemosa*. Le taux d'azote foliaire moyen varie entre 1,40% et 4%. *Cedrela odorata* a la valeur d'azote la plus importante de 4,5%. Ensuite, le taux de matière sèche foliaire présente des valeurs variantes entre $240,37 \pm 31,55 \text{ mg}/\text{g}$ et $420,80 \pm 81,45 \text{ mg}/\text{g}$ faisant un écart de $180,4 \text{ mg}/\text{g}$. En revanche, la variation d'épaisseur des feuilles est moins importante avec pour valeur moyenne maximale le *Sapium gladulosum* à $420,80 \pm 81,45 \text{ mm}$ et pour valeur minimale moyenne le *Lonchocarpus roseus* avec $0,101 \pm 0,020 \text{ mm}$ (Figure 1).

Les moyennes des valeurs d'expression de chacun des six traits sont significativement différentes entre au moins deux espèces (Tableau 1). Il est possible de l'affirmer avec un risque d'erreur de 5%, la pvalue étant inférieure à 0,05. La comparaison deux à deux des espèces sur leurs valeurs de traits (test de Tukey) distingue les groupes (Figure1). À titre d'exemple, *Cedrela odorata* avec pour groupe « cde » possède des feuilles d'épaisseur significativement différente de *Lonchocarpus roseus* « f », *Sapium gladulosum* « a » et *Pimenta racemosa* « ab ». Pour la chlorophylle, *Cedrela odorata* (h) diffère significativement de *Citharexylum spinosum* (def), *Cordia alliodora* (bcd), *Inga ingoides* (a), *Inga laurina* (b), *Lonchocarpus heptaphylus* (cde), *Lonchocarpus punctatus* (efg), *Ochroma pyramidales* (efg), *Pimenta racemosa* (bc), *Sapium gladulosum* (ab).



Figure 16 : Boîte à moustaches représentant l'expression de chaque trait par espèce (n=15 pour l'épaisseur, la SLA, LDMC et la chlorophylle ; n = 14 pour l'azote et le rapport C/N). Les espèces sont classées de gauche à droite par ordre croissant de vitesse de croissance en mètres par an. La couleur rouge représente les espèces non fixatrices d'azote, tandis que la bleue représente les espèces fixatrices. Les points représentent les valeurs aberrantes. Le nom des espèces est codé de la manière suivante : Pr = *Pimenta racemosa*, Ec = *Erythrina corallodendron*, Co= *Cedrela odorata*, Gu= *Guazuma ulmifolia*, Lp = *Lonchocarpus punctatus*, Cs = *Cecropia shreberiana*, Tm = *Trema micrantha*, Lh = *Lonchocarpus heptaphylus*, Il = *Inga laurina*, Ca= *Cordia alliodora*, Gl= *Gliricidia Sepium*, li= *Inga Ingoïdes*, Cis= *Citharexylum spinosum*, Lr = *Lonchocarpus roseus*, Sg= *Sapium gladulosu*, Op = *Ochroma pyramidales*)

1.2 Hypothèse n°2 : L'expression des traits est modifiée par le contexte agronomique

Tableau 3 : Résultats des ANOVA comparant les valeurs de trait d'*Inga Ingoïdes* de la collection du CAEC et des parcelles d'essai en banane en agroforesterie (BANABIO) (n=45) ; et les *Gliricidia Sepium* de la collection du CAEC à ceux d'une parcelle de banane en production en agroforesterie (AUBERY) (n=45). Le seuil de significativité α est de 0,05. Les p-value significatives sont indiquées en gras.

	Traits Foliaires	Source	df	Mean SQ	F-value	P-value
BANABIO	Surface foliaire spécifique	Localisation	1	228,8	0,212	0,647
	Chlorophylle	Localisation	1	0,4179	7,647	0,00761
	Épaisseur	Localisation	1	0,11475	5,07	0,0281
	Teneur en matière sèche	Localisation	1	733	0,115	0,735
	Taux d'azote	Localisation	1	0,00357	0,041	0,84
	C/N	Localisation	1	0,005404	0,881	0,352
AUBERY	Surface foliaire spécifique	Localisation	1	34,3	0,036	0,849
	Chlorophylle	Localisation	1	0,002583	0,203	0,604
	Épaisseur	Localisation	1	0,03302	1,324	0,255
	Teneur en matière sèche	Localisation	1	3816	2,114	0,151
	Taux d'azote	Localisation	1	0,08945	0,855	0,359
	C/N	Localisation	1	0,001192	0,127	0,723

Dans le cas de M. Aubery, la différence de moyenne n'est pas significative avec une p-value supérieur à 0,05 pour l'ensemble des traits. Les mêmes constatations sont faites sur le site de BANABIO, excepté pour l'épaisseur et la chlorophylle ayant respectivement une p value de 0,03 et 0,008. En effet, l'épaisseur des feuilles d'*Inga ingoïdes* à Banabio est en moyenne de 0,137 mm soit 1,10 fois plus que les feuilles des *Inga ingoïdes* de la pépinière Petit Morne (0,124mm en moyenne). La moyenne de la quantité de chlorophylle des feuilles de la pépinière est de 750,14 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ contre 626,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ pour Banabio soit un écart de plus de 123 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$.

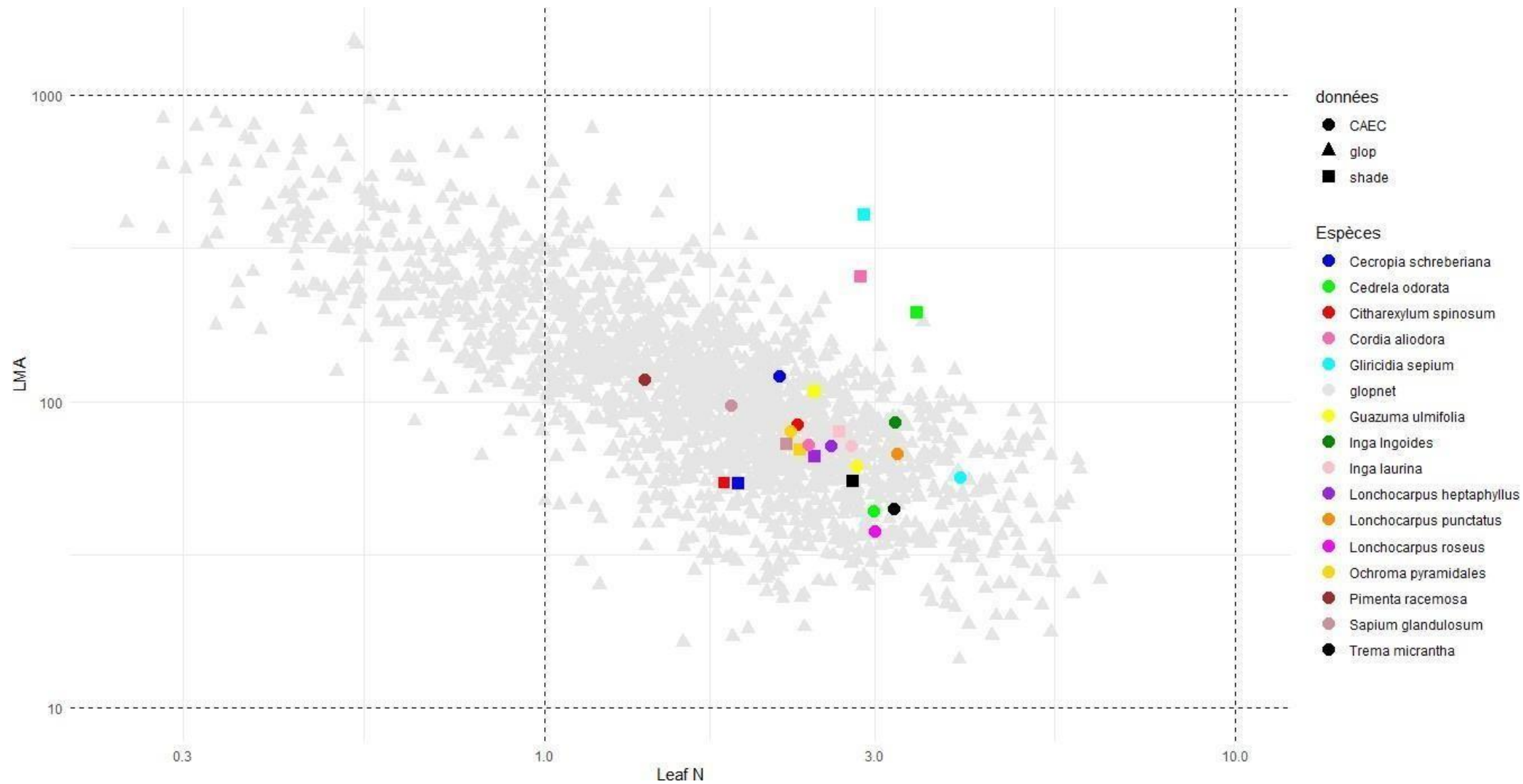
L'hypothèse n°2 n'est globalement pas vérifiée. Toutefois, il n'est pas possible d'affirmer que l'expression des traits ne dépend pas du contexte agronomique. L'hypothèse numéro 2 ne peut être infirmée même si la valeur des traits fonctionnels est indépendante du contexte pour chez M. Aubery et une partie de BANABIO.

1.3 Hypothèse n°3 : La zone géographique influence l'expression des traits

L'expression de masse foliaire par surface en fonction de la quantité d'azote (Figure 16) prouve que les arbres de la collection Petit Morne suivent une même tendance mondiale et sont localisés dans la zone où se concentre la majorité des arbres de la base de données Glopnet. En effet, les 16 essences du CAEC ont une faible masse foliaire par surface (LMA) donc une forte surface foliaire spécifique et un taux d'azote important, elles se situent parmi les arbres adoptant une stratégie acquisitive.

Ainsi, les arbres indigènes à la Martinique adoptent un comportement normal et semblable à des arbres de zones géographiques différentes. Il est donc possible d'estimer avec certitude le comportement des arbres de Petit Morne et d'assurer la fiabilité de l'étude tant dans son application que dans la prise de décision. L'hypothèse n°3 est donc infirmée, la zone géographique n'influence pas la valeur d'expression des traits foliaires.

Figure 17 : Graphique représentant l'inverse de la surface foliaire en fonction du taux d'azote foliaire des différentes essences de la collection du CAEC (n=15) représentées par des points de couleurs, les mêmes essences issues de la base de données TRY sont représentées par les mêmes couleurs respectives et des carrés. Les arbres issus de la base de données Glopnet sont représentés par des triangles gris.



2 Caractérisation des stratégies écologiques des espèces

À présent que la pertinence de l'étude est vérifiée, il est possible d'étudier plus précisément les stratégies écologiques des espèces et les services écosystémiques associés. Au-delà d'obtenir une fiche technique (Annexe 4) par espèce rassemblant les données fonctionnelles, le but est d'avoir des catégories d'espèces d'arbres adaptées à différents contextes.

2.1 Hypothèse n°4 : Les traits sont des indicateurs de la stratégie écologique des arbres : acquisitive / conservative

L'analyse par composantes principales (ACP) permet de projeter les individus sur différents plans qui correspondent ici aux traits foliaires. La figure 17 montre la relation des différents traits entre eux et la Figure 18 montre les individus (ici les arbres) représentés en fonction des Axes 1 et 2 de l'ACP.

Ainsi, les individus qui se situent dans la partie positive de l'axe 1 (Figure 18) possèdent des feuilles épaisses riches en chlorophylle avec une teneur en matière sèche importante et un rapport C/N élevé. L'exemple le plus représentatif est *Pimenta Racemosa* (Pr). Au contraire, sur la partie négative de l'axe 1, les feuilles sont grandes, fines et riches en azote comme *Lonchocarpus Roseus* (Lr). L'axe 2 n'est, quant à lui, pas très discriminant.

Les essences d'arbres de la pépinière Petit Morne se répartissant le long du spectre économique des feuilles (Figure 19)

L'hypothèse n°4 est donc confirmée, l'étude des traits fonctionnels permet de déterminer la stratégie écologique.

PCA graph of variables

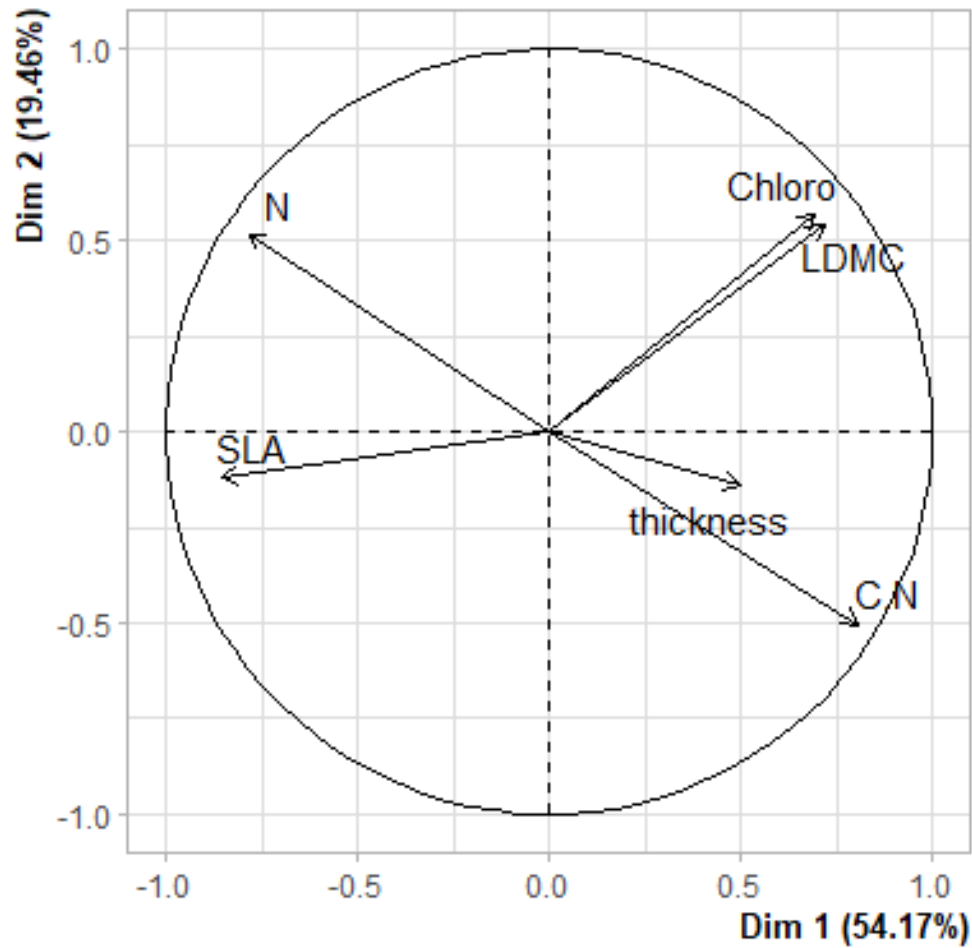


Figure 18 : Cercle de corrélation sur la dimension 1 et 2. Le pourcentage de variance expliqué par la dimension 1 est de 54,17%. Les facteurs sont les suivants : SLA = Surface foliaire spécifique, N = Azote, Chloro = chlorophylle, LDMC = Taux de matière sèche, thickness = épaisseur, C.N = rapport C/N. L'ensemble des facteurs est lisible sur l'axe des abscisses.

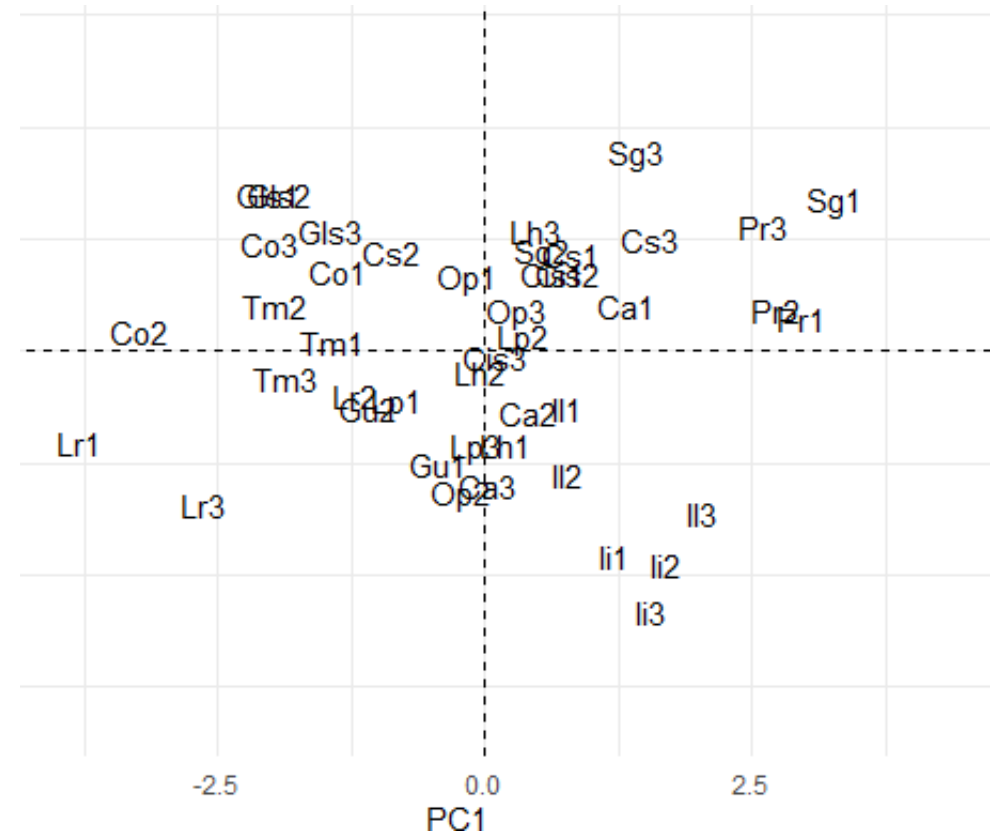
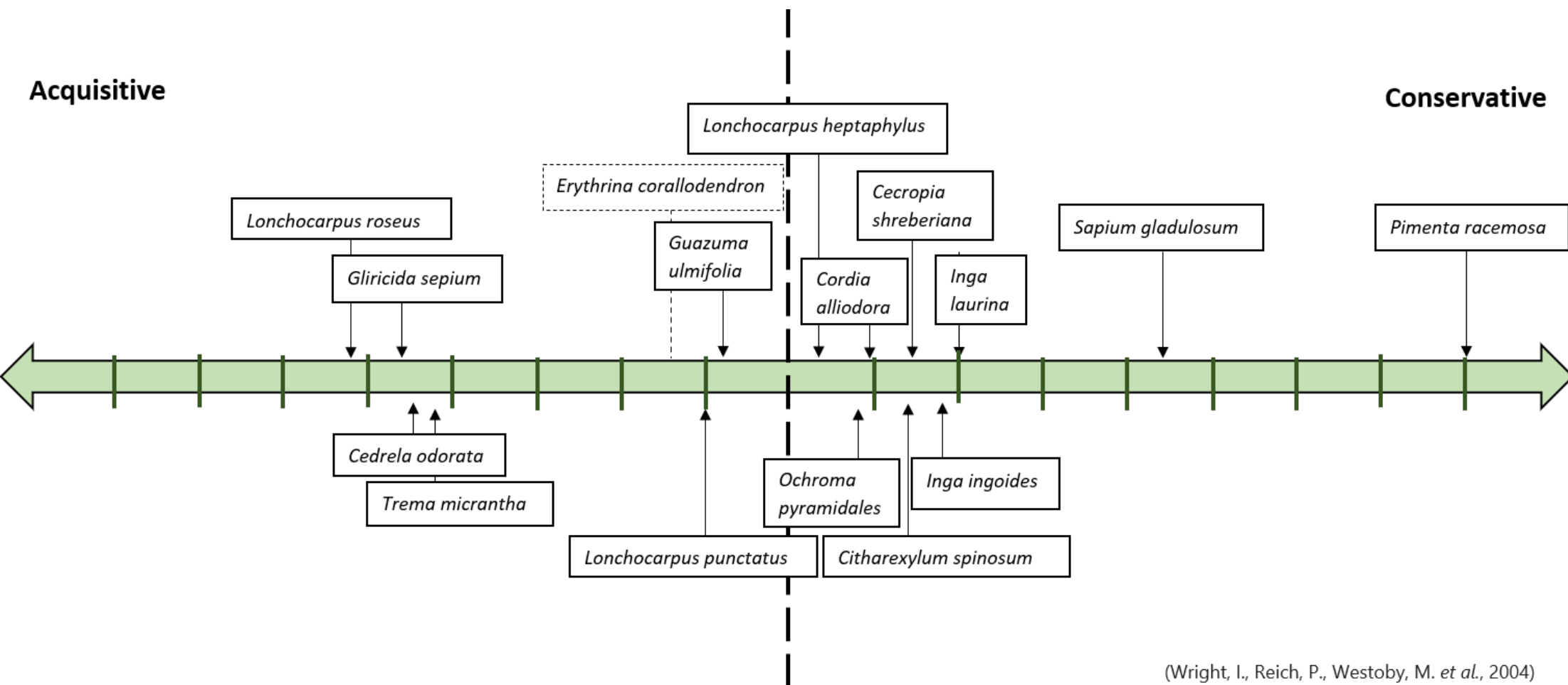


Figure 19 : Graphique des individus projetés dans les dimensions 1 et 2 ; n= 3 pour chaque espèce. Le nom des espèces est codé de la manière suivante : Pr = Pimenta racemosa, Ec = Erythrina corallodendron, Co= Cedrela odorata, Gu= Guazuma ulmifolia, Lp = Lonchocarpus punctatus, Cs = Cecropia shreberiana, Tm = Trema micrantha, Lh = Lonchocarpus heptaphylus, Il = Inga laurina, Ca= Cordia alliodora, Gls= Gliricidia Sepium, li= Inga Ingoides, Cis= Citharexylum spinosum, Lr = Lonchocarpus roseus, Sg=Sapium gladulosu, Op = Ochroma pyramidales)

Acquisitive

Conservative



(Wright, I., Reich, P., Westoby, M. et al., 2004)

Figure 20: Répartition des essences du CAEC le long du spectre économique des feuilles

2.2 Hypothèse n°5 : Les arbres fixateurs d'azote ont une stratégie différente des arbres non-fixateurs d'azote

La dernière hypothèse a pour but de visualiser l'influence des arbres qui sont capables de fixer de l'azote aérien au niveau de leurs racines. Les individus sont donc colorés en fonction de leur groupe fonctionnel sur le cercle de corrélation :

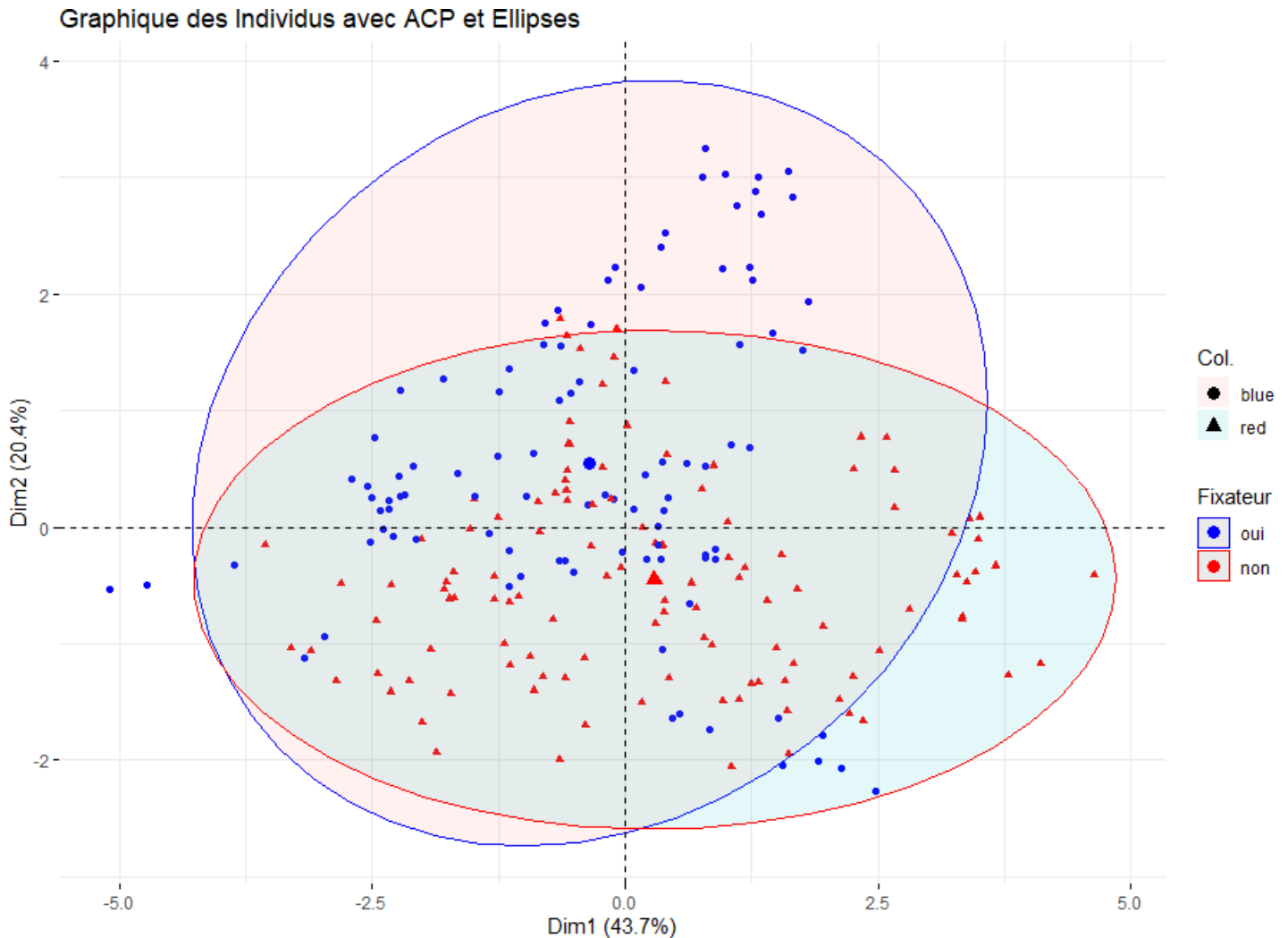


Figure 21 : graphique des individus projetés sur les mêmes plans 1 et 2 que la Figure 4 et 5. $n = 15$ par espèce. Les individus colorés en rouge ne fixent pas de l'azote, les individus en bleu fixent de l'azote. Les Ellipses regroupent les individus selon le critère de fixation d'azote.

Les ellipses de confiance se chevauchent, les groupes fonctionnels (fixateurs et non fixateurs) ont une similarité dans leur distribution. Il n'est pas possible de discriminer les stratégies en fonction du groupe fonctionnel. En revanche, le placement du barycentre donne une subtile tendance. Les arbres fixateurs (barycentre dans la partie négative de l'axe 1) ont une stratégie à tendance acquisitive et les non fixateurs à tendance conservatrice (barycentre dans la partie positive de l'axe 1).

3 Vision plus globale : Résultats complémentaires

L'étude du sol et de traits complémentaires des arbres (restitution des litières, vitesse de croissance, etc.) va permettre d'approfondir la connaissance des services écosystémiques fournis par les arbres, de compléter les fiches techniques et d'affiner les conseils pour l'agroforesterie en bananeraies.

3.1 Effets des espèces d'arbres sur les propriétés du sol

- Traits chimiques

Taux de Carbone		Taux d'Azote		Masse Volumique	
	Moyenne ± SD	Moyenne	± SD	Moyenne	± SD
<i>Cecropia shreberiana</i>	1,68 0,23	0,20	0,02	0,96	0,15
<i>Cedrela odorata</i>	2,18 0,26	0,26	0,03	0,91	0,08
<i>Citharexylum spinosum</i>	2,00 0,10	0,22	0,02	1,20	0,25
<i>Cordia alliodora</i>	1,68 0,16	0,21	0,01	NA	NA
<i>Erythrina corallodendron</i>	1,87 0,32	0,24	0,03	1,25	0,02
<i>Gliricidia Sepium</i>	2,42 0,13	0,25	0,01	NA	NA
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,95 0,12	0,23	0,01	1,08	0,14
<i>Inga ingoides</i>	1,57 0,33	0,19	0,02	NA	NA
<i>Inga laurina</i>	1,47 0,08	0,19	0,003	0,77	0,60
<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	1,34 0,09	0,18	0,005	NA	NA
<i>Lonchocarpus punctatus</i>	1,79 0,18	0,22	0,03	0,93	0,08
<i>Lonchocarpus roseus</i>	2,04 0,44	0,23	0,04	1,08	0,14
<i>Ochroma pyramidales</i>	1,89 0,19	0,21	0,02	0,80	0,10
<i>Pimenta racemosa</i>	1,47 0,17	0,19	0,02	NA	NA
<i>Sapium gladulosum</i>	1,81 0,31	0,21	0,02	0,98	0,12
<i>Trema micrantha</i>	2,38 0,29	0,27	0,04	0,83	0,20

Le taux d'azote le plus bas est de 0,18% pour le *Lonchocarpus heptaphylus* soit 1,44 fois moins que la valeur la plus haute du *Trema micrantha* et *Cedrela Odorata* de 0,26% d'azote. Le taux de carbone varie entre 1,343 (*Lonchocarpus heptaphylus*) et 2,421 (*Gliricidia Sepium*). Pour ce qui est de la masse volumique, une différence de plus d'une unité est observable entre *Pimenta racemosa* ($\rho=0,1$), et *Erythrina corallodendro* ($\rho=1,25$).

Tableau 4 : résultats d'une ANOVA de l'effet de l'espèce ($n=3$) et du groupe fonctionnel (fixateur $n = 7$ ou non fixateur d'azote $n=9$) sur deux paramètres du sol (taux d'azote et taux de carbone) ; seuil de signification : $\alpha = 0,05$, les p-value significatives sont en gras

Sol	Source	df	Mean SQ	F-value	P-value
Taux d'azote	Espèces	15	0,04273	4,726	0,000112
Taux de carbone	Espèces	15	0,08751	5,515	2,56e-05
Taux d'azote	Fixateur	1	0,01328	0,666	0,419
Taux de carbone	Fixateur	1	0,03839	1,424	0,239

Les différences sont significatives entre les espèces pour le taux d'azote et de carbone, les espèces influencent donc la composition du sol. En revanche, le groupe fonctionnel des espèces, fixateurs ou non fixateurs d'azote n'a pas d'influence sur le sol.

3.2 Données sur la vitesse de croissance et la canopée des espèces d'arbres

Tableau 5 : Moyenne et écart type par espèce pour les chutes de litière n=19 et l'ouverture de la canopée n=3. Les valeurs moyennes en gras représentent les valeurs maximales. La p value en gras indique une différence significative entre les espèces

Espèces	Chute de feuilles (g/m ²)		Ouverture Canopée (%)	
	Moyenne ±	SD	Moyenne ±	SD
<i>Cecropia shreberiana</i>	73,51	62,12	14,79	4,31
<i>Cedrela odorata</i>	8,12	5,10	NA	NA
<i>Citharexylum spinosum</i>	21,67	18,88	4,06	2,46
<i>Cordia alliodora</i>	21,70	11,95	14,72	1,56
<i>Erythrina corallodendron</i>	8,97	7,85	NA	NA
<i>Guazuma ulmifolia</i>	12,73	15,80	28,39	7,82
<i>Inga ingoides</i>	24,88	12,70	12,96	4,18
<i>Inga laurina</i>	29,80	21,40	6,38	2,09
<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	14,67	9,41	11,43	2,36
<i>Lonchocarpus punctatus</i>	3,41	3,58	30,89	8,94
<i>Lonchocarpus roseus</i>	8,73	8,96	8,97	2,82
<i>Ochroma pyramidales</i>	57,66	44,46	16,82	2,92
<i>Sapium glabulosum</i>	16,96	14,21	12,29	2,78
<i>Trema micrantha</i>	16,35	6,54	14,93	3,15
P value :			<2e-16	

Plus le pourcentage est important, plus le feuillage laisse passer de la lumière. Ainsi, *Erythrina corallodendron*, *Lonchocarpus punctatus* et *Guazuma ulmifolia* ont l'ouverture de la canopée la plus importante tandis que *Citharexylum spinosum* et *Inga Laurina* ont un feuillage très dense. *Cecropia Schreberia* présente la moyenne de chute de litière la plus importante de 73,51 g avec une grande dispersion des valeurs, l'écart type est de 62,12. À l'opposé, *Lonchocarpus punctatus* présente une très faible quantité de chute de litière en moyenne 3,41 g. La masse sèche de chute de litière reste élevée pour *Ochroma pyramidales* et *Cecropia Schreberia* sur toute la période avec un pic de 370 grammes respectivement en mars et en février. Un pic sur un grand nombre d'essences est observé en mai

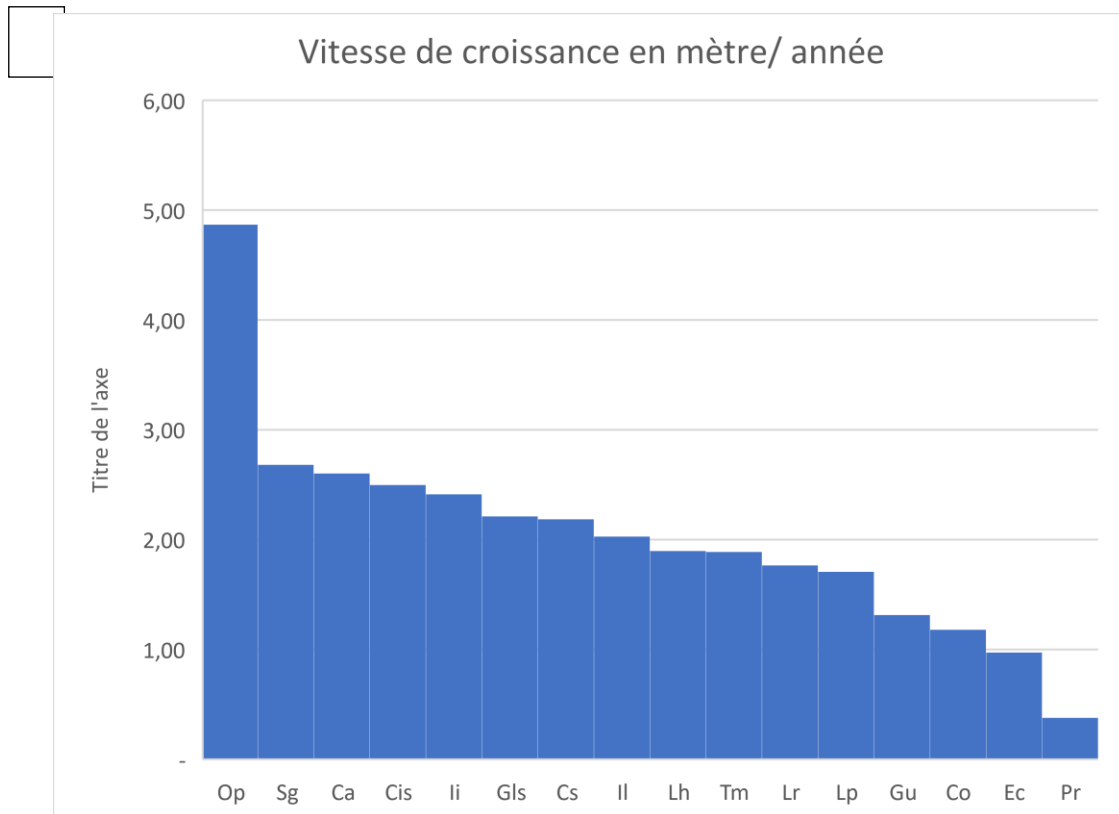


Figure 22 : Graphique représentant la vitesse de croissance en mètre par an de chaque espèce ; les espèces sont classées par ordre décroissant de vitesse

La vitesse de croissance est étroitement liée aux stratégies d'allocation des ressources et est révélatrice de la facilité de gestion au sein d'une parcelle. *L'Ochroma Pyramidales* est un arbre qui croît particulièrement rapidement avec près de cinq mètres par an en moyenne (4,87m/an). Cette donnée est corrélée avec une densité de bois faible. Par opposition, *Pimenta Racemosa* reste en strate basse (0,38m/an). En effet, la taille mesurée à trois ans ne dépasse pas les 1,50 m. La majorité des autres essences a une vitesse de croissance entre 1,5 et 2,5 mètres par an.

PARTIE 4 : Discussions, propositions et prise de recul

1 Discussion :

L'expression des traits foliaires de la collection Petit Morne suit l'hypothèse du spectre économique universel des feuilles (Wright et al. 2004) plus récemment élargi aux cultures et aux plantes pour en décrire les variations intraspécifiques (Siefert et al. 2016)). En effet, il est possible d'observer une corrélation positive entre le taux d'azote et la surface foliaire spécifique ($R^2=0,43$), tous deux négativement corrélés à la quantité de chlorophylle, au rapport C/N, à l'épaisseur et à la teneur en matière sèche (Figure 18). Ces six traits foliaires sont fortement liés à l'axe n°1 de l'ACP (Figure 17) et diffèrent significativement en fonction de l'espèce (Tableau 1). Ainsi, plus les feuilles d'une espèce se trouvent sur le côté positif de l'axe, moins elles sont riches en nutriments (taux d'azote), plus elles investissent dans leur structure (taux de carbone, teneur en matière sèche) et elles possèdent une faible surface d'échange (SLA). Le taux de décomposition des feuilles standardisé étant positivement corrélé à la SLA et à l'azote foliaire ($r = 0,39, 0,43$), il est possible de mieux envisager la décomposition des litières et d'affirmer que le processus sera plus rapide pour les arbres à stratégie acquisitive (Pietsch et al. 2014).

L'arbre le plus à droite sur le spectre économique des feuilles est *Pimenta racemosa*, avec des feuilles possédant en moyenne une faible quantité d'azote (1,40%) par rapport à la gamme de variation TRY et avec 405,87 mg/g de matière sèche, une valeur importante vis-à-vis des autres données collectées mais qui reste moyenne par rapport à la gamme de variation définie (Tableau 6). La feuille de *Pimenta racemosa*, qui est la deuxième la plus épaisse de la collection (0,176 mm), possède une petite surface foliaire spécifique de 86,25 cm²/g et un rapport C/N de 31,23 (généralement compris entre 20 et 60 (Egaliterre 2014)). Ce sont les feuilles avec le plus de pourcentage de carbone (4 %). Ces éléments sont caractéristiques de la stratégie conservatrice : des feuilles qui investissent plus dans leurs composés structurels que dans l'acquisition des nutriments. Le retour sur investissement pour des feuilles conservatrices est donc plus long et la décomposition de la litière est également plus longue (Moore et al., 1999 ; Cornwell et al., 2008). Au contraire, plus l'arbre est situé dans la partie négative de l'axe, plus les feuilles adoptent une stratégie acquisitive. Elles sont alors riches en nutriments comme le *Lonchocarpus Roseus* avec 3% d'azote en moyenne dans ses feuilles et avec des valeurs dépassant un taux de 4%. Sachant qu'au niveau mondial, pour les arbres de la collection, le taux est en moyenne compris entre 0,86 et 3,46. Le retour sur investissement est plus rapide avec des feuilles fines de 0,101 mm en moyenne, une grande surface foliaire (la plus importante parmi la collection : 283,74 cm²/g) et un rapport C/N de 14,97. Il faut savoir que c'est à 15 que la minéralisation nette de l'azote commence. *Cedrela Odorata* adopte également une stratégie à tendance acquisitive avec la plus faible LDMC (240,4 mg/g relativement faible (Tableau 6)). *Cedrela odorata* a une SLA moyenne de 243,34 cm²/g, ce qui est faible en comparaison aux intervalles standards mais élevé en comparaison avec les données de la collection. De plus, ses feuilles ont la valeur d'azote la plus importante, 4,5%, le taux moyen étant de 2,99%.

Les arbres de la collection Petit Morne sont globalement équilibrés par rapport à leurs valeurs d'expression de traits mises en perspective avec des données mondiales : TRY. C'est le cas par exemple pour *Lonchocarpus punctatus* et *Inga Ingoide* qui se trouvent au milieu du spectre économique des feuilles et qui ont des valeurs d'expression des traits qui se situent dans la moyenne. Ceci est révélateur d'un équilibre au niveau du retour sur investissement des nutriments, de leur mobilisation et de l'investissement dans la structure. Ainsi, ce sont des arbres exerçant une concurrence modérée tout en apportant progressivement des nutriments.

Ochroma pyramidales apparaît comme l'espèce la moins stable dans l'expression de ses traits avec une forte variabilité interquartile pour l'ensemble des traits foliaires exceptée la surface foliaire spécifique avec un coefficient de variation de 32,47 pour l'épaisseur, soit 2, 20 fois plus important que pour le *Trema micrantha*. De la même manière pour le taux d'azote (25,28), avec un coefficient de variation quatre fois plus grand que pour *Pimenta racemosa*.

Pour compléter l'apport de nutriments, il faut s'intéresser au groupe fonctionnel des arbres. En effet, certains sont fixateurs d'azote de l'air. Ils peuvent être des fabacées (espèces associées symbiotiquement avec des rhizobiums) ou des plantes actinorhiziennes (espèces associées avec des frankias). Cette fixation est un excellent avantage permettant à l'arbre de subvenir à ses besoins et même de partager avec les cultures associées ; avantage non négligeable pour diminuer, voire supprimer, les intrants. Toutefois, dans la présente étude, la richesse en nutriments du sol n'est pas significativement différente entre le sol au pied des arbres fixateurs et des non-fixateurs (p value = 0,419). En effet, cette fixation d'azote est sensible aux contraintes de l'environnement. Cette limitation du processus de fixation, voire inhibition, peut être due à un excès de fertilisation, à la sécheresse, à un déséquilibre de pH, et/ ou à une carence en phosphore. Cette dernière option semble plausible étant donné les précédents culturaux de la parcelle expérimentale qui étaient des bananiers, très demandeurs en phosphore (Ganry, Dommergues 1995) ; de plus, les arbres de la collection sont en place depuis seulement trois ans.

Toutefois, Il est important de notifier que la capacité à fixer de l'azote reste un très grand avantage en agroforesterie (Munroe, Isaac 2013). Le processus de transfert de l'azote fixé à des plantes non fixatrices a été clairement montré par une expérience de VAN KESSEL et al. (1995) (Ganry, Dommergues 1995). En système agroforestiers bananiers avec des *Inga Ingoïdes* et des *Indigofera*, il est possible d'observer au bout de deux ans que le pourcentage de fixation symbiotique par rapport au prélèvement total d'azote (%Ndfa) était de 80% pour l'*Inga Ingoïdes* et de 75% pour l'*Indigofera*. Le transfert d'azote vers les bananiers est mesuré à hauteur de 12% (Coulis et al. 2022). Il faut ajouter à cela le flux d'azote résultant du lessivage des houppiers et du ruissellement de l'eau le long des troncs. De plus, les arbres, qu'ils soient fixateurs d'azote ou non, remontent en surface des éléments nutritifs, situés dans les horizons profonds, notamment l'azote minéral (Jenkins, Virginie, Jarrell 1998; Ordonnez et al. 2009). Dans le cas où les arbres sont mycorhizés, du phosphore peut aussi être remonté (Nutman 1965). L'association de bananiers avec des arbres modifie également de manière positive la composition des bactéries du sol au profit des bananiers (Koberl et al. 2015).

Ensuite, la vitesse de croissance est étroitement liée aux stratégies d'allocation des ressources et est révélatrice de la facilité de gestion au sein d'une parcelle. En effet, plus l'arbre croît rapidement, moins son tronc sera dense. Or, un tronc plus dense, qui nécessite des coûts de construction plus élevés, sera plus résistant aux aléas climatiques mais aussi aux agents pathogènes (Pietsch et al. 2014). L'*Ochroma Pyramidales* est un arbre qui croît rapidement par rapport aux autres de la collection avec près de cinq mètres par an en moyenne (4,87m/an). Par opposition, *Pimenta Racemosa* reste en strate basse (0,38m/an). En effet, la taille mesurée à trois ans ne dépasse pas les 1,50 m. La majorité des autres essences ont une vitesse de croissance entre 1,5 et 2,5 mètres par an. Par conséquent, il est possible d'estimer une meilleure résistance pour *Pimenta Racemosa* à un aléa climatique que pour *Ochroma Pyramidales*.

Enfin, le bananier est une plante qui a besoin de soleil mais aussi de beaucoup d'eau et d'humidité. Les processus de photosynthèses diminuent à partir de 50% d'ombrage. Or, l'ouverture de la canopée des arbres de la collection est au maximum de 30% (*Lonchocarpus punctatus*) et au minimum de 4% pour le *Citharexylum Spinosum*. Toutefois, l'ombre permettrait de lutter contre certaines maladies comme la cercosporiose ou la fusariose (Deltour et al. 2017). Cette baisse d'accès à la lumière qui entraîne donc une baisse de rendement, est « compensée » par le maintien d'humidité (banabiosa 2018) qu'offrent les arbres et les nombreux services écosystémiques (Wood, Burley 1991).

Tableau 6 : seuils de mesures

Traits fonctionnels	Range	Sources
Surface foliaire spécifique cm ² /g	10-3000	(Pérez-Harguindeguy et al. 2013),
Taux de matière sèche mg/g	50-700	
Épaisseur mm	5-70	
% Azote	0,86 – 3,46	TRY

2 Un système agroforestier bananiers adapté :

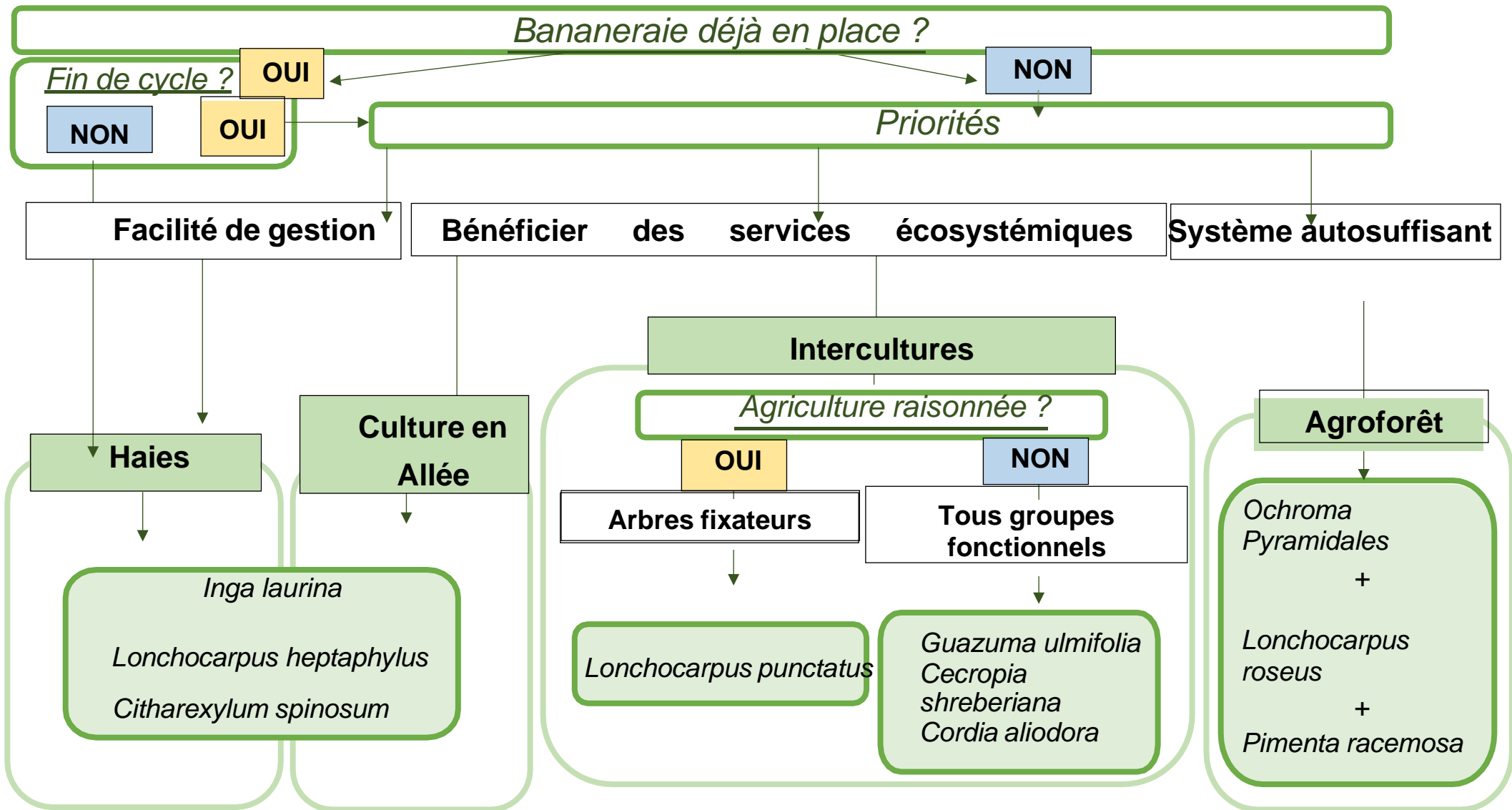
2.1 Construire l'agrosystème

Appliquer une approche d'écologie dans un contexte agronomique nécessite de prendre en compte les spécificités de l'agroécosystème dans sa globalité. Les objectifs sont bien de rééquilibrer l'écosystème et de préserver la flore locale dans une démarche écologique. Mais la priorité reste aussi la sécurité alimentaire, sans oublier d'assurer un revenu décent aux planteurs, deux objectifs indissociables de la productivité. Dans le contexte de la Martinique, il est largement possible de remettre en question ces termes de sécurité alimentaire et de rémunération au vu du fonctionnement de la filière banane. Ce sont des problématiques politiques, environnementales et éthiques et les questions de spécialisation des cultures et du lien avec le colonialisme doivent être soulevées. Le but de la présente étude écologique est d'accompagner une transition agroécologique et non sociétale, il s'agit donc de faire au mieux pour s'adapter sans tout modifier, en d'autres termes, cultiver la biodiversité pour instaurer le changement.

Premièrement, le but étant de faciliter le choix des agriculteurs, il est essentiel d'intégrer dans la réflexion leurs objectifs agronomiques, économiques, environnementaux et répondant à un système de valeurs personnelles. Quatre profils d'agriculteurs se dessinent selon les priorités suivantes. Premièrement, les convictions personnelles, avec un souhait de s'impliquer dans la transition, de s'inscrire dans la durabilité, d'intégrer une conscience des enjeux actuels mais aussi de protéger ses parcelles. Deuxièmement, l'aspect social, avec une volonté de s'intégrer dans un réseau d'acteurs pour participer à la réflexion et l'avancement des pratiques en agroforesterie. Ensuite, l'aspect financier, avec une volonté de percevoir des aides, de diversifier ses revenus, de limiter sa fertilisation. Finalement, l'aspect agronomique peut être primordial, basé sur une envie d'optimiser ses rendements, avec un goût pour l'innovation, le défi technique, l'envie et la possibilité d'expérimenter. L'accompagnement est essentiel dans la mise en place (Topps 1990). Une étude qualitative basée sur 500 entretiens au Ghana auprès d'agriculteurs prouve l'importance du rôle des réseaux pour diversifier ces systèmes. En effet, au sein de communautés, les réseaux permettent de contrer les difficultés de la diversification par l'échange d'innovation, l'observation et l'entraide. Ces réseaux permettent de mobiliser d'autres acteurs socialement éloignés (Isaac et al. 2021).

2.2 Outils d'aide à la décision

L'agroforesterie présente une multitude de formes allant de la mise en place de haies, d'intercultures, d'alternance de cultures et d'arbres... répondant à des objectifs différents. L'arbre de décision suivant permet d'orienter un agriculteur en fonction de son système. Des catégories d'arbres vont répondre au mieux à des besoins spécifiques



3 Exemple d'adaptation de l'agroforesterie – Propositions

3.1 L'agroforêt

La première proposition est le système le plus complet permettant de bénéficier d'un maximum des services écosystémiques des arbres (Wood, Burley 1991). Il s'agit d'une agroforêt avec une composante arborée multiétage dense et diversifiée. Système complexe se rapprochant le plus du fonctionnement d'une forêt qui a pour vocation de devenir autosuffisant (Johnsen, Okting'ati, Rugalema 1994; Kagezi et al. 2018; Oduol, Aluma 1990). Ici, l'objectif est de sortir de la monoculture de banane, le but n'est pas de produire en quantité chaque production mais de produire de manière diversifiée. En effet, dans l'agroforêt de l'Ouganda, le rendement est en moyenne de 7,5 tonnes / ha et au maximum de 12,5 ha. Tout comme à Banabio, le rendement sur les parcelles bio diversifiées est de 17,9 t/ha contre 34,4 t/ha en conventionnel.

L'organisation des strates est la suivante de haut en bas :

- *Ochroma Pyramidales* s'installe en strate haute avec une vitesse de croissance moyenne de 4,87 mètres par an, atteignant les dix mètres en deux ans. Ce dernier possède un bon équilibre dans ses stratégies écologiques en tendant vers la conservative (figure 5). Il fournit une bonne quantité de feuilles, 38,44 grammes par semaine et par m², riche en matière sèche, en carbone, assez épaisse, grande mais avec une SLA plutôt faible. Les feuilles investissent donc plus dans leur structure et sont donc résistantes, elles mettent du temps à se décomposer. Son ouverture de la canopée est faible 16,82% mais, par comparaison avec la collection, c'est la troisième la plus importante. Cette faible ouverture apportera une humidité ambiante supplémentaire importante pour les bananiers. Il s'agira de bien les espacer pour ne pas trop fermer la canopée.
- *Trema micranthra* vient juste en dessous. Ses feuilles adoptent des stratégies acquisitives et par conséquent se décomposent vite. La matière organique est vite minéralisée, le retour sur investissement est régulier, avec un apport d'azote par les feuilles (3,21 %) mais aussi au niveau du sol. En effet, cet arbre appartient à la famille des fabacées fixant l'azote de l'air. L'ouverture de la canopée est de 16,82% et la vitesse de croissance est moyenne, lui permettant d'être rapidement en strate haute tout en gardant sa place dans le multiétage. Cette espèce apporte de la matière organique avec une chute de feuilles de 16,35 grammes par mètre carré par semaine. Ses feuilles fines (0,135 mm) se décomposent vite et restituent donc rapidement des nutriments.

Cette strate haute demandera à être taillée régulièrement, à minima une fois par an. Cela permettra d'ouvrir la canopée pour faire rentrer la lumière, d'accélérer la croissance et de créer du paillis. Cela permettra aussi d'orchestrer la mise en place des strates inférieures et la maturation des fruits.

- Le bananier
- *Pimenta racemosa*, à stratégie conservative ne fait que peu de concurrence, il occupe la strate basse ce qui évite le développement des adventices. Une nouvelle possibilité de valorisation des feuilles en plantes médicinales, huiles essentielles, s'offrira à l'agriculteur.

L'implantation se fera étage par étage pour reconstituer la dynamique forestière (Goetsch et Ltda, 1992). Idéalement, les strates hautes seront d'abord implantées avec un couvert végétal de légumineuses puis, dans l'année qui suit, les bananiers seront ajoutés et, enfin, les *Pimenta Racemosa*. Il est important d'implanter l'ensemble lorsque les autres essences sont en phase de croissance également car elles stimulent et activent tous les membres de la communauté végétale. Ce système dense permet le plein potentiel de la multifonctionnalité des arbres. Il permet de bénéficier du système de pompes de nutriments avec un puisement vraiment en profondeur des racines mais également du phénomène de l'ascenseur

hydraulique. De plus, l'association permet aussi des interactions de soutien par le filet à nutriments. La chute des feuilles et les résidus d'élagages, tant des arbres que des bananiers, font du paillis et de la matière organique plus ou moins stable assurant l'apport de nutriments sur le long terme. La lumière passe tout en créant un microclimat, les arbres ont des vitesses de croissance moyennes assurant une certaine résistance et permettant de protéger du vent les bananiers. Dans ce système fermé, l'apport en nutriments n'est pas nécessaire. Cette option permet de rentrer dans un système autosuffisant. Sur le long terme, ce dernier devient plus productif par hectares comme le prouve le rapport de surface équivalent qui indique qu'il faut 1,4 ha de monoculture pour produire la même quantité que sur 1 ha d'agroforesterie (Figure 22). (Amassaghrou et al. 2021)

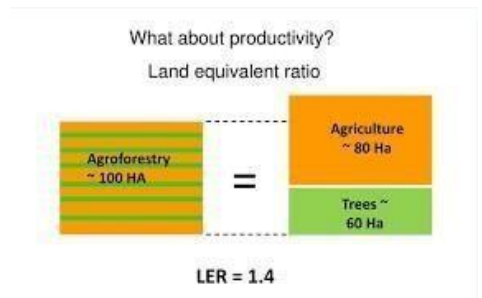


Figure 23 : Ratio d'utilisation des terres SLU, 2023

3.2 L'interculture

- Système raisonné

Un autre système plus simplifié mais permettant de bénéficier de nombreux services écosystémiques (apport de matière organique, structuration du sol, exploration racinaire, pompe et filet à nutriments, pompes hydraulique, fixation d'azote) est l'interculture avec le *Lonchocarpus punctatus*. C'est une fabacée qui fixe de l'azote, ses feuilles en sont d'ailleurs très riches avec un taux moyen de 3,24%. Elle possède un bon équilibre entre stratégie acquisitive et conservative lui conférant l'avantage de

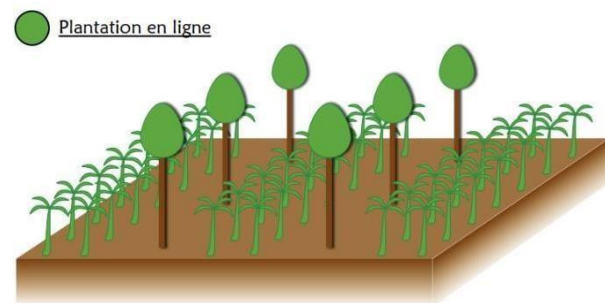


Figure 24 : schéma interculture

faire peu concurrence tout en apportant des nutriments. L'ouverture de la canopée est importante (31%) et la vitesse de croissance est moyenne lui permettant d'être rapidement en strate haute sans pour autant rajouter des contraintes de taille à l'agriculteur. Ce système a l'avantage de limiter les relations de compétition pour la lumière, les nutriments et l'eau. Avec le *Lonchocarpus*, il est possible d'espacer les lignes de 15 mètres permettant d'intercaler 4 à 6 rangées de bananiers entre chaque ligne d'arbres. La distance entre les arbres d'une même ligne est, dans un premier temps, faible, de 3 à 4 mètres, favorisant un développement en hauteur. Ensuite, sur le long terme seulement, certains arbres sont conservés pour favoriser le développement plus en largeur. Après 10 -20 ans la densité est plus autour de 50 arbres / ha (Meunier, Lassois, et Doucet, 2011).

- Système conventionnel :

Dans un schéma d'agriculture conventionnelle, il est possible de privilégier un arbre qui n'est pas fixateur d'azote étant donné que le processus naturel sera inhibé par les intrants. Le *Cecropia Shreberia* semble adapté ; c'est un arbre qui pousse vite, s'implante donc rapidement en strate haute, avec une croissance de 1,76 mètre par an en moyenne, et fourniture bonne quantité de matière organique, avec une moyenne de 73,51 g de litière par semaine. Sa stratégie écologique est équilibrée entre acquisition et conservation. Son ouverture de la canopée est importante (14,79%).

3.3 Culture intercalaire en ligne

Ce système est un excellent compromis entre services écosystémiques et rendements. Il permet de rester dans un schéma de monoculture de bananes et d'avoir des apports de matière organique, de nutriments et des bénéfices en termes de structuration du sol. En plus de son apport conséquent de feuilles aux stratégies équilibrées se décomposant au fur et à mesure et riches en azote, *Inga laurina* présente une structure avec un feuillage dense permettant de créer une haie vive, barrière naturelle contre les ravageurs ; c'est également une protection contre le vent. Pour ce système, une densité de 30 à 50 arbres par hectare est recommandée. La gestion de la lumière est essentielle pour la bonne production du bananier. De plus, l'ombre dépend de la densité de plantation, de l'élagage mais aussi de l'orientation des lignes de plantation par rapport à la course du soleil. En effet, l'orientation Nord Sud est à privilégier (Figure 24) (INRAE, 2015).

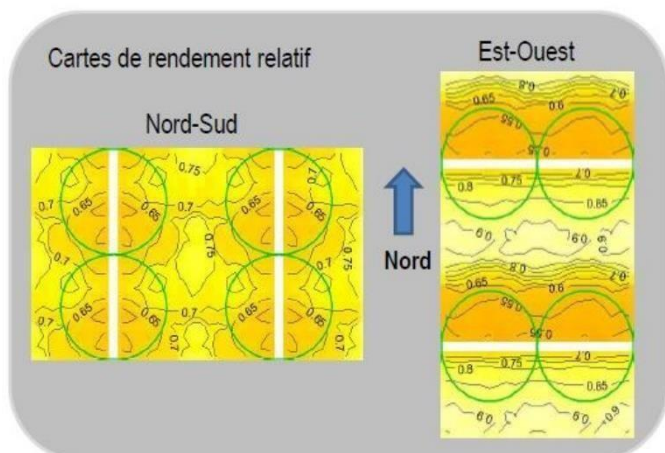
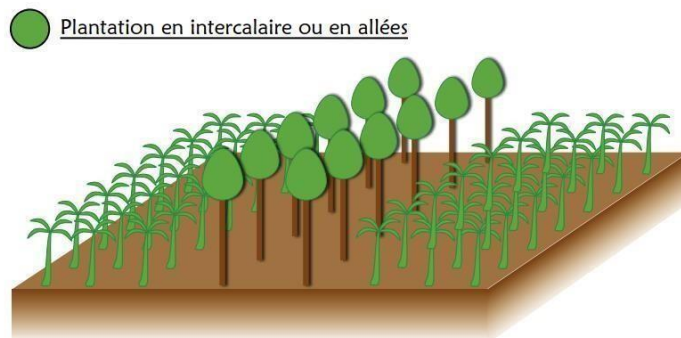


Figure 26 : Rendement en agroforesterie en fonction de l'orientation du soleil. Dans le cas de lignes d'arbres orientées Nord-Sud, le rendement de l'interculture est de 70 – 75%. En revanche, pour les lignes orientées Est – Ouest, la situation est beaucoup plus variable. Au nord de la ligne d'arbres, la chute de rendement est beaucoup plus forte sous la ligne d'arbres (55%).

Module de formation CFPPA de Mirecourt

Données INRA Montpellier, extrait de A Metay SupAgro Montpellier

3.4 Haies

Dans une configuration plus simple que l'interculture, les haies sont une première approche possible de l'agroforesterie, demandant moins de temps et d'entretien. Cette option est envisageable si la bananeraie est en place, si l'agriculteur ne souhaite pas changer ses habitudes tout en voulant s'impliquer dans une démarche plus agroécologique. Ici, les structures avec un houppier dense qui descend bas sont à privilégier pour protéger du vent et créer des habitats pour la biodiversité. *Inga Laurina* est appropriée pour sa structure et sa vitesse de croissance modérée facilitant la taille et l'implantation (2,03 m par an).

4 Limites de l'étude, prise de recul

4.1 Aspect technique

Au niveau de l'essai expérimental, le format en pépinière permet, certes, d'avoir une homogénéité, notamment au niveau du sol, du climat et des conditions de croissance ; toutefois, la proximité des arbres pose question au niveau des données qui s'entrecroisent. En effet, certains arbres exercent de la concurrence sur d'autres en termes de lumière notamment. De plus, certains arbres reçoivent des apports de matière organique d'autres essences. D'autre part, l'étude se concentre sur une pré-sélection d'arbres indigènes à potentiels agroforestiers qui reste un échantillon de la biodiversité martiniquaise, l'étude mérite donc d'être étoffée.

Ensuite, au niveau de la méthode, la collecte des feuilles à 60% de hauteur reste très arbitraire et suivie dans la limite du possible. De la même manière, le choix des trois arbres représentatifs reste subjectif. *Erythrina corallodendron* n'a pas pu être étudié complètement en raison d'échantillons perdus entre la Martinique et le Canada. Certains résultats sont influencés par la période de l'étude effectuée pendant le Carême, notamment la collecte des feuilles dont la chute se veut plus importante sur cette période. Poursuivre l'étude pendant la saison des pluies permettra d'approfondir les aspects de résilience face aux aléas climatiques. Finalement, il manque des données issues de parcelles agroforestières, l'étude mériterait la caractérisation de chacune des essences en association avec des bananiers. De plus, réaliser la caractérisation fonctionnelle des bananiers permettrait d'avoir des résultats plus concrets des services apportés par les arbres. Le suivi du rendement peut aussi être un bon indicateur. D'autres points à aborder sont, premièrement, une étude de biodiversité (faune et habitats) qui permettra d'approfondir les services écosystémiques. Deuxièmement, une étude racinaire serait intéressante à mettre en place tout comme, troisièmement, l'étude de la litière et de sa décomposition. Quatrièmement, il est essentiel d'étudier les méthodes de taille des arbres ainsi que les densités de plantation, à la fois des arbres et des bananiers. Finalement, approfondir la capacité des arbres à fixer du carbone peut être une donnée essentielle dans le choix de la mise en place des haies.

4.2 Fédérer les acteurs

L'étude est écologique; ainsi, pour qu'elle soit applicable dans le domaine agricole, il faut que les conseils et recommandations soient d'autant plus adaptés aux besoins des planteurs. Il est donc nécessaire d'approfondir la dimension sociale par des entretiens qualitatifs. Un premier questionnaire très succinct avait été imaginé (Annexe5). Fédérer les acteurs est indispensable pour mettre en place un projet d'agroforesterie à l'échelle de l'île et être un réel soutien auprès des producteurs. Plusieurs réunions avec le conservatoire botanique ont eu lieu, notamment une journée technique rassemblant un grand nombre d'acteurs autour de la marque «Végétal Local » permettant une première vision du rôle de chacun à travers la création d'une fresque. Une collaboration est en cours entre l'ONF (Office National des Forêts), l'AFAF (Association Française de l'Agroforesterie), le CBN (Conservatoire de Botanique Nationale). Ils ont des projets et intérêts propres autour de l'agroforesterie qui demandent à se rejoindre autour des enjeux de conservation de la flore indigène et d'une production agroécologique martiniquaise.

4.3 Aspect économique

L'originalité de l'étude est qu'elle porte sur des arbres spontanément présents en Martinique. Il est donc difficile d'obtenir des coûts de productions. En effet, le Conservatoire de Botanique qui travaille justement sur la production de plants indigènes se concentre pour le moment sur l'aspect écologique et ne calcule pas ses coûts de production. Toutefois, au vu des rendements qui sont estimés dans chacun des systèmes agroforestiers bananiers la perte est notable. En revanche, ce sont les services écosystémiques rendus qui sont étudiés, le retour sur « investissement » se veut sur le long terme par une préservation des sols, des bananiers et une diminution de la fertilisation qui se fait naturellement. Sur Banabio, des coûts ont été estimés (Figure 24). Il y a quasiment plus de 800€ de coûts supplémentaires par tonne de bananes produites dans le système agroforestier par rapport au système conventionnel sur le premier cycle. Ces coûts se rééquilibrent tout de même rapidement dès le deuxième cycle de production où il n'y a quasiment plus d'écart entre les systèmes (Coulis et al. 2023).

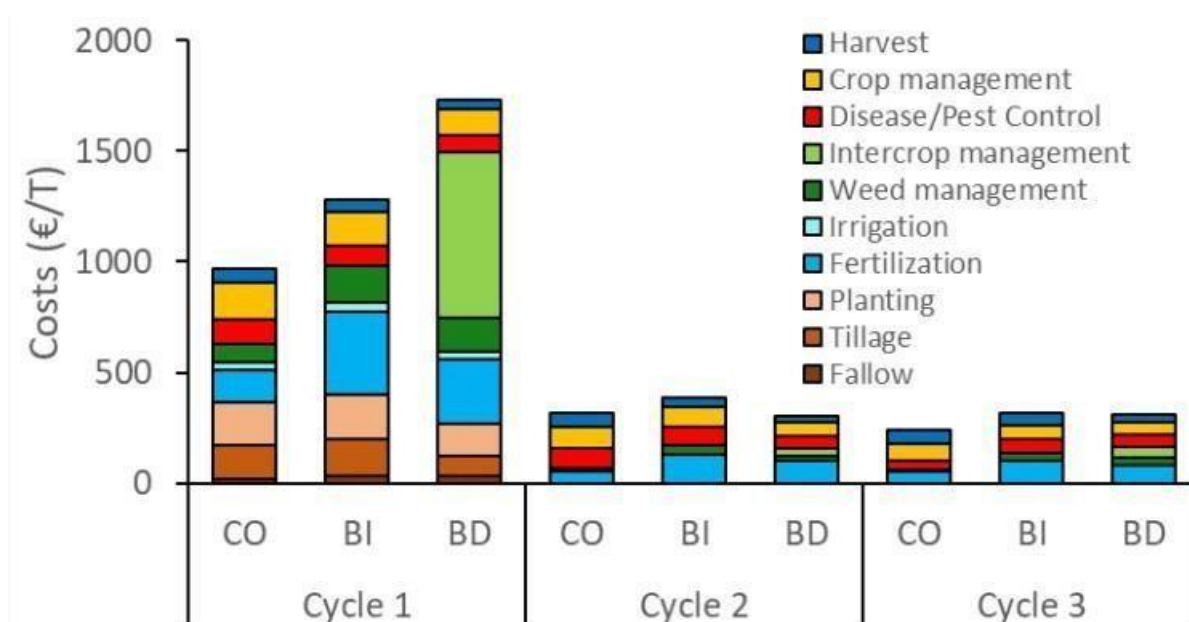


Figure 27 : Coût en € par tonne des différents systèmes bananiers

La banane export est faiblement valorisée 0.73 € le kg selon le cours actuel. Dans un tel système il serait intéressant d'explorer d'autres moyens de commercialisation et surtout d'autres variétés qui sont mieux valorisées que la Cavendish comme la Figue (environ 8€ le kg) ou la banane plantain (environ 5€ le kg) sur les marchés.

4.4 Prise de recul : l'agroforesterie en bananeraie dans son contexte

L'agroforesterie est un beau moyen de composer avec la nature et de changer sa manière d'appréhender sa production. Dans ce contexte d'ancienne colonie où certains mécanismes sont encore présents, il est important de comprendre quelle autre dimension il est possible d'attribuer à cette agroforesterie en Martinique. L'agroforesterie questionne la monoculture de banane issue de l'empire colonial français et propose un réajustement à un système qui enferme l'île dans une dynamique d'exportation (*Investigation et Enquêtes*, 2009). Ainsi, je trouve pertinent de faire un lien avec l'écologie décoloniale qui propose d'établir un rapport entre les luttes anticolonialistes et les luttes écologistes, d'intégrer à la dimension environnementale les rapports de domination, les inégalités racisées face au changement climatique pour aussi prendre conscience des minorités qui en tirent profit. La Chlordécone peut être l'exemple même d'un combat d'écologie décoloniale. Elle illustre l'habitat colonial aux Antilles par la contamination des sols, des eaux et l'empoisonnement des humains (Ferdinand, 2019). Le documentaire *Décolonisons l'écologie* recueille des témoignages révélateurs de la perception des Antillais sur la monoculture de banane, la Chlordécone, les békés, l'autosuffisance alimentaire. Un profond sentiment d'injustice, d'impuissance et une volonté de dénonciation en ressortent : « La Martinique a tout ce qu'il faut aujourd'hui pour être en autosuffisance alimentaire et ce n'est pas le cas » ; « ça s'appelle un crime » ; « ça ne peut plus durer ».

L'agroforesterie est aussi une manière de se réapproprier les terres et de «réparer» les ravages sur les terres agricoles et la biodiversité (Anon, 2021). Dans l'agroécologie, la dimension sociale n'est pas à oublier. La présente étude se veut scientifique, mais la science agricole a vocation à accompagner la transition agroécologique sur le terrain, elle doit donc se servir du contexte global (humain, agronomique, économique) pour étudier le particulier et l'appliquer.

Un système agroforestier combine la complexité d'un écosystème avec les enjeux agricoles demandant beaucoup d'adaptations. Toutefois, cultiver la biodiversité est synonyme de durabilité environnementale, sociale et économique.

Conclusion

L'étude des traits fonctionnels offre une vision globale des caractéristiques écologiques des arbres. En effet, les traits permettent de connaître les stratégies écologiques adoptés par les arbres, les services écosystémiques rendus et d'anticiper par ailleurs leur comportement en association. Ainsi, il est possible d'affirmer que les arbres indigènes à la Martinique présentent un potentiel agroforestier. En plus de s'inscrire dans une démarche de conservation de la flore locale, les services écosystémiques rendus permettent de rééquilibrer un agrosystème simplifié telle qu'une bananeraie et de s'inscrire dans une transition agroécologique répondant à des enjeux agro-environnementaux, sociaux et questionnant le modèle économique. La richesse de la biodiversité locale permet d'avoir des arbres compatibles et adaptés à différentes formes d'agroforesterie. Ainsi, il est possible de répondre à différents objectifs agricoles, écologiques mais aussi plus personnels.

Tandis que le *Lonchocarpus roseus* s'associe avec l'*Ochroma pyramidales* et le *Pimenta racemosa* pour former une agrofôret, le *Lochocarpus punctatus* s'intercale dans une bananeraie plus classique. De la même manière, *Inga Laurina* s'adapte parfaitement à la formation d'une haie. Les différentes formes d'agroforesterie permettent de bénéficier de services écosystémiques appropriés et d'assurer des rendements variables. En résumé, les différents systèmes présentent les avantages et inconvénients suivants :

Systeme	Avantages	Inconvénients
Agroforêts	Système autosuffisant, résilient et durable Diversification Indépendance Bénéfice des services écosystémiques	Risque de concurrence Diminution de la production de bananes Gestion / taille et élagage
Interculture	Services écosystémiques, résilience et facilité de mise en place	Risque de concurrence Gestion Perte de rendement
Culture en allée	Services écosystémiques Maintien d'un bon rendement	Gestion et taille
Haies	Facilité de gestion, peu de changements d'habitudes, de risques de concurrence	Bénéfices des services écosystémiques limités

La présente étude permet de dresser un portrait écologique de 16 espèces facilitant le choix des agriculteurs. Toutefois, il ne faut pas oublier comme dans toute transition agroécologique, la complexité technique que représente la mise en place d'un tel système. L'enjeu aujourd'hui est de bien accompagner les agriculteurs pour répartir les responsabilités face aux changements climatiques et à la souveraineté alimentaire. Ce n'est que récemment que l'ONF, le Conservatoire National de Botanique de Martinique, le CIRAD et l'AFAP partagent leur point de vue pour travailler ensemble vers l'accompagnement d'une agroforesterie locale, ce qui laisse entrevoir de belles perspectives. Cultiver la biodiversité est une ressource en elle-même et régénérer la nature pour composer avec elle est la définition même de l'agriculture durable.

Table des illustrations

Figure 1 : Evolution du nombre d'exploitations et de la Surface Agricole Utile (SAU) entre 1980 et 2020, (Agreste 2021)	10
Figure 2 : Assolement en Martinique, comparaison entre 2010 et 2020	10
Figure 3 : Schéma des services écosystémiques racinaires : filet à nutriments, transferts de nutriments, enracinement plus profond et stratégie acquisition des nutriments (Borden et Isaac, 2019).....	12
Figure 4 : Schéma illustrant le lien entre traits fonctionnels et influence de l'environnement ((Falcon et al, 2017)	14
<i>Figure 5: Diagram du spectre économique des feuilles et des racines et les effets sur les processus écologiques (Dunmei, 2019).....</i>	<i>15</i>
Figure 6: Carte localisant les trois sites d'études (Géoportail, 2023).....	19
Figure 7: Carte des sols (Géomartinique, 2016)	19
Figure 8: Vue aérienne pépinière Petit Morne (Géoportail, 2017).....	20
Figure 9: Schéma d'une planche (auteur, 2023)	20
Figure 10: Schéma de l'organisation de BANABIO	22
Figure 11 : Photographies des bananeraies en agroforesterie de monsieur Aubery	23
Figure 12: Scan d'une feuille de Lonchocarpus hepta	26
Figure 13: Schéma de la mesure de la hauteur par laser (FAO, 2023).....	27
Figure 14 : répartition normale des données.....	28
Figure 15 : Graphique des valeurs propres.....	29
Figure 16 : Boîte à moustaches représentant l'expression de chaque trait par espèce (n=15 pour l'épaisseur, la SLA, LDMC et la chlorophylle ; n = 14 pour l'azote et le rapport C/N). Les espèces sont classées de gauche à droite par ordre croissant de vitesse de croissance en mètres par an. La couleur rouge représente les espèces non fixatrices d'azote, tandis que la bleue représente les espèces fixatrices. Les points représentent les valeurs aberrantes. Le nom des espèces est codé de la manière suivante : Pr = Pimenta racemosa, Ec = Erythrina corallodendron, Co= Cedrela odorata, Gu= Guazuma ulmifolia, Lp = Lonchocarpus punctatus, Cs = Cecropia shreberiana, Tm = Trema micrantha, Lh = Lonchocarpus heptaphylus, Il = Inga laurina, Ca= Cordia alliodora, Gl= Gliricidia Sepium, li= Inga Ingoides, Cis= Citharexylum spinosum, Lr = Lonchocarpus roseus, Sg=Sapium gladulosu, Op = Ochroma pyramidales).	34
Figure 17 : Graphique représentant l'inverse de la surface foliaire en fonction du taux d'azote foliaire des différentes essences de la collection du CAEC (n=15) représentées par des points de couleurs, les mêmes essences issues de la base de données TRY sont représentées par les mêmes couleurs respectives et des carrés. Les arbres issus de la base de données Glopnet sont représentés par des triangles gris.	35
Figure 18 : Cercle de corrélation sur la dimension 1 et 2. Le pourcentage de variance expliqué par la dimension 1 est de 54,17%. Les facteurs sont les suivants : SLA = Surface foliaire spécifique, N = Azote, Chloro = chlorophylle, LDMC = Taux de matière sèche, thickness = épaisseur, C.N = rapport C/N. L'ensemble des facteurs est lisible sur l'axe des abscisses. 38	38
Figure 19 : Graphique des individus projetés dans les dimensions 1 et 2 ; n= 3 pour chaque espèce. Le nom des espèces est codé de la manière suivante : Pr = Pimenta racemosa, Ec = Erythrina corallodendron, Co= Cedrela odorata, Gu= Guazuma ulmifolia, Lp = Lonchocarpus punctatus, Cs = Cecropia shreberiana, Tm = Trema micrantha, Lh = Lonchocarpus heptaphylus, Il = Inga laurina, Ca= Cordia alliodora, Gl= Gliricidia Sepium, li= Inga Ingoides, Cis= Citharexylum spinosum, Lr = Lonchocarpus roseus, Sg=Sapium gladulosu, Op = Ochroma pyramidales).....	38

Figure 20 : Répartition des essences du CAEC le long du spectre économique des feuilles .39	
Figure 21 : graphique des individus projetés sur les mêmes plans 1 et 2 que la Figure 4 et 5. n = 15 par espèce. Les individus colorés en rouge ne fixent pas de l'azote, les individus en bleu fixent de l'azote. Les Ellipses regroupent les individus selon le critère de fixation d'azote.40	40
Figure 22 : Graphique représentant la vitesse de croissance en mètre par an de chaque espèce ; les espèces sont classées par ordre décroissant de vitesse43	43
Figure 23 : Ratio d'utilisation des terres SLU, 2023.....50	50
Figure 24 : schéma interculture50	50
Figure 25 : schéma culture intercalaire51	51
<i>Figure 26 : Rendement en agroforesterie en fonction de l'orientation du soleil. Dans le cas de lignes d'arbres orientées Nord-Sud, le rendement de l'interculture est de 70 – 75%. En revanche, pour les lignes orientées Est – Ouest, la situation est beaucoup plus variable. Au nord de la ligne d'arbres, la chute de rendement est beaucoup plus forte sous la ligne d'arbres (55%)51</i>	51
Figure 27 : Coût en € par tonne des différents systèmes bananiers 53	53

Table des tableaux :

Tableau 1 : Essences de la pépinière Petit Morne ; les essences en orange sont fixatrices d'azote (Amassaghrou et al. 2021)(INPN 2023).....21	21
Tableau 2 : Résultats des ANOVA testant l'effet des espèces sur l'expression des traits foliaires : surface foliaire spécifique, chlorophylle, épaisseur, teneur en matière sèche ; n=15 ;Les P-value significatives sont en gras. Le seuil de significativité α est de 0,05 32	32
Tableau 3 : Résultats des ANOVA comparant les valeurs de trait d'Inga Ingoides de la collection du CAEC et des parcelles d'essai en banane en agroforesterie (BANABIO) (n=45) ; et les Gliricidia Sepium de la collection du CAEC à ceux d'une parcelle de banane en production en agroforesterie (AUBERY) (n=45). Le seuil de significativité α est de 0,05. Les p-value significatives sont indiquées en gras34	34
Tableau 4 : résultats d'une ANOVA de l'effet de l'espèce (n=3) et du groupe fonctionnel (fixateur n = 7 ou non fixateur d'azote n=9) sur deux paramètres du sol (taux d'azote et taux de carbone) ; seuil de signification : $\alpha = 0,05$, les p-value significatives sont en gras..... 41	41
Tableau 5 : Moyenne et écart type par espèce pour les chutes de litière n=19 et l'ouverture de la canopée n=3. Les valeurs moyennes en gras représentent les valeurs maximales. La p value en gras indique une différence significative entre les espèces42	42
Tableau 6 : seuils de mesures47	47

Tables des matières

Résumé.....	II
Abstract.....	III
Remerciements.....	IV
Sommaire.....	5
Introduction.....	6
PARTIE 1 : L'agroforesterie en bananeraies en Martinique : entre enjeux économiques, environnementaux et sociétaux.....	7
1 Enjeux climatiques globaux.....	8
2 Contexte de la banane en Martinique.....	8
2.1 Présentation générale.....	8
2.2 Histoire : Un fonctionnement basé sur l'histoire coloniale.....	9
2.3 La monoculture de banane.....	9
2.4 La chlordécone.....	10
3 Vers une démarche agroécologique.....	11
3.1 L'agroforesterie.....	11
3.2 Des acteurs pour accompagner la transition.....	13
3.2.1 Le CIRAD.....	13
3.2.2 L'Isaac Lab.....	13
3.2.3 Le Conservatoire Botanique National de Martinique.....	13
3.3 Une étude écologique.....	14
3.3.1 Une approche par l'étude des traits fonctionnels.....	14
3.3.2 Utilisation des ressources – Stratégie écologique des arbres.....	15
4 Projet MADINSAF : problématiques et objectifs.....	16
PARTIE 2 : Matériels et Méthodes.....	17
1 Présentation des zones d'études.....	19
1.1 Pépinière expérimentale – Petit Morne, CAEC.....	20
1.1.1 Organisation générale.....	20
1.1.2 Les essences d'arbres.....	20
1.2 BANABIO (BANAnE BIOlogique).....	22
1.3 Bananeraies Aubery.....	23
2 Sélection des traits fonctionnels.....	24
3 Plan d'échantillonnage.....	26
3.1 Étude foliaire.....	26
3.1.1 Traits Physiologiques.....	26
3.1.2 Traits Morphologiques.....	26
3.1.3 Traits Chimiques.....	26

3.2	Etude sol.....	27
3.3	Etude de l'arbre en entier	27
4	Traitement des données - Analyse statistique	28
4.1	Étude foliaire.....	28
PARTIE 3 : Résultats.....		31
1	Variabilité interspécifique et intraspécifique des traits des espèces étudiées	32
1.1	Hypothèse n°1 : Les différentes essences indigènes à la même zone géographique sont écologiquement différentes	32
1.2	Hypothèse n°2 : L'expression des traits est modifiée par le contexte agronomique 34	
1.3	Hypothèse n°3 : La zone géographique influence l'expression des traits	35
2	Caractérisation des stratégies écologiques des espèces	37
2.1	Hypothèse n°4 : Les traits sont des indicateurs de la stratégie écologique des arbres : acquisitive / conservative	37
2.2	Hypothèse n°5 : Les arbres fixateurs d'azote ont une stratégie différente des arbres non-fixateurs d'azote	40
3	Résultats complémentaires	41
3.1	Effets des espèces d'arbres sur les propriétés du sol	41
3.2	Données sur la vitesse de croissance et la canopée des espèces d'arbres.....	42
PARTIE 4 : Discussions, propositions et prise de recul.....		44
1	Discussion	45
2	Proposition.....	47
2.1	Construire l'agrosystème	47
2.2	Outils d'aide à la décision.....	47
3	Exemple d'adaptation de l'agroforesterie – Proposition.....	49
3.1	L'agroforêt.....	49
3.2	L'interculture	50
3.3	Culture intercalaire en ligne.....	51
3.4	Haies	51
4	Limites de l'étude, prise de recul	52
4.1	Aspect technique	52
4.2	Fédérer les acteurs	52
4.3	Prise de recul : l'agroforesterie en bananeraie dans son contexte	53
Conclusion		55
Table des illustrations		56
Table des tableaux		57
Bibliographie		60
Annexes		65

Bibliographie

AMASSAGHROU, A., BOUAZIZ, A., DAOUI, K., BELHOUCLETTE, H., EZZAHOUANI, A. et BARKAOUI, K., 2021. Productivité et efficience des systèmes agroforestiers à base d'oliviers au Maroc: cas de Moulay Driss Zerhoun. *Cahiers Agricultures*. 2021. Vol. 30, pp. 2. DOI 10.1051/cagri/2020041.

BANABIOSA, 2018. Bananas in the mist or Agroforestry - BANABIO S.A. [en ligne]. 2018. [Consulté le 24 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.banabiosa.com/bananas-and-agroforestry-agriculture/>

BAYALA, J. et PRIETO, I., 2020. Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. *Plant and Soil*. 1 août 2020. Vol. 453, n° 1, pp. 17-28. DOI 10.1007/s11104-019-04173-z.

CANNELL, M.G.R, VAN NOORDWIJK, M. et ONG, C.K, 1996. (PDF) The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. [en ligne]. 1996. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/216333068_The_central_agroforestry_hypothesis_The_trees_must_acquire_resources_that_the_crop_would_not_otherwise_acquire

CIRAD, 2023. Projets expérimentation Agro écologiques DEPHY EXPE Pesticides en dernier recours Evaluation de systèmes de culture innovante de Banane Biologique. *CIRAD* [en ligne]. 2023. [Consulté le 13 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.cirad.fr/dans-le-monde/cirad-dans-le-monde/projets/projet-banabio>

COULIS, M., SAUVADET, M., FLAK, A., PROCHASSON, A., TSOUKAS, L., GERVAIS, L., NORMAND, L., ROSALIE, E., ACHARD, R., MONSOREAU, L., TELLE, N., MAURIOL, C., BIRBA, O., ORNEM, G., ALIKER, M., MARVILLE, E., DARIBO, M., SAINTE ROSE, J., DURAL, D., VINCENT, K., VILNA, T., HERY, M., GILBERT, S., LAPEYRE DE BELLAIRE, L.

et GUILLERMET, C., 2023. Multidisciplinary assessment of two organic banana production systems in Martinique - Agritrop. [en ligne]. 2023. [Consulté le 29 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://agritrop.cirad.fr/606223/>

COULIS, M., SAUVADET, M., PROCHASSON, A., JULAN, C., VINCENT, B., BÂ, A. et GALIANA, A., 2022. *Impact de l'introduction de légumineuses ligneuses sur l'apport d'azote fixé d'origine symbiotique au sein des systèmes bananiers*.

DAAF, Internet, 2021. Mémento Agricole 2021. [en ligne]. 2021. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://daaf.martinique.agriculture.gouv.fr/memento-agricole-2021-a755.html>

DAMOUR G., Dorel M., 2014. A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. [en ligne]. 2014. [Consulté le 29 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : https://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=571425

DELTOUR, Pauline, C. FRANÇA, Soraya, LIPARINI PEREIRA, Olinto, CARDOSO, Irene, DE NEVE, Stefaan, DEBODE, Jane et HÖFTE, Monica, 2017. Disease suppressiveness to Fusarium wilt of banana in an agroforestry system: Influence of soil characteristics and plant community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 15 février 2017. Vol. 239, pp. 173-181. DOI 10.1016/j.agee.2017.01.018.

DOLLINGER, J. et JOSE, S., 2018. Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*. 2018. Vol. 92, n° 2, pp. 213-219. DOI 10.1007/s10457-018-0223-9.

DUPLAN, S., 2001. La crise de la banane à la Martinique en 1998: un révélateur de la aise d'un système social et économique? *Outre-Mers. Revue d'histoire*. 2001. Vol. 88, n° 330, pp. 143-157. DOI 10.3406/outre.2001.3843.

ECOPHYTO, 2023. Projet BANABIO | Ecophytopic. [en ligne]. 2023. [Consulté le 13 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/projet-banabio>

EGALITERRE, 2014. TABLEAU RECAPITULATIF du RAPPORT CARBONE/AZOTE. *Association Egaliterre Capbreton* [en ligne]. 2014. [Consulté le 24 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://egaliterre.fr/2014/09/24/tableau-recapitulatif-du-rapport-carboneazote/>

FAO, 2019. FAO - Nouvelles: Rapport de l'ONU: Alors que la faim augmente et que la malnutrition persiste, la réalisation de l'objectif Faim zéro d'ici à 2030 est compromise. [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : <http://www.fao.org/news/story/fr/item/1297840/icode/>

FAO, 2023a. Banane | Terre et eau | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture | Terre et eau | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [en ligne]. 2023. [Consulté le 25 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/banana/en/>

FAO, 2023b. Connaissances de base | Boîte à outils GDF | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [en ligne]. 2023. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/agroforestry/basic-knowledge/en/>

FRASER, Lauchlan H., 2020. TRY—A plant trait database of databases. *Global Change Biology*. 2020. Vol. 26, n° 1, pp. 189-190. DOI 10.1111/gcb.14869.

GANRY, F. et DOMMARGUES, Y. R., 1995. Arbres fixateurs d'azote: champ ouvert pour la recherche. *Agriculture et Développement* [en ligne]. 1995. [Consulté le 20 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://agritrop.cirad.fr/387765/>

GOETSCH, Ernst et LTDA, Agrosilvicultura, [sans date]. NATURAL SUCCESSION OF SPECIES IN AGROFORESTRY AND IN SOIL RECOVERY. .

HARMAND, J. et SEGHIÉRI, J. (éd.), 2021. *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale : Recherche de compromis entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ. [Consulté le 28 septembre 2023]. Update Sciences & Technologie. ISBN 978-2-7592-3389-2. Disponible à l'adresse : <http://books.openedition.org/quæ/38580>

INGHIRAMI BENAROCHE, M., 2023. Banane: L'agroforesterie fait ses premiers pas en Martinique. [en ligne]. 2023. [Consulté le 13 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.freshplaza.fr/article/9504238/banane-l-agroforesterie-fait-ses-premiers-pas-en-martinique/>

INPN, 2023. INPN - Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). [en ligne]. 2023. [Consulté le 13 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>

ISAAC, M. et BORDEN, K., 2019. Nutrient acquisition strategies in agroforestry systems | SpringerLink. [en ligne]. 2019. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04232-5>

ISAAC, Marney, NYANTAKYI-FRIMPONG, Hanson, MATOUŠ, Petr, DAWOE, Evans et ANGLAERE, Luke, 2021. Farmer networks and agrobiodiversity interventions: the unintended outcomes of intended change. *Ecology and Society*. 2021. Vol. 26. DOI 10.5751/ES-12734-260412.

JENKINS, M., VIRGINIE, R. et JARRELL, W., 1998. Depth Distribution and Seasonal Populations of Mesquite-Nodulating Rhizobia in Warm Desert Ecosystems - Jenkins - 1988 - Soil Science Society of America Journal - Wiley Online Library. [en ligne]. 1998. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1988.03615995005200060026x>

JOHNSEN, F., OKTING'ATI, A. et RUGALEMA, G., 1994. The homegarden agroforestry system of Bukoba district, North-Western Tanzania. 1. Farming system analysis | SpringerLink.

[en ligne]. 1994. [Consulté le 24 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00705152>

KAGEZI, GH, TUSHEMEREIRWE, S., KARAMURA, M., STAVAR, C. et KENNETH, N., 2018. (PDF) GESTION DU COUVERT, CHUTE DES FEUILLES ET QUALITÉ DE LA DÉCHÈTE DES ESPÈCES D'ARBRE DOMINANTES DANS LE SYSTÈME AGROFORESTIER BANANIER EN OUGANDA. [en ligne]. 2018. [Consulté le 24 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/324601646_CANOPY_MANAGEMENT_LEAF_FALL_AND_LITTER_QUALITY_OF_DOMINANT_TREE_SPECIES_IN_THE_BANANA_AGROFORESTRY_SYSTEM_IN_UGANDA

KOBERL, M., DITA, M., MARTINUZ, A., STAVERS, C. et BERG, G., 2015. Frontiers | Agroforestry leads to shifts within the gammaproteobacterial microbiome of banana plants cultivated in Central America. [en ligne]. 2015. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.00091/full>

LASSOUDIÈRE, A., 2007. *Le bananier et sa culture*. Versailles : Éd. Quae. Savoir faire. ISBN 978-2-7592-0046-7. 634.772

MALÉZIEUX, E., CROZAT, Y., DUPRAZ, C., LAURANS, M., MAKOWSKI, D., OZIER-LAFONTAINE, H., RAPIDEL, B., TOURDONNET, S. et VALANTIN-MORISON, M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. mars 2009. Vol. 29, n° 1, pp. 43-62. DOI 10.1051/agro:2007057.

MARTIN, A et ISAAC, M., 2018. Functional traits in agroecology: Advancing description and prediction in agroecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 2018. Vol. 55, pp. 5-11. DOI 10.1111/1365-2664.13039.

MARTIN, Adam R. et ISAAC, Marney E., 2015. REVIEW: Plant functional traits in agroecosystems: a blueprint for research. *Journal of Applied Ecology*. 2015. Vol. 52, n° 6, pp. 1425-1435. DOI 10.1111/1365-2664.12526.

MÉTÉO FRANCE, 2023. CLIMAT MARTINIQUE par Météo-France - Normales et relevés sur la Martinique. [en ligne]. 2023. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://meteofrance.mq/fr/climat>

MEUNIER, Q, LASSOIS, L et DOUCET, J-L, [sans date]. Guide de plantation et de conduite d'une bananeraie agroforestière en milieu rural au Gabon. .

MOONEY, P., JACOBS, N., VILLA, V., THOMAS, J., BACON, M., VANDELAC, L. et SCHIAVONI, C., 2021. Alimentation IPES | Un long mouvement alimentaire: transformer les systèmes alimentaires d'ici 2045. [en ligne]. 2021. [Consulté le 25 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipes-food.org/pages/LongFoodMovement>

MUNROE, J. et ISAAC, M., 2013. N₂-fixing trees and the transfer of fixed-N for sustainable agroforestry: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 34, pp. 417-427. DOI 10.1007/s13593-013-0190-5.

NOIHA NOUMI, V., ZAPFACK, L., HAMADOU, M. R., AWE DJONGMO, V., WITANOU, N., NYECK, B., NGOSSOMO, J. D., TABUE MBOBDA, R. B. et MAPONGMETSEM, P. M., 2018. Floristic diversity, carbon storage and ecological services of eucalyptus agrosystems in Cameroon. *Agroforestry Systems*. 2018. Vol. 92, n° 2, pp. 239-250. DOI 10.1007/s10457-017-0130-5.

NOTRE-ENVIRONNEMENT, 2023. Les sols en outre-mer. *notre-environnement* [en ligne]. 2023. [Consulté le 3 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <http://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/biodiversite/les-sols-et-sous-sols-ressources/article/les-sols-en-outre-mer>

NUTMAN, P. S., 1965. Symbiotic Nitrogen Fixation. In : *Soil Nitrogen* [en ligne]. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 360-383. [Consulté le 28 septembre 2023]. ISBN 978-0-89118-205-4. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr10.c10>

NYGREN, P., FERNANDEZ, M., HARMAND, JM. et LEBLANC, H., 2012. (PDF) Symbiotic dinitrogen fixation by trees: An underestimated resource in agroforestry systems? [en ligne]. 2012. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/236616187_Symbiotic_dinitrogen_fixation_by_trees_An_underestimated_resource_in_agroforestry_systems

ODUOL, P. et ALUMA, J., 1990. The banana (Musa spp.) — Coffee robusta: traditional agroforestry system of Uganda | SpringerLink. [en ligne]. 1990. [Consulté le 24 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00045900>

ORDONNEZ, J., BODEGOM, P., WITTE, J.P. et WRIGHT, J.P., 2009. (PDF) Une étude mondiale des relations entre les caractéristiques des feuilles, le climat et les mesures de fertilité des nutriments du sol. [en ligne]. 2009. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/227715962_A_global_study_of_relationships_between_leaf_traits_climate_and_soil_measures_of_nutrient_fertility

OUBLIÉ, Jessica, GOBBI, Nicola et LEBRUN, Vinciane, 2022. *Tropiques toxiques: le scandale du chlordécone*. Nouvelle éd. Paris : Steinkis les Escalles. Témoins du monde. ISBN 978-2-36569-759-0. 363.738 498

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., DÍAZ, S., GARNIER, E., LAVOREL, S., POORTER, H., JAUREGUIBERRY, P., BRET-HARTE, M. S., CORNWELL, W. K., CRAINE, J. M., GURVICH, D. E., URCELAY, C., VENEKLAAS, E. J., REICH, P. B., POORTER, L., WRIGHT, I. J., RAY, P., ENRICO, L., PAUSAS, J. G., DE VOS, A. C., BUCHMANN, N., FUNES, G., QUÉTIER, F., HODGSON, J. G., THOMPSON, K., MORGAN, H. D., TER STEEGE, H., SACK, L., BLONDER, B., POSCHLOD, P., VAIERETTI, M. V., CONTI, G., STAVER, A. C., AQUINO, S. et CORNELISSEN, J. H. C., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 2013. Vol. 61, n° 3, pp. 167. DOI 10.1071/BT12225.

PIERRET, A., MAEGHT, J.L., CLÉMENT, C., MONTOROI, J.P, HARTMANN, C. et GONKHANDEM, S., 2016. Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research | Annals of Botany | Oxford Academic. [en ligne]. 2016. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/aob/article/118/4/621/2196536?login=false>

PIETSCH, K., OGLE, K., CORNELISSEN, J., CORNWELL, W., BÖNISCH, G., CRAINE, J., JACKSON, B., KATTGE, J., PELTZER, D., PENUELAS, J., REICH, P., WARDLE, D., WEEDON, J.T., WRIGHT, I., ZANNE, A. et WIRTH, C., 2014. Global relationship of wood and leaf litter decomposability: the role of functional traits within and across plant organs. *Global Ecology and Biogeography*. 2014. Vol. 23, n° 9, pp. 1046-1057. DOI 10.1111/geb.12172.

RIPPLE, W., WOLF, C., NEWSOME, T., BARNARD, P. et MOOMAW, W., 2020. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*. 2020. Vol. 70, n° 1, pp. 8-12. DOI 10.1093/biosci/biz088.

SAUVADET, M., ASARE, R. et ISAAC, M., 2020. Evolutionary distance explains shade tree selection in agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 décembre 2020. Vol. 304, pp. 107125. DOI 10.1016/j.agee.2020.107125.

SIEFERT, A., VIOLLE, C, CHALMANDRIER, L., ALBERT, C., TAUDIERE, A., FAJARDO, A., AARSSSEN, L., BARALOTO, C., CARLUCCI, M., CIANCIARUSO, M., DANTAS, V., BELLO, F., DUARTE, L., FONSECA, C., FRESCHET, G., GAUCHERAND, S. et GROSS, N., 2016. A global meta-analysis of the relative extent of intraspecific trait variation in plant communities. . 2016.

SNOECK, D., PENOT, E., GOHET, E., DAUZAT, J., SAJ, S. et VAAST, P., 2021. *Les systèmes agroforestiers des cultures pérennes*.

SYVERSTEN, 1995. On the relationship between leaf anatomy and CO2 diffusion through the mesophyll of hypostomatous leaves - SYVERTSEN - 1995 - Plant, Cell & Environment - Wiley

- Online Library. [en ligne]. 1995. [Consulté le 13 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00348.x>
- TOPPS, J., 1990. Alley farming in the humid and subhumid tropics. Proceedings of an International Workshop held at Ibadan, Nigeria, 10–14 March 1986. *Biological Wastes*. janvier 1990. Vol. 33, n° 3, pp. 228-229. DOI 10.1016/0269-7483(90)90009-H.
- TORQUEBIAU, E., 2022. Le livre de l'agroforesterie. Comment les arbres peuvent sauver l'agriculture. *CIRAD* [en ligne]. 7 juillet 2022. [Consulté le 29 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.cirad.fr/espace-presse/communiqués-de-presse/2022/de-l-agroforesterie-pour-l-agriculture>
- VILE, D., GARNIER, E., SHIPLEY, B., LAURENT, G., NAVAS, M., ROUMET, C., LAVOREL, S., DÍAZ, S., HODGSON, J., LLORET, F., MIDGLEY, G., POORTER, H., RUTHERFORD, M., WILSON, P. et WRIGHT, I., 2005. Specific Leaf Area and Dry Matter Content Estimate Thickness in Laminar Leaves. *Annals of Botany*. 2005. Vol. 96, n° 6, pp. 1129-1136. DOI 10.1093/aob/mci264.
- VIOLLE, C., NAVAS, M., VILE, D., KAZAKOU, E., FORTUNEL, C., HUMMEL, I. et GARNIER, E., 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*. 2007. Vol. 116, n° 5, pp. 882-892. DOI 10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x.
- WOOD, P. J. et BURLEY, J., 1991. *A tree for all reasons: introduction and evaluation of multipurpose trees for agroforestry*. Nairobi, Kenya : International Centre for Research in Agroforestry. Science and practice of agroforestry, 5. ISBN 978-92-9059-075-0. SB172 .W66 1991
- WORLD AGROFORESTRY, 2023. What is Agroforestry? *World Agroforestry | Transforming Lives and Landscapes with Trees* [en ligne]. 2023. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.worldagroforestry.org/about/agroforestry>
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO), 2020. *WMO Provisional Report on the State of the Global Climate 2020*. Geneva : WMO.
- WRIGHT, Ian J., REICH, Peter B., WESTOBY, Mark, ACKERLY, David D., BARUCH, Zdravko, BONGERS, Frans, CAVENDER-BARES, Jeannine, CHAPIN, Terry, CORNELISSEN, Johannes H. C., DIEMER, Matthias, FLEXAS, Jaume, GARNIER, Eric, GROOM, Philip K., GULIAS, Javier, HIKOSAKA, Kouki, LAMONT, Byron B., LEE, Tali, LEE, William, LUSK, Christopher, MIDGLEY, Jeremy J., NAVAS, Marie-Laure, NIINEMETS, Ülo, OLEKSYN, Jacek, OSADA, Noriyuki, POORTER, Hendrik, POOT, Pieter, PRIOR, Lynda, PYANKOV, Vladimir I., ROUMET, Catherine, THOMAS, Sean C., TJOELKER, Mark G., VENEKLAAS, Erik J. et VILLAR, Rafael, 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*. avril 2004. Vol. 428, n° 6985, pp. 821-827. DOI 10.1038/nature02403.
- WWF, 2023. 2 août: Jour du dépassement 2023 | WWF France. [en ligne]. 2023. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.wwf.fr/jour-du-depassement>
- ZANDER, U., 2013. La hiérarchie «socio-raciale» en Martinique Entre persistances postcoloniales et évolution vers un désir de vivre ensemble. *Revue Asylon(s)* [en ligne]. 2013. N° 11. [Consulté le 28 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <http://www.reseau-terra.eu/article1288.html>
- ZÜRCHER, E. et SIRVEN, B., 2016. *Les arbres, entre visible et invisible: s'étonner, comprendre, agir*. Arles : Actes Sud. ISBN 978-2-330-06594-2. 582.16

Annexe n°1 : plan de l'essai Petit Morne avec les dates de plantations

TRACE

<i>Coccoloba shwarzii</i>			<i>Glinicida sepium</i>			<i>Cordia sulcata</i>			<i>Senegalia muricata</i>			<i>Sterculia caribea</i>			<i>Andira inermis</i>				
11/02/2022			16/03/2022			11/02/2022			08/03/2021			08/03/2021			08/03/2021				
Cocs-A	Cocs-B	Cocs-C	Gls-A1	Gls-B1	Gls-C1	Cos-A1	Cos-B1	Cos-C1	Sm-A1	Sm-B1	Sm-C1	Sc-A1	Sc-B1	Sc-C1	Ai-A1	Ai-B1	Ai-C1		
Cocs-A	Cocs-B	Cocs-C	Gls-A2	Gls-B2	Gls-C2	Cos-A2	Cos-B2	Cos-C2	Sm-A2	Sm-B2	Sm-C2	Sc-A2	Sc-B2	Sc-C2	Ai-A2	Ai-B2	Ai-C2		
Cocs-A	Cocs-B	Cocs-C	Gls-A3	Gls-B3	Gls-C3	Cos-A3	Cos-B3	Cos-C3	Sm-A3	Sm-B3	Sm-C3	Sc-A3	Sc-B3	Sc-C3	Ai-A3	Ai-B3	Ai-C3		
Cocs-A	Cocs-B	Cocs-C	Gls-A4	Gls-B4	Gls-C4	Cos-A4	Cos-B4	Cos-C4	Sm-A4	Sm-B4	Sm-C4	Sc-A4	Sc-B4	Sc-C4	Ai-A4	Ai-B4	Ai-C4		
<i>Erythrina corallodendro</i>			<i>Trema micrantha</i>			<i>Lanchoarpus heptaphy</i>			<i>Cedrela odorata</i>			<i>Inga laurina</i>			<i>Cichroma pyramidales</i>				
07/06/2019			07/06/2019			17/06/2019			15/07/2019			18/06/2019			15/07/2019				
Ec-A1	Ec-B1	Ec-C1	Tm-A1	Tm-B1	Tm-C1	Lh-A1	Lh-B1	Lh-B1	Co-A1	Co-B1	Co-C1	Il-A1	Il-B1	Il-C1	Op-A1	Op-B1	Op-C1		
Ec-A2	Ec-B2	Ec-C2	Tm-A2	Tm-B2	Tm-C2	Lh-A2	Lh-B2	Lh-B2	Co-A2	Co-B2	Co-C2	Il-A2	Il-B2	Il-C2	Op-A2	Op-B2	Op-C2		
Ec-A3	Ec-B3	Ec-C3	Tm-A3	Tm-B3	Tm-C3	Lh-A3	Lh-B3	Lh-B3	Co-A3	Co-B3	Co-C3	Il-A3	Il-B3	Il-C3	Op-A3	Op-B3	Op-C3		
Ec-A4	Ec-B4	Ec-C4	Tm-A4	Tm-B4	Tm-C4	Lh-A4	Lh-B4	Lh-B4	Co-A4	Co-B4	Co-C4	Il-A4	Il-B4	Il-C4	Op-A4	Op-B4	Op-C4		
<i>Fimentera racemosa</i>			<i>Inga ingoides</i>			<i>Cordia alliodora</i>			<i>Lanchoarpus roseus</i>			<i>Cecropia shreberiana</i>			<i>ocarpus officinalis (all D</i>				
28/08/2019			21/06/2019			09/10/2019			26/07/2019			26/07/2019			06/08/2019				
Pr-A1	Pr-B1	Pr-C1	li-A1	li-B1	li-C1	Ca-A1	Ca-B1	Ca-C1	Lr-A1	Lr-B1	Lr-C1	Cs-A1	Cs-B1	Cs-C1					
Pr-A2	Pr-B2	Pr-C2	li-A2	li-B2	li-C2	Ca-A2	Ca-B2	Ca-C2	Lr-A2	Lr-B2	Lr-C2	Cs-A2	Cs-B2	Cs-C2					
Pr-A3	Pr-B3	Pr-C3	li-A3	li-B3	li-C3	Ca-A3	Ca-B3	Ca-C3	Lr-A3	Lr-B3	Lr-C3	Cs-A3	Cs-B3	Cs-C3					
Pr-A4	Pr-B4	Pr-C4	li-A4	li-B4	li-C4	Ca-A4	Ca-B4	Ca-C4	Lr-A4	Lr-B4	Lr-C4	Cs-A4	Cs-B4	Cs-C4					
<i>Guazuma ulmifolia</i>				<i>Cimmosia monosperma (half dec</i>				<i>Citharexylum spinosum</i>				<i>lanchoarpus punctatus</i>				<i>Sapium glandulosum</i>			
03/08/2020				03/08/2020				24/06/2020				13/02/2020				03/08/2020			
Gu-A1	Gu-A2	Gu-A3	Gu-A4					24/12/2022	24/12/2022	Cis-A1	Cis-B1	Cis-C1	Lp-A1	Lp-B1	Lp-C1	Sg-A1	Sg-B1	Sg-C1	
Gu-B1	Gu-B2	Gu-B3	Gu-B4					24/12/2022	24/12/2022	Cis-A2	Cis-B2	Cis-C2	Lp-A2	Lp-B2	Lp-C2	Sg-A2	Sg-B2	Sg-C2	
Gu-C1	Gu-C2	Gu-C3	Gu-C4	†				†	†	Cis-A3	Cis-B3	Cis-C3	Lp-A3	Lp-B3	Lp-C3	Sg-A3	Sg-B3	Sg-C3	
										Cis-A4	Cis-B4	Cis-C4	Lp-A4	Lp-B4	Lp-C4	Sg-A4	Sg-B4	Sg-C4	

Annexe 2 : Plan d'échantillonnage

	Function indicator	Method	Repetitions
Leaf functional traits			
Specific leaf area	Litter input/litter decomposition (higher = faster)	Scan then ImageJ analysis	Sun and shade collection; 3 leaves per stratum per individual*; 3 individuals per species
Leaf thickness	Litter decomposition (higher = slower)	Micrometer	Sun and shade collection; 3 leaves per stratum per individual; 3 individuals per species
Leaf dry matter content	Litter decomposition (higher = slower)	Wet weight and dry weight after 48H in oven at 60C	Sun and shade collection; 3 leaves per stratum per individual; 3 individuals per species
Leaf chemistry – nitrogen, carbon and phosphorus	Litter decomposition and soil nutrient availability (variable)	Dried leaves ground and analyzed in elemental analyzer or spectrophotometer	Sun and shade collection; 3 leaves per stratum per individual; 3 individuals per species
Leaf chlorophyll	Leaf health	Chlorophyll meter	Sun and shade collection; 3 leaves per stratum per individual; 3 individuals per species

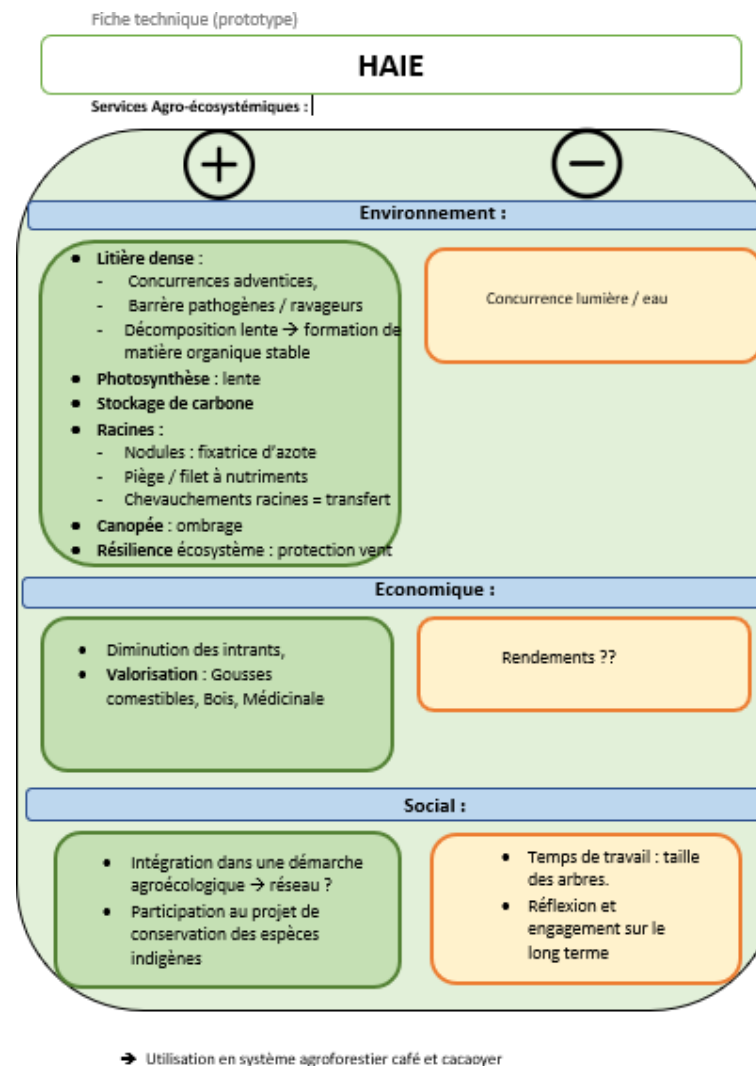
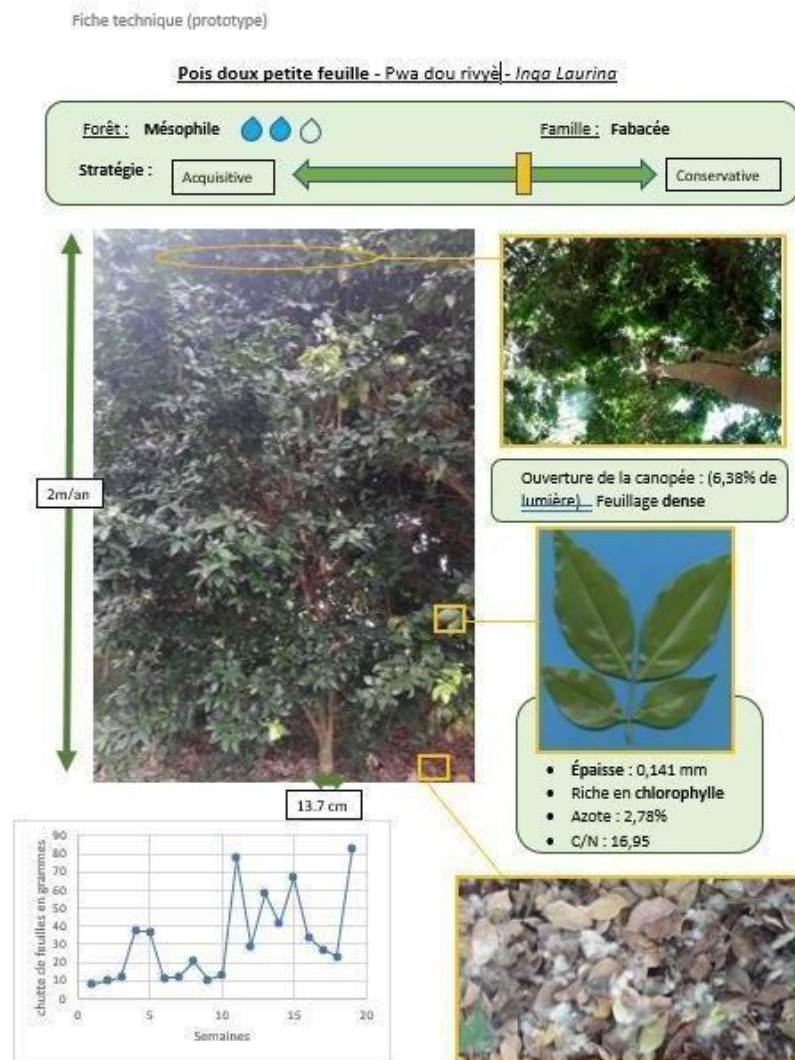
Annexe 3 Valeur moyenne \pm écart type (SD) et coefficient de variation pour chaque espèce par trait foliaire.

Traits	Espèces	Moyenne (\pm sd)	CV (%)
Chlorophylle	<i>Cecropia shreberiana</i>	352,58 (46,06)	13,06
	<i>Cedrela odorata</i>	264,84 (43,25)	16,33
	<i>Citharexylum spinosum</i>	450,48 (46,18)	10,25
	<i>Cordia alliodora</i>	532,38 (67,42)	12,66
	<i>Erythrina corallodendron</i>	305,32 (44,80)	14,67
	<i>Gliricidia Sepium</i>	277,36 (37,73)	13,60
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	288,11 (95,13)	33,02
	<i>Inga ingoides</i>	750,14 (129,42)	17,25
	<i>Inga laurina</i>	613,96 (193,60)	31,53
	<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	468,43 (98,85)	21,10
	<i>Lonchocarpus punctatus</i>	397,88 (37,48)	9,42
	<i>Lonchocarpus roseus</i>	332,81 (83,62)	25,13
	<i>Ochroma pyramidales</i>	399,63 (40,81)	10,21
	<i>Pimenta racemosa</i>	584,07 (72,69)	12,44
	<i>Sapium gladulosum</i>	640,08 (192,33)	30,05
<i>Trema micrantha</i>	311,13 (29,84)	9,59	
Surface foliaire spécifique	<i>Cecropia shreberiana</i>	96,60 (42,90)	44,41
	<i>Cedrela odorata</i>	243,34 (69,54)	28,58
	<i>Citharexylum spinosum</i>	121,08 (17,73)	14,64
	<i>Cordia alliodora</i>	145,68 (36,86)	25,30
	<i>Erythrina corallodendron</i>	175,06 (34,18)	19,53
	<i>Gliricidia Sepium</i>	165,87 (48,72)	9,22
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	165,31 (25,72)	15,56
	<i>Inga ingoides</i>	118,74 (15,58)	13,12
	<i>Inga laurina</i>	140,86 (15,14)	10,75
	<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	142,64 (25,10)	17,60
	<i>Lonchocarpus punctatus</i>	155,59 (42,10)	27,06
	<i>Lonchocarpus roseus</i>	283,74 (84,81)	29,89
	<i>Ochroma pyramidales</i>	127,61 (22,20)	17,40
	<i>Pimenta racemosa</i>	86,25 (12,93)	14,99
	<i>Sapium gladulosum</i>	111,45 (32,58)	29,23
<i>Trema micrantha</i>	229,89 (39,14)	17,03	
Épaisseur	<i>Cecropia shreberiana</i>	0,152 (0,024)	15,94
	<i>Cedrela odorata</i>	0,137 (0,025)	18,15
	<i>Citharexylum spinosum</i>	0,148 (0,026)	17,31
	<i>Cordia alliodora</i>	0,135 (0,026)	19,26
	<i>Erythrina corallodendron</i>	0,128 (0,025)	19,84

	<i>Gliricidia Sepium</i>	0,170 (0,018)	10,67
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,107 (0,017)	16,08
	<i>Inga ingoides</i>	0,124 (0,021)	17,14
	<i>Inga laurina</i>	0,141 (0,027)	19,24
	<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	0,142 (0,025)	17,51
	<i>Lonchocarpus puntatus</i>	0,142 (0,028)	19,44
	<i>Lonchocarpus roseus</i>	0,101 (0,020)	19,90
	<i>Ochroma pyramidales</i>	0,122 (0,040)	32,47
	<i>Pimenta racemosa</i>	0,176 (0,046)	26,16
	<i>Sapium gladulosum</i>	0,186 (0,037)	19,82
	<i>Trema micrantha</i>	0,135 (0,020)	14,70
Teneur en matière sèche	<i>Cecropia shreberiana</i>	308,11 (38,78)	12,59
	<i>Cedrela odorata</i>	240,37 (31,55)	13,12
	<i>Citharexylum spinosum</i>	313,79 (22,88)	7,29
	<i>Cordia alliodora</i>	346,62 (38,32)	11,05
	<i>Erythrina corallodendron</i>	303,89 (37,61)	12,37
	<i>Gliricidia Sepium</i>	242,30 (23,17)	9,56
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	330,86 (52,88)	15,98
	<i>Inga ingoides</i>	420,80 (81,45)	19,36
	<i>Inga laurina</i>	404,20 (26,07)	6,45
	<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	322,56 (19,50)	6,05
	<i>Lonchocarpus puntatus</i>	359,68 (47,90)	13,32
	<i>Lonchocarpus roseus</i>	267,14 (36,77)	13,77
	<i>Ochroma pyramidales</i>	304,25 (48,73)	16,02
	<i>Pimenta racemosa</i>	405,87 (45,76)	11,27
<i>Sapium gladulosum</i>	303,14 (48,04)	15,85	
<i>Trema micrantha</i>	281,78 (28,58)	10,14	
Azote	<i>Cecropia shreberiana</i>	2,19 (0,51)	23,30
	<i>Cedrela odorata</i>	2,99 (0,56)	18,70
	<i>Citharexylum spinosum</i>	2,33 (0,20)	8,51
	<i>Cordia alliodora</i>	2,41 (0,41)	17,10
	<i>Erythrina corallodendron</i>	NA	NA
	<i>Gliricidia Sepium</i>	4 (0,21)	5,36
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2,83 (0,21)	7,47
	<i>Inga ingoides</i>	3,2 (0,24)	7,55
	<i>Inga laurina</i>	2,78 (0,41)	14,71
	<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	2,6 (0,41)	15,67
	<i>Lonchocarpus puntatus</i>	3,24 (0,20)	6,33
	<i>Lonchocarpus roseus</i>	3,00 (0,52)	17,23
	<i>Ochroma pyramidales</i>	2,27 (0,57)	25,28
	<i>Pimenta racemosa</i>	1,40 (0,08)	5,96

	<i>Sapium gladulosum</i>	1,86 (0,34)	18,39
	<i>Trema micrantha</i>	3,21 (0,30)	9,21
C/N	<i>Cecropia shreberiana</i>	19,02 (4,31)	22,68
	<i>Cedrela odorata</i>	15,02 (2,42)	16,12
	<i>Citharexylum spinosum</i>	18,97 (1,67)	8,81
	<i>Cordia alliodora</i>	16,28 (2,24)	13,78
	<i>Erythrina corallodendron</i>	NA	NA
	<i>Gliricidia Sepium</i>	11,36 (0,56)	4,90
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	15,33 (1,31)	8,53
	<i>Inga ingoides</i>	14,22 (0,78)	5,48
	<i>Inga laurina</i>	16,95 (2,30)	13,55
	<i>Lonchocarpus heptaphylus</i>	16,87 (2,32)	13,78
	<i>Lonchocarpus punctatus</i>	14,60 (0,99)	6,82
	<i>Lonchocarpus roseus</i>	14,97 (2,17)	14,53
	<i>Ochroma pyramidales</i>	21,65 (6,03)	27,84
	<i>Pimenta racemosa</i>	31,23 (2,28)	7,30
	<i>Sapium gladulosum</i>	22,22 (3,41)	15,36
<i>Trema micrantha</i>	12,39 (1,02)	8,21	

Annexes 4 : fiches techniques ; prototypes



Intercultures

Bois savonnette, *Lonchocarpus punctatus*



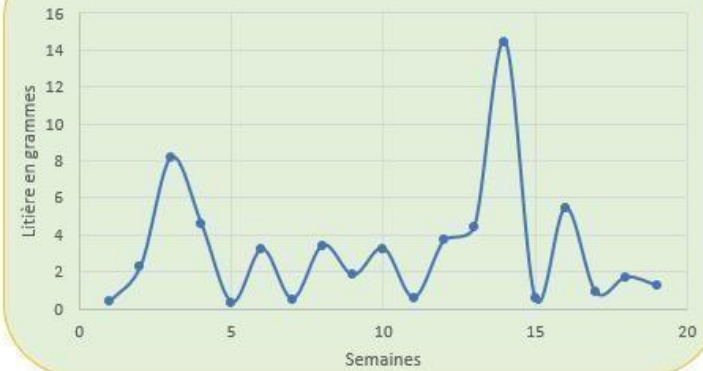
Ouverture de la canopée : 31%



$V \nearrow = 2,98\text{m/an}$



Chute de litière du Lp



SLA : $155,59 \pm 42,10$ cm²/g → +

Chlorophylle : $397,88 \pm 37,48$

Epaisseur : $0,142 \pm 0,028$ mm → +

LDMC : $359,68 \pm 47,90$ → +

N : $3,24 \pm 0,20$ → ++

C/N : 14.60 ± 0.99 → -

Masse volumique du sol : 1,07

Annexe 5

Questionnaire agroforesterie (à mettre en forme sur « forms »)

L'agroforesterie, c'est quoi pour vous ?

Bonjour,

Dans le cadre de mon mémoire, j'étudie plusieurs espèces d'arbres afin de sélectionner celles qui sont les plus adaptées à l'agroforesterie (facilité de gestion et services écosystémiques).

Je souhaite donc connaître **vos perceptions de l'agroforesterie** et vos attentes en tant que planteur !

Vos réponses sont strictement **anonymes** et seront traitées de manière globale.

Le temps de réponse à cette enquête est estimé à **3 minutes**.

Merci beaucoup !

1. L'agroforesterie, c'est quoi pour vous ?

- Ajouter des haies
- Intercaler des arbres à la culture
- Ajouter quelques arbres
- Autres : - quelle est votre définition ?

2. Avez-vous déjà une parcelle en agroforesterie ?

- Oui (De quelle surface ? ... ha)
- Non
- J'ai déjà essayé mais ça n'a pas marché

3.

- **Quelles ont été vos motivations pour vous lancer dans l'agroforesterie ?**
- **Qu'est-ce qui vous inciterait à vous lancer dans l'agroforesterie ?**

- Convictions personnelles
- Appartenance à un réseau de producteurs
- Assurer la durabilité de votre plantation
- Économique
- Se challenger

- **Pourquoi avez-vous arrêté ?**

- Charges trop importantes
- Perte de rendements
- Manque de temps
- Manque d'accompagnement

4. Avec l'agroforesterie, quelles sont vos priorités ? (Classez du plus important au Moins important)

- Diversifier vos revenus
- Percevoir des aides

- Diminuer votre fertilisation
- Apporter de la Matière organique
- Préserver votre sol
- Augmenter la biodiversité sur vos parcelles
- Protéger du vent

5. L'agroforesterie apporte de nombreux services écosystémiques (fertilisation, protection du vent, apport de matière organique, biodiversité, humidité, préservation des sols...).

Seriez-vous prêt à diminuer vos rendements pour assurer la durabilité de vos parcelles ?

- Oui
- Non

6. Prévoyez-vous de mettre en place de l'agroforesterie sur vos parcelles ?

- Oui cette année
- Oui dans les 5 ans qui arrivent
- Non

7. De quoi auriez-vous besoin pour poursuivre / vous lancer ?

- Conseils / accompagnement dans le choix des arbres
- Formation dans la gestion des arbres
- De s'associer avec une autre personne pour répartir le travail
- D'aides financières