

Mémoire de fin d'étude présenté par Nicolas ROURA pour l'obtention du diplôme d'ingénieur AgroParisTech, dans la dominante d'approfondissement Gestion Environnementale des Ecosystèmes et Forêts Tropicales

ETUDE DE LA DIVERSITE ET DETERMINANTS DES STRUCTURES ET CORTEGES D'ESPECES PRESENTS SUR LES PARCELLES AGROFORESTIERES DE GIROFLIERS DU VILLAGE DE VOHIBARY AU NORD-EST DE MADAGASCAR



Soutenu à AgroParisTech - centre de Montpellier, le mercredi 27 novembre 2019, en présence de Dr Vanesse Labeyrie, tutrice, Dr Stéphanie Carrière, tutrice, Juliette Mariel, tutrice, Georges Smektala, enseignant référent et Dr Pascal Danthu, rapporteur externe.

La photo précédente est une vue du village de Vohibary, entouré de rizières, de collines avec en premier plan un jeune girofler. Mai 2019. Photo N. Roura.

Mémoire de fin d'étude présenté par Nicolas ROURA pour l'obtention du diplôme d'ingénieur AgroParisTech, dans la dominante d'approfondissement Gestion Environnementale des Ecosystèmes et Forêts Tropicales

ETUDE DE LA DIVERSITE ET
DETERMINANTS DES STRUCTURES ET
CORTEGES D'ESPECES PRESENTS SUR
LES PARCELLES AGROFORESTIERES
DE GIROFLIERS DU VILLAGE DE
VOHIBARY AU NORD-EST DE
MADAGASCAR

Soutenu à AgroParisTech, centre de Montpellier le 27 novembre 2019 en présence de Dr Vanesse Labeyrie tutrice, Dr Stéphanie Carrière tutrice, Juliette Mariel tutrice, Dr Georges Smektala enseignant référent et Mr Pascal Danthu, rapporteur externe.

1 REMERCIEMENTS

Je remercie Vanesse Labeyrie, Stéphanie Carrière, Juliette Mariel pour leur aide précieuse dans la réalisation des protocoles d'inventaires et d'entretiens. Merci également de m'avoir aidé pour les analyses statistiques, d'avoir relu attentivement mon mémoire. Je les remercie de m'avoir fait confiance d'avoir répondu à mes questions avec patience. Je remercie également Vincent Freycon, Josoa Randriamalala, Éric Penot, Pascal Danthu et Vincent Porcher pour leur gentillesse et leur aide.

Impossible également de ne pas remercier immensément Fernand Razafimanba, sa femme Mama Kennedy et ses enfants Brutho et Kennedy pour leur accueil, leur gentillesse, leur générosité et leur sincérité. Je remercie Andry Ramarojaona, Paul-Harcine Herisolo de m'avoir fait découvrir un pays, des gens, des histoires avec leurs yeux. Sans eux, mes yeux auraient été bien incapables de tant voir. Merci infiniment de votre aide dans la brousse ! Sans vous, le stage aurait pris une tournure bien différente.

Je remercie tous les habitants malagasy¹ de Vohibary qui ont croisé la route d'un vazaha curieux mais j'espère suffisamment respectueux de la vie du village : Fernand, Michel, Bruno, Mama Kennedy, Mama Christina, Mama Ismaël, Kennedy, Brutho, Iola, Christina, Ismaël, Joseph, Istoa, Baba Niena, Mama Didina, Clovice, Keycha, Désiré, Olivia, Vino, José D. et merci à tous les autres évidemment. Un merci particulier à tous les agriculteurs et à toutes les agricultrices qui m'ont accueilli sur leurs parcelles agricoles et dans leur maison. Merci à eux de ne pas avoir dénigré mes questions ! Baban Romela, Baka Armel, Bira Ernest, Bruno, Charles, Claude, Evariste, Fernand, Honorat, Indalana, Jacquot, Jems, José R., Mamani Junette, Michel, Rabemahefa, Richard, Serge, Veleson. Je remercie tous les malasy qui m'ont aidés dans mon séjour en dehors de Vohibary : Dans les marchés, dans les taxi-brousses, dans les gargotes, à l'hôtel "Le Choix", dans les restaurants, dans les taxis, dans les boulangeries, à l'hôtel "Le Niaouli", dans les rues de la capitale, lors de la fête du 26. Je remercie Soary pour son aide dans l'obtention du visa longue durée dans les dédales administratifs de la capitale. Je remercie Christian pour sa gentillesse et sa grande aide.

Je remercie le Cirad et l'UR GREEN de m'avoir accueilli dans ses locaux, de m'avoir fourni un ordinateur de terrain, un accès aux publications scientifiques publiées dans de nombreuses revues et un accès au restaurant d'entreprise ! Je remercie également l'IRD site de Saint Charles et l'UMR GRED de m'avoir accueilli quelques temps. Je remercie aussi les utilisateurs de logiciels (R studio) qui osent poser leurs questions sur des forums et je remercie les utilisateurs de ces logiciels qui prennent le temps d'y répondre !

Je remercie ceux dont le soutien et la bonne humeur m'ont accompagnés dans la rédaction et le bon déroulé de ce stage sous la chaleur Montpelliéraine des mois d'été (Hans, Arthur, Thomas, Thomas, Antoine, Faustine) et sous l'humidité des mois d'automne (Patekone, Céline, Ted, Betty, Raphaëlle, Swann et Solenne).

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet SolDivA (identifiant 1702-022), bénéficiant d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme "Investissements d'avenir" portant la référence ANR-10-LABX-001-01 Labex Agro et coordonné par Agropolis Fondation dans le cadre de l'I-SITE MUSE (ANR-16-IDEX-0006). Il a également bénéficié d'une aide financière de la MSH-Sud dans le cadre du projet RADIPAM.

¹ [adj. et substantif] Relatif à Madagascar. Se prononce comme « malgache » : terme issu de la colonisation.

2 RESUME EN FRANÇAIS

L'agroforesterie pourrait contribuer à répondre aux défis malagasy de malnutrition, de pauvreté, d'érosion de la biodiversité. La monoculture de giroflier datant de l'époque coloniale, s'est enrichie, devenant un système agroforestier. Il convient d'étudier les pratiques de culture du giroflier au sein des systèmes agroforestiers complexes. Pour cela les questions suivantes sont posées : 1) Quels sont les types de systèmes agroforestiers complexes de girofliers ? 2) Quels sont les déterminants biophysiques distinguant ces types ? Pour répondre à ces questions, des inventaires sont réalisés et les déterminants sont recherchés parmi des variables exogènes : topographiques, pédologiques, de pratiques et de perceptions. Il existe quatre types de systèmes agroforestiers complexes à girofliers. Ils sont différenciés par la densité d'espèces ligneuses et d'espèces non-ligneuses cultivées, par l'âge des girofliers, par le nombre d'espèces ligneuses et non-ligneuses cultivées. Ces types sont expliqués par des variables exogènes : l'altitude, la présence d'éléments grossiers du sol, l'âge des girofliers au début de la production de clous, l'humidité du sol perçue par les agriculteurs, la lumière idéale perçue par les agriculteurs, la coupe d'arbres et l'âge des girofliers.

3 RESUME EN ANGLAIS

Agroforestry could contribute to solve several Malagasy challenges such as: malnutrition, poverty and biodiversity loss. Clove trees monocultures from colonial period is enriched up to become agroforestry systems. It is relevant to study farmer's practices of clove tree-based complex agroforestry systems. To this end the following questions are asked: 1) What are the types of clove tree-based complex agroforestry systems? 2) What are the biological and physical determining factors differentiating these types? To answer these questions, botanical surveys are realised and determining factors are searched among exogenous variables: of topography, of pedology, of practices and perceptions. They are four types of clove tree-based complex agroforestry systems. They are differentiated by species densities of ligneous, species densities of cultivated non-ligneous, clove trees ages, number of ligneous species and number of cultivated non-ligneous species. The types are determined by exogenous factors: altitude, soil aggregates, clove trees ages at the beginning of cloves production, farmer's perception of soil moisture, farmer's perception, of ideal light, cut of trees, clove trees ages.

4 TABLE DES MATIERES

1	Remerciements.....	5
2	Résumé en français	6
3	Résumé en anglais	6
4	Table des matières	7
5	Introduction.....	9
5.1	Contexte général.....	9
5.1.1	Les urgences malagasy	9
5.1.2	Les types de Systèmes agroforestiers.....	9
5.1.3	Agroforesterie : avantages et inconvénents.....	10
5.2	Contexte local.....	11
5.2.1	Les principales espèces agroforestières à Madagascar	11
5.2.2	Typologies de systèmes agroforestiers à Madagascar.....	12
5.3	Contexte de l'étude.....	12
5.3.1	Projet Soldiva	13
5.3.2	Sujet, objectif, problématique et question de recherche.....	13
5.3.3	Choix de la zone d'étude.....	13
5.4	Concepts mobilisés	14
5.5	Hypothèses.....	16
6	Matériel et Méthodes	17
6.1	Echantillonnage	17
6.1.1	Choix des parcelles agricoles	17
6.1.2	Choix des micro-zones	17
6.2	Récupération des données	18
6.2.1	Variables d'inventaire	18
6.2.2	Variables explicatives environnementales	22
6.2.3	Variables des connaissances et pratiques	25
6.3	Analyses statistiques.....	27
7	Résultats.....	28
7.1	Description du milieu biophysique.....	28
7.2	Description des pratiques de gestion du giroflier en SAF.....	33
7.2.1	Perceptions du milieu physique.....	33
7.2.2	Pratiques agricoles.....	36
7.3	Caractérisation des types de systèmes agroforestiers	39
7.3.1	Relation âge diamètre.....	39
7.3.2	Variables d'inventaires pertinentes	39

7.3.3	Types de Systèmes agroforestiers complexes à girofliers.....	41
7.3.4	Description des espèces des types	46
7.3.5	Photographie des types de systèmes agroforestiers.....	49
7.4	Corrélation entre les types et les variables exogènes.....	52
7.4.1	Sélection des variables exogènes par Anova.....	52
7.5	Schéma résumé	54
8	Discussion.....	55
8.1	Discussion des résultats	55
8.1.1	Description des types de systèmes agroforestiers	55
8.1.2	Corrélation types de systèmes agroforestiers et variables exogènes.....	56
8.1.3	Perception de la relation milieu-girofliers.....	57
8.1.4	Description du milieu physique.....	59
8.1.5	Relation âge diamètre.....	60
8.2	Analyse critique et perspective.....	61
8.2.1	Inventaires	61
8.2.2	Entretiens.....	61
9	Conclusion	64
10	Références bibliographiques.....	65
11	Table des annexes	71
12	Liste des abréviations.....	72
13	Table des tableaux	73
14	Table des figures.....	74
15	Annexes	75
15.1	Protocoles	75
15.2	Données Brutes.....	84
15.3	Résultats des tests statistiques	98

5 INTRODUCTION

5.1 CONTEXTE GENERAL

5.1.1 LES URGENCES MALAGASY

À Madagascar plus de neuf millions d'habitants (66% de la population) consomment quotidiennement moins de 2133 calories. Ce seuil est le seuil de malnutrition ; le minimum nécessaire pour supporter une vie normale. S'ajoutent un million de malagasy qui souffrent de malnutrition de manière saisonnière durant la période dite de crise de janvier à février (Dostie *et al.*, 2002). Cette période correspond également à la recrudescence de diarrhées, de mortalité infantile et de fluctuations des prix agricoles. Une solution pour réduire de manière significative la pauvreté et l'insécurité alimentaire est l'amélioration de la productivité agricole (alimentaire et génératrice de revenus) (Dostie *et al.*, 2002 ; Minten & Barrett, 2008). Cependant, les pratiques agricoles malagasy ne sont pas sans effet sur l'environnement. La culture sur abattis-brulis est la principale cause de dégradation, de déforestation sur les hauts plateaux malagasy (Styger *et al.*, 2007), d'érosion des sols (Clark, 2012), de diminution de la fertilité des sols (Klein, 2002). Ces destructions menacent également d'extinction des milliers d'espèces animales (Clark, 2012) d'après (Harper *et al.*, 2007).

Sur la côte Est de Madagascar notamment, la pratique traditionnelle de la culture sur brulis est remise en question par, entre autre, l'augmentation de la population (Locatelli, 2000). Cette remise en question impose une transition vers d'autres systèmes agricoles permettant de produire suffisamment de nourriture et de revenus pour la population sur des surfaces de plus en plus restreintes. La zone de la commune de Vavatenina sur la côte Est de Madagascar illustre cette dynamique. C'est une des zones les plus anciennement déforestée (Green & Sussman, 1990) ; on y observe une expansion des systèmes agroforestiers (Mariel, 2016).

5.1.2 LES TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS

L'agroforesterie peut être définie comme « l'ensemble des pratiques agricoles intégrant une composante arborée au sein de l'exploitation agricole. » (Torquebiau, 2000). Il existe une très grande diversité de systèmes agroforestiers. Il existe également de nombreuses typologies de classifications de systèmes agroforestiers. Ils peuvent être décrits et distingués selon leur structure, leur fonction et selon les conditions du milieu dans lequel ils se trouvent (typologie résumée en Tableau 1, typologie complète en Annexe 12).

Une distinction entre système agroforestier simple et complexe existe (Buck, 1999). 1) Les systèmes agroforestiers simples correspondent aux systèmes agroforestiers avec un faible nombre d'individus qui sont dans la majorité des cas, bien ordonnés. L'espèce ligneuse a souvent une importance prépondérante par rapport aux autres (apport économique pour les girofliers, le teck, les hévéas ou apport de service fourrager ou de fertilisation les sols). Il existe une grande diversité de systèmes agroforestiers simples. 2) Les systèmes agroforestiers complexes correspondent aux systèmes agroforestiers avec un grand nombre d'individus.

TABLEAU 1 : TYPES DE TYPOLOGIES (NAIR, 1993)

Typologie selon la structure du système	Typologie réalisée selon les fonctions du système,	Typologie réalisée selon les conditions du milieu :
Typologie réalisée selon la nature des plantes et animaux : Agrosylviculture pour des cultures non ligneuses accompagnées de ligneux, Systèmes sylvopastoraux pour les pâture et élevage sous des ligneux, Agrosylvopastoral pour les pâture et élevage, culture sous des ligneux.	Typologie réalisée selon l'apport de produit : Alimentaire Ligneux Non-ligneux	Typologie réalisée selon les conditions écologiques : biome
Typologie réalisée selon l'arrangement spatial : En bordure de parcelle, Alignement intra parcellaire, Mélange dense, Mélange clairsemé.	Typologie réalisée selon la fourniture de services écosystémiques	Typologie réalisée selon les conditions environnementales : Altitude, Longitude.

5.1.3 AGROFORESTERIE : AVANTAGES ET INCONVENIENTS

De nombreuses recherches étudient les systèmes agroforestiers (SAF) et en décrivent les avantages et inconvénients. Les systèmes agroforestiers apportent : 1) des services de production : une production en plus grande quantité (Nair, 1993 ; Papendick *et al.*, 1976) et de plus grande qualité (Malézieux *et al.*, 2009). L'un des facteurs de cette augmentation de production est la complémentarité entre espèces. La complémentarité entre espèces signifie que, lorsque le nombre d'espèces augmente, l'accès aux ressources limitées est facilité. Par exemple les espèces fixatrices d'azote facilitent la croissance des autres espèces. À Madagascar, on rencontre l'*Albizia stipulata* (Boivin) et l'*Albizia lebeck* (Cronquist). Une autre complémentarité peut être décrite entre les espèces d'ombrages (*Albizia stipulata* et *Albizia lebeck*) et les espèces sciaphiles (*Coffea arabica* (L.) et *Coffea robusta* (Linden) (François & Ledreux, 1929). 2) des services économiques : une diversité des revenus (Penot & Feintrenie, 2014), mieux étalés dans le temps (Malézieux *et al.*, 2009), une plus grande résilience face aux variations économiques (Fourcin, 2014 ; Mariel, 2016). 3) des services environnementaux : restaurations des cycles de l'eau et des cycles des nutriments (Malézieux *et al.*, 2009) ; capacité de séquestration du carbone (Jose, 2009). L'enrichissement du sol (Jose, 2009), conservation de la biodiversité par l'apport d'habitats (Jose, 2009 ; Clough *et al.*, 2011). 4) des services agronomiques : une utilisation optimale des ressources en nutriments, eau, lumière et espace disponible (Penot & Feintrenie, 2014). Les SAF réduisent la prolifération des nuisibles (Gurr *et al.*, 2003). 5) une réduction de la vulnérabilité face aux changements climatiques et en facilitent l'adaptation (Penot & Feintrenie, 2014).

Les systèmes agroforestiers ont également des inconvénients : les plantes ligneuses et non-ligneuse sont en compétition pour la lumière, l'eau (Malézieux *et al.*, 2009), et les nutriments (Abrams, 1995). En présence de grande compétition entre les espèces, celles qui survivent sont celles qui sont le plus adaptées aux conditions limitées du milieu (Malézieux *et al.*, 2009) (Malézieux *et al.*, 2009). La complémentarité des espèces est un concept qui s'oppose au concept de compétition entre espèces.

5.2 CONTEXTE LOCAL

5.2.1 LES PRINCIPALES ESPECES AGROFORESTIERES A MADAGASCAR

Les systèmes agroforestiers sont plus durables lorsque la filière commerciale est aboutie (Penot & Feintrenie, 2015). C'est le cas sur la côte Est, où l'on retrouve en particulier le giroflier (*Syzygium aromaticum* (L.)), la vanille (*Vanilla planifolia* (Andrews)) et le café (*Coffea robusta* (Linden)).

Actuellement, les cultures des girofliers malagasy sont gérées à 70% au sein des systèmes agroforestiers (Michels *et al.*, 2011). Cela n'a pas toujours été le cas. Les girofliers furent implantés sur l'île Sainte Marie en 1821 puis à Madagascar et aux Comores (Maistre, 1964). En 1886, Gallieni à la tête du Gouvernement de Madagascar impulse une politique agricole d'exportation par une législation adaptée à l'exportation et à la valorisation des produits de la filière girofles en Europe (Cocoual & Danthu, 2018). Les surfaces plantées augmentent selon la demande européenne et selon les consignes des agronomes coloniaux (Danthu *et al.*, 2014). La culture du giroflier se développe sur toute la côte Est de Madagascar autour de 1930, notamment dans la zone de Vavatenina (Dandoy, 1973). Durant cette période, la culture de giroflier s'effectue essentiellement en monoculture (Maistre, 1955). Dans les années 1920 et 1930 Madagascar est devenu l'un des principaux producteurs et exportateurs de clous de girofle. À ce moment, l'huile essentielle de feuilles de girofle se développe (Maistre, 1955). À partir de l'indépendance en 1960, les plantations en monocultures sont remplacées par des systèmes agroforestiers plus ou moins complexes (Danthu *et al.*, 2014). À partir des années 1990, Madagascar est devenu le premier exportateur de clous et d'huile essentielle (Teuscher *et al.*, 2005) et le second producteur de clous après l'Indonésie (Michels *et al.*, 2011 ; Arimalala *et al.*, 2018). Depuis 2012, le clou de girofle est le premier produit d'exportation en valeur de Madagascar (Danthu *et al.*, 2014). Pour les agriculteurs de la région Analanjirofo, le girofle est l'une des principales cultures génératrice de revenus (Styger *et al.*, 1999). Les pratiques agroforestières permettent aux agriculteurs d'être plus résilients face aux variations économiques (Fourcin, 2014 ; Mariel, 2016).

Le giroflier (*Syzygium aromaticum* (L.)) est une espèce ligneuse de forme pyramidale ou conique mesurant entre 6m et 12m lorsqu'il n'est pas taillé. Il s'adapte bien aux altitudes inférieures à 300m, aux climats tropicaux humides et aux sols pauvres et ferrallitiques. Les racines apprécient les sols qui permettent l'écoulement de l'eau. Le giroflier craint les sols sableux et la chenille *Andreta* (*Chrysotipys mabilianum*) qui se loge sous son écorce (Danthu *et al.*, 2014).

Les jeunes plants de girofliers peuvent être prélevés sous les arbres âgés et replantés sur d'autres zones plus espacées. Le giroflier est sciaphile dans son jeune âge. Cependant, une forte lumière favorise la production de clous de girofle. L'âge de la production de clou varie autour de la septième année. La période de récolte à Madagascar s'étale de septembre à janvier. Les clous sont récoltés à la main lorsqu'ils sont de couleur rose. Tous les clous d'un même arbre ne sont pas récoltés en même temps : plusieurs passages sont nécessaires. À la suite de la récolte, les clous sont séparés des griffes et sont séchés au soleil sur des nattes. Ils peuvent alors être stockés et vendus (Barbelet, 1989).

La vanille est introduite sur l'île de la Réunion puis à Madagascar au XIX^{ème} siècle (Bouriquet, 1954). Madagascar en est le premier producteur mondial avec l'Indonésie (Loeillet, 2003). Depuis 2012, la vanille est le second produit d'exportation en valeur de Madagascar après le girofle (CRCI, 2010). Pour les agriculteurs, la vanille est l'une des principales cultures génératrice de revenus (Styger *et al.*, 1999 ; CRCI, 2010). La vanille est souvent cultivée en agroforesterie car elle a besoin d'un ombrage arborée (Zaehring *et al.*, 2015).

L'introduction du café à Madagascar est postérieure à l'introduction du café sur l'île de la Réunion en 1715. Entre 1975 et 1983 les très fortes taxes réduisent l'export. Entre 1997 et 2001 le prix du café a été divisé par sept. Le café malagasy est considéré comme étant de mauvaise qualité

(Randrianarisoa & Minten, 2001). Pour les agriculteurs, le café est l'une des principales cultures génératrices de revenus (Styger *et al.*, 1999). Le café ne peut survivre à Madagascar sans espèce d'ombrage. Les plantes d'ombrages utilisées sont l'*Albizia stipulata* et l'*Albizia lebbek* (François & Ledreux, 1929) ou des bananiers (*Musa acuminata* (Colla) et *Musa paradisiaca* (L.)) (Styger *et al.*, 1999).

5.2.2 TYPOLOGIES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS A MADAGASCAR

Ces différentes cultures génératrices de revenus malagasy sont cultivées en SAF. Il existe déjà des typologies de systèmes agroforestiers à girofliers à Madagascar. Une première typologie répond à une volonté de comprendre le liens entre les exploitations et les types d'agroforesterie (Michels *et al.*, 2011). Cette étude montre qu'il existe une diversité de SAF. Les distinctions sont faites selon les caractéristiques des exploitations. Par exemple, les **exploitations jeunes** s'orientent ou bien vers une production suffisante pour assouvir les besoins alimentaires en riz et en petit élevage ou bien vers un élevage plus important et une production de riz utilisant des emplois agricoles. Les **exploitations âgées** s'orientent vers des systèmes peu diversifiés ou bien vers une production variée en espèces pérennes génératrices de revenus. Les catégories de gestion des cultures sont : **la monoculture de girofliers**, les systèmes **agroforestiers simples** avec diversification de production agricole et les systèmes **agroforestiers complexes** avec production fruitière sous couvert forestier.

Une seconde typologie est orientée sur les types de cultures de girofliers (Arimalala *et al.*, 2018). On retrouve dans cette typologie la distinction entre SAF simples et SAF complexes (Buck, 1999). Cette typologie de 2018 comprend trois types : 1) **Les vergers de girofliers en monoculture** : les vergers sont composés d'un grand nombre de girofliers (239/ha) une grande couverture herbacée non-cultivée (supérieur à 85%) composés d'individus appartenant aux familles des *Poaceae* et *Asteraceae*. On y retrouve éparpillé l'arbre du voyageur (*Ravenala madagascariensis* (Sonn.)). Ces parcelles peuvent accueillir du pâturage de zébu. 2) **Les systèmes agroforestiers simples** : les SAF simples sont ici composés de peu de girofliers (158/ha, de plantes non-ligneuses cultivées (1,6 espèces accompagnatrices en moyenne). Ces espèces non-ligneuses sont assez hautes. On y retrouve par exemple le manioc (*Manihot esculenta* (Crantz)), le maïs (*Zea mays* (L.)), la canne à sucre (*Saccharum officinarum* (L.)) les bananiers. Des arbres fruitiers sont également présents. On y retrouve des caféiers (*Coffea robusta* (A.Froehner)), des jaquiers (*Artocarpus heterophyllus* (Lam.)), des corossoliers (*Annona muricata* (L.)) et des ramboutans (*Nephelium lappaceum* (L.)). 3) **Les systèmes agroforestiers complexes** : Les SAF complexes sont ici composés de nombreux ligneux et non-ligneux. (10 espèces accompagnatrices en moyenne). Les girofliers représentent 50% des ligneux présents. La strate ligneuse est dense. Les espèces les plus élevées sont les jaquiers (*Artocarpus heterophyllus* (Lam.)), les litchis (*Litchi chinensis* (Sonn.)). La strate inférieure est composée de corossoliers (*Annona muricata* (L.)), de mandariniers (*Citrus reticulata* (Blanco)).

Il existe des lacunes de connaissances qu'il est nécessaire de combler : 1) Il n'existe pas encore de typologie de SAF complexe et basée sur une description fine des cortèges d'espèces. 2) Ces études ont été conduites à l'échelle de la parcelle, et ne tiennent pas compte de la grande hétérogénéité pouvant exister au sein des parcelles de SAF complexes. 3) Les études précédentes n'ont pas documenté les SAFs « jeunes », présentant des girofliers plus jeunes que 10 ans. Pourtant, les dynamiques de plantation du giroflier dans notre zone d'étude semblent majoritairement récentes, ayant repris autour des années 2000 sous l'effet de différents facteurs.

5.3 CONTEXTE DE L'ETUDE

5.3.1 PROJET SOLDIVA

Le travail de ce stage s'inscrit dans le cadre du projet SoLDivA (*Social Learning networks and plant Diversity management in Agroforestry landscapes*). Ce projet du Cirad, est financé par Agropolis Fondation. Il vise à étudier les mécanismes qui ont permis le développement de systèmes agroforestiers, en étudiant notamment comment sont générées et comment circulent les connaissances relatives à la gestion et l'utilisation de la diversité végétale dans les SAF. Le projet SoLDivA va tester les relations entre : 1) le type de sources de connaissances et de conseils mobilisé par les agriculteurs concernant la conduite des agroforêts, 2) les connaissances des agriculteurs à propos de la gestion des différentes espèces en agroforesterie 3) leurs pratiques concernant les associations d'espèces végétales et leur distribution dans l'espace. Les deux premiers points font l'objet de la thèse en cours de Juliette Mariel. Le stage du présent mémoire se situe dans le troisième point.

5.3.2 SUJET, OBJECTIF, PROBLEMATIQUE ET QUESTION DE RECHERCHE

La pression foncière et la variabilité économique incitent les agriculteurs à associer différentes espèces au sein des parcelles. De plus, l'environnement physique est marqué par une forte hétérogénéité pédologique et topographique. C'est dans ce contexte que ce stage vise à mieux connaître et comprendre les pratiques de culture du giroflier au sein des systèmes agroforestiers complexes. Il se concentre plus particulièrement sur l'analyse de la diversité des types de structures de systèmes agroforestiers à giroflier, et des facteurs qui contribuent à expliquer cette diversité.

Pour résoudre la problématique générale, on se pose les questions de recherches suivantes :

- 1) Est-ce qu'il existe différents types de structures dans les parcelles agroforestières où le giroflier est cultivé, et si c'est le cas quels sont-ils ?
- 2) Quels facteurs contribuent à expliquer ces différences de structure, et notamment quel est la contribution des facteurs pédologiques et topologiques ?
- 3) Quels facteurs contribuent à expliquer ces différences structures, et notamment quel est la contribution des différentes pratiques paysannes relative aux systèmes agroforestiers complexes de giroflier dans le terroir villageois étudié ?

5.3.3 CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est le village de Vohibary (-17.437474N, 49.176959E). Le village se situe dans la région *Analanjirofo* ("Forêt de girofliers" en malagasy), dans le district de Fénérive-est, dans la commune de Vavateina. La région *Analanjirofo* est la principale zone de production de clous. Le district de Fénérive-est est composé de quatre zones : la bande côtière, la plaine d'Iazafo, les basses collines, et les marges forestières (Dandoy, 1973).

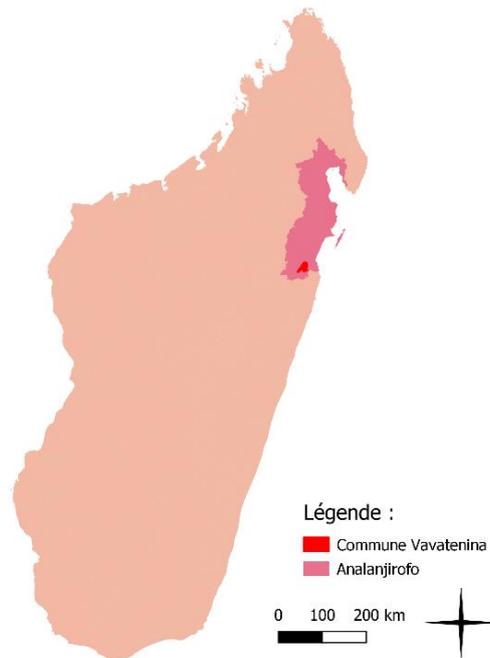


FIGURE 1 : CARTE DE LA COMMUNE DE VAVATENINA ET DE LA REGION ANALANJIROFO

La commune de Vavatenina se situe dans la zone des basses collines. La température varie entre 26,7°C en février et 20,9°C en juillet. La moyenne annuelle y est de 24,1°C. Les précipitations annuelles sont de 2750 mm. Une étude comparative des cultures présentes entre 1973 et 2016 a été réalisée dans le terroir villageois de Vohibary (Mariel, 2016), mettant en évidence la diversification en espèces des parcelles agroforestières ainsi que la diminution de la culture du café et du riz pluvial au profit du giroflier. Mon étude s’est donc centrée sur cette zone afin de bénéficier de la connaissance approfondie du contexte et de l’histoire des systèmes agroforestiers. La Figure 1 situe la région Analanjirofo et la commune de Vavatenina.

5.4 CONCEPTS MOBILISES

Territoire villageois, exploitation agricole, *tsabo*, micro-zone et quadrats

Cette étude se place à l’échelle du territoire villageois de Vohibary. On fait l’hypothèse que ce territoire est représentatif des SAF à girofliers des zones de basses collines de la côte est de Madagascar. De plus, se limiter à ce village permet d’approfondir les connaissances déjà disponibles : connaissances historiques, économiques et physiques, et physiques pour comprendre les déterminants de la diversité des SAF (Dandoy, 1973), (Mariel, 2016).

Au sein de ce territoire villageois, on distingue différentes exploitations agricoles. Une exploitation agricole est définie comme une unité de production (De Lauwe *et al.*, 1964) et une unité sociale et familiale (Barthez, 1982). C’est une échelle homogène dans la gestion des ressources disponibles. Ces ressources sont les ressources en 1) En capital (physique et financier), 2) En capital naturel et en biens et services (Ekins *et al.*, 2003), 3) En capital social des individus et de leurs réseaux (Nahapiet & Ghoshal, 1998). Au sein d’une exploitation agricole il existe différentes unités de gestions. Ces unités de gestions sont également des unités foncières. On peut distinguer par exemple les rizières en bas de versants sur sol riche (*horaka*) des parcelles cultivées en systèmes agroforestiers complexes (*tsabo*). Les exploitations sont souvent constituées de

plusieurs *horaka* et de plusieurs *tsabo*. Pour notre étude, seuls seront étudiées les *tsabo* où sont plantés des girofliers.

Cependant un *tsabo* est très hétérogène (comme les systèmes agroforestiers complexes). Pour traiter cette hétérogénéité, le concept de micro-zone est nécessaire. Une micro-zone est une partie d'un *tsabo* dans laquelle l'agriculteur considère que la gestion est homogène (Méndez *et al.*, 2001). Une micro-zone se distingue facilement des autres par sa composition spécifique et sa structure. Ces diversités reflètent une diversité de stratégies de gestions agricole (Méndez *et al.*, 2001). Les agriculteurs malagasy traduisent ce concept de micro-zone par zone où il y a une culture principale au sein du SAF complexe. Par exemple, les micro-zones les plus fréquemment rencontrées sont: "forêt de girofle" (*analanjirofo*) ou "forêt de manioc" (*analanmangahazo*). Pour chaque micro-zone, un inventaire par quadrat est réalisé. La Figure 2 illustre les différentes échelles présentées plus haut. Un exploitant peut avoir plusieurs *tsabo*. Un *tsabo* contient une ou plusieurs micro-zones. Les micro-zones sont considérées comme homogènes. Les typologies sont fréquemment utilisées pour caractériser un ensemble divers de structures de végétation (Arimalala *et al.*, 2018).

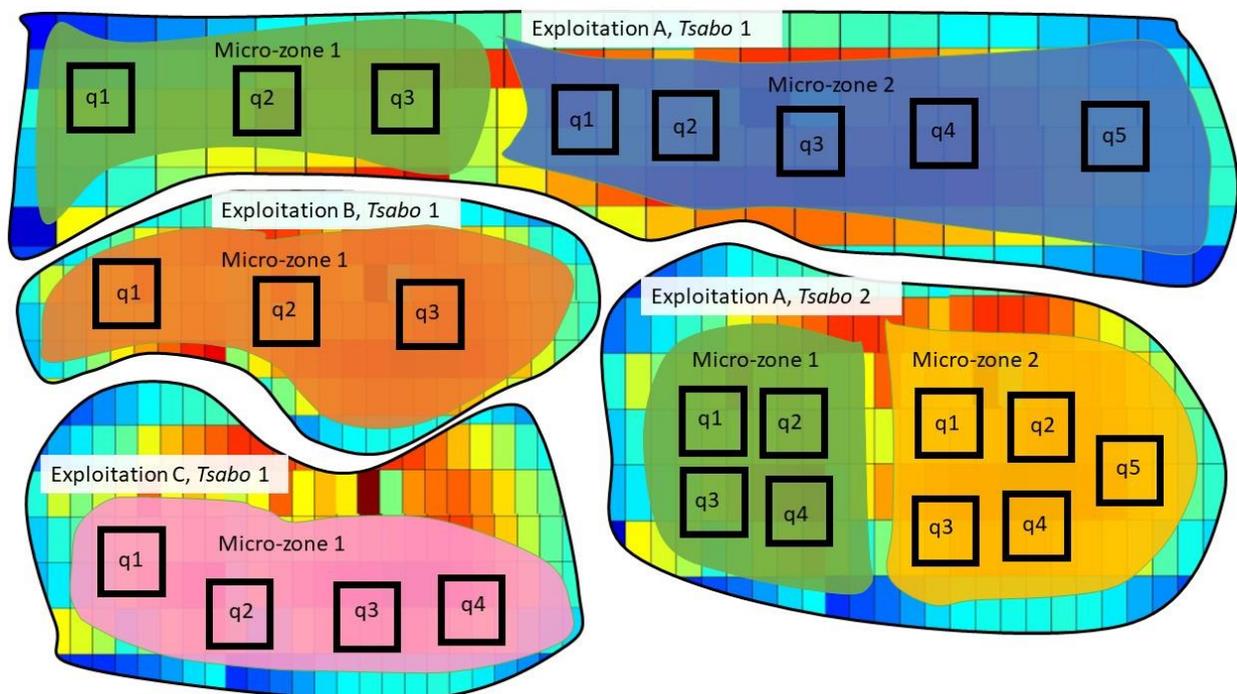


FIGURE 2 : SCHEMA DES EXPLOITATIONS, TSABO, MICRO-ZONES ET QUADRATS

5.5 HYPOTHESES

Hypothèse 1 : je fais l'hypothèse que différents types de micro-zones peuvent être distingués en fonction de leurs caractéristiques structurales (Arimalala *et al.*, 2018).

Hypothèse 2 : je fais l'hypothèse que les caractéristiques structurales de micro-zones dépendent des caractéristiques pédologiques et topographiques (Finzi *et al.*, 1998).

Hypothèse 3 : je fais l'hypothèse que les caractéristiques structurales de micro-zones dépendent des pratiques agricoles sur les parcelles et des perceptions des agriculteurs concernant les caractéristiques du sol et les besoins des girofliers.

6 MATERIEL ET METHODES

6.1 ECHANTILLONNAGE

6.1.1 CHOIX DES PARCELLES AGRICOLES

On suppose que les types de SAF complexes à girofliers varient avec l'âge des girofliers. L'échantillonnage réalisé doit représenter la diversité des âges des girofliers. Pour accéder à l'âge des girofliers, la première approximation est de considérer l'âge des agriculteurs. On fait l'hypothèse que les jeunes agriculteurs possèdent des girofliers jeunes et les agriculteurs âgés possèdent des girofliers âgés. L'échantillonnage a été réalisé chez 21 agriculteurs volontaires pour travailler dans le cadre de ce projet. Au début de la période de terrain, une réunion chez le chef *fokotany* permet d'introduire l'étude et de déterminer les agriculteurs volontaires. Chacun de ces agriculteurs possède une ou plusieurs parcelles agricoles en SAF complexe à girofliers. Cet échantillonnage est réalisé selon leur âge (de 26 ans à 65 ans). Les intervalles d'âges sont : agriculteurs d'âge jeune de 26 à 35 ans, d'âge moyen de 35 à 51 ans et agriculteurs âgés de 51 à 65 ans. Il peut être délicat de demander frontalement les âges des villageois, surtout au début de la période de terrain. Les âges de tous les villageois volontaires nous sont communiqués par un même habitant de confiance. Parmi ces 21 agriculteurs, trois ont renoncé à travailler avec nous. L'inventaire a donc été réalisé chez 18 agriculteurs, cinq jeunes, six d'âges moyens et huit âgés. Cette première approximation de l'âge des girofliers peut contenir des erreurs (par exemple dans le cas des héritages, de jeunes agriculteurs possèdent des girofliers âgés). Une première analyse des diamètres obtenus suivie d'une deuxième approximation permettent de corriger l'échantillon. La première analyse des diamètres illustre que les girofliers jeunes sont trop représentés (Annexe 17). Pour corriger la surreprésentation, la deuxième partie des inventaires est réalisée uniquement sur des girofliers âgés (de gros diamètres, supérieurs à 12 cm à 1,30 m). Ainsi, quatre nouvelles parcelles sont inventoriées, dont une chez un nouvel agriculteur. Au final, 79 quadrats de 24 micro-zones de 19 *tsabo* ont été inventoriées.

6.1.2 CHOIX DES MICRO-ZONES

Une fois une parcelle agricole choisie il faut déterminer les micro-zones. Une parcelle agroforestière est très hétérogène. Les micro-zones sont des zones décrites par l'agriculteur comme étant homogènes en espèce(s) cultivée(s). La réalisation de mesures selon les micro-zones permet d'avoir une typologie moins soumise aux hétérogénéités. Cette étape est réalisée sur la parcelle agricole, avant l'inventaire, par une approche de cartographie participative. L'agriculteur représente sur une carte schématisée de sa parcelle les différentes micro-zones qui représentent des unités de gestion pertinentes de son point de vue. Seules les micro-zones de girofliers en SAF complexe sont étudiées. Chaque parcelle contient uniquement une seule-micro-zone et d'un seul tenant. Le tracé du contour de cette micro-zone est réalisé avec un GPS afin de mesurer sa surface et de la géolocaliser. Chaque quadrat est un carré de 10 m x 10 m (Arimalala et al., 2018). Deux côtés suivent les courbes de niveau et deux côtés y sont perpendiculaires. Un quadrat est délimité par des piquets et des ficelles. La perpendicularité de deux angles est vérifiée. La surface inventoriée sur une micro-zone doit représenter au moins 20% de la surface de la micro-zone. Le nombre de quadrat minimum peut être dépassé selon le temps nécessaire pour réaliser les inventaires (Tableau 2). Les quadrats sont positionnés avec l'aide du GPS pour qu'ils soient répartis de manière homogène sur la surface de la micro-zone. Selon le couvert arboré, la précision du GPS était de quatre à douze mètres.

TABLEAU 2 : NOMBRE DE QUADRAT MINIMUM EN FONCTION DE LA SURFACE DE LA MICRO-ZONE

Surface de la micro-zone (m ²)	Nombre de quadrats minimum
100	1
500	1
1000	2
1500	3
2000	4

Pour chaque quadrat, un ensemble de variables sont mesurées. Ces variables sont présentées ci-dessous.

6.2 RECUPERATION DES DONNEES

6.2.1 VARIABLES D'INVENTAIRE

La première hypothèse² est testée en renseignant et analysant les variables d'inventaire (Tableau 3). Ces variables sont mesurées par quadrat de 100 m². Les valeurs par micro-zones sont obtenues par calcul de la moyenne des valeurs des quadrats de la micro-zone.

Pour chaque quadrat, le nom des espèces ligneuses et non-ligneuses cultivées est noté. Le nom vernaculaire de l'ethnie Merina est relevé par d'Andry Ramarojaona, titulaire d'un master en botanique de l'université de Tananarive. En cas de besoin, le nom vernaculaire est donné par les agriculteurs présents sur la parcelle. Ces agriculteurs parlent, eux, la langue Betsimisaraka. Les principaux noms scientifiques sont obtenus grâce aux lexiques établis dans d'autres publications (Dandoy, 1973) et (Mariel, 2016). Les autres noms scientifiques sont obtenus grâce aux bases de données de référence botanique du *Missouri Botanical Garden* (Site de tropicos, 2019 ; Site du Missouri Botanical Garden, 2019), du dictionnaire en ligne des langues malagasy (Site motmalgache, 2019) qui cite Boiteau (Boiteau & Allorge-Boiteau, 1997) ou du guide des plantes d'Ambalabe (Rakotoarivelo *et al.*, 2013). Les noms des vernaculaires français, malagasy et scientifiques sont donnés en annexe (Annexe 13).

Une plante est considérée comme ligneuse si elle produit du bois. Des plantes non-ligneuses ont été ajoutées à cette catégorie pour cette étude car elles se comportent comme des ligneux pour l'apport d'ombre aux girofliers et leur taille : les cocotiers (*Cocos nucifera* (L.)) et les bananiers (*Musa acuminata* et *Musa paradisiaca*). La liste totale des ligneux rencontrés est donnée en annexe (Annexe 14). Pour les espèces ligneuses rencontrées, le nombre d'individus par quadrat est renseigné, ainsi que le diamètre à 1 m30. Seuls les individus ligneux dont le diamètre est supérieur à 3 cm sont considérés. C'est le seuil de précomptage en dessous duquel la probabilité de survie de l'individu ligneux est très faible (Abebe *et al.*, 2010).

Les diamètres sont mesurés à 1,30 m avec un petit compas de forestier jusqu'au diamètre de 30 cm. Pour les individus dont le diamètre à 1,30 m est supérieur à 30 cm, le périmètre est mesuré avec un mètre-ruban. Le diamètre est calculé par la suite. Dans le cas de tronc oblongs, on applique la méthode propre aux ellipses : le petit diamètre et de grand diamètre sont mesurés. Le diamètre moyen est calculé par la suite. Dans le cas de forte pente, la mesure à 1,30 m est réalisée en amont du tronc. Si un individu est fourchu à 1,30 m tous les diamètres sont notés. Le plus grand

² Je fais l'hypothèse que différents types de micro-zones peuvent être distingués en fonction de leurs caractéristiques structurales.

sera conservé. La valeur de diamètre moyen pour un quadrat est calculée par la moyenne des diamètres des ligneux présents sur le quadrat. De la même manière, la valeur du diamètre de girofliers moyen pour un quadrat est calculée.

L'âge des girofliers est calculé par régression linéaire. L'âge des girofliers renseignés à dire d'acteurs est obtenu pour chaque micro-zone. Nous considérons que tous les girofliers de tous les quadrats de cette micro-zone ont le même âge. Le diamètre moyen des girofliers du quadrat est calculé. La relation linéaire entre l'âge à dire d'agriculteurs et le diamètre moyen est calculée.

On peut obtenir de ces inventaires le nombre d'espèces ligneuses par quadrat, le nombre d'individus d'espèces ligneuses, le nombre d'individus de girofliers et le nombre d'individus de girofliers supérieur au diamètre de pré-comptage.

TABLEAU 3 VARIABLES D'INVENTAIRES

	Variable	Unité	Identifiant
Nombre d'individus par micro-zone	ligneux	nombre/ha	densite_li
	non-ligneux cultivés		densité_nlic
	total		densite_tot
Nombre d'espèces par micro-zone	ligneux	nombre/quadrat	sp_li
	non-ligneux cultivés		sp_nlic
	total		sp_tot
Indice de Shannon	ligneux	Sans unité	sh_li
	non-ligneux cultivés		sh_nlic
	total		sh_tot
Indice de Simpson	ligneux	Sans unité	si_li
	non-ligneux cultivés		si_nlic
	total		si_tot
Surface terrière	girofliers seuls	m ² de section /ha	surf_ter_gir
	girofliers exclus		surf_terr_nongir
	toutes essences		surf_terr_tot
Nombre de girofliers	supérieur au diamètre de précomptage de 3 cm	nombre/quadrat	n_gir_dpc
	tous diamètres		n_gir_tot
Age des girofliers	par régression linéaire du diamètre	Année	age_diam_gir
Diamètre moyen	girofliers seuls	cm	diam_gir_moy
	girofliers exclus		diam_non_gir_moy
Nombre d'individus par taille	de 0 m à 3 m	nombre/quadrat	n_taille_0_3
	de 3 m à 7 m		n_taille_3_7
	à partir de 7 m		n_taille_7
Nombre de strate		nombre	n_strate
Nombre d'individus par caractéristique d'espèce	fruitiers	nombre/quadrat	n_fruitier
	consommable		n_consommable
	générateur de revenus		n_rente
	générateur de revenu sans girofliers		n_rente_non_gir
	fixateur d'azote		n_fixe_n

Une plante est considérée comme non-ligneuse cultivée si elle ne produit pas de bois. Il faut de plus que la plante non-ligneuse bénéficie d'effort de culture de la part de l'agriculteur. Cette information est renseignée à partir des discussions et des observations. Il y a une exception : le manioc (*Manihot esculenta*) produit de la lignine, cependant tous les individus de manioc possèdent un diamètre à 1,30 m inférieur au seuil de pré-comptage. De plus, cette plante, de petite

taille, est plantée et coupée fréquemment à la manière des non-ligneux cultivés. Les espèces non-ligneuses cultivées sont décrites (Tableau 4). On peut obtenir de ces inventaires le nombre d'espèces non-ligneuses cultivées et le nombre d'individus d'espèces non-ligneuses ligneuses cultivées.

TABLEAU 4 : LISTE DES ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVEES

Noms malagasy	Nom français	Nom scientifique
<i>fary</i>	canne à sucre	<i>Saccharum officinarum</i> (L.)
<i>mangahazo mena</i>	manioc	<i>Manihot esculenta</i> (Crantz)
<i>ofika, oviale, hofika, oviale mena, ovi mena</i>	igname violet	<i>Dioscorea heteropoda</i> (Baker)
<i>oignon, tongolo</i>	oignon	<i>Allium</i> /
<i>ovi be, ovi fotsy</i>	igname	<i>Dioscorea alata</i> (L.)
<i>taro, soany, soanjo</i>	taro	<i>Colocasia esculenta</i> (L.)
<i>tsakotsako, katsaka</i>	maïs	<i>Zea mays</i> (L.)
<i>tsomanga, vomanga</i>	patate douce	<i>Ipomoea batatas</i> (Lam.)
<i>manas, manasy</i>	ananas	<i>Ananas comosus</i> (Merr.)
<i>vanil</i>	vanillier	<i>Vanilla planifolia</i> (Andrews)
<i>sakay</i>	piment	/

Le nombre d'individus selon leurs caractéristiques est renseigné. Ces caractéristiques distinguent les espèces fruitières, les espèces génératrices de revenus, les espèces fixatrices d'azote, les espèces qui fournissent une alimentation non fruitière et les espèces sans caractéristique. Les espèces sont qualifiées de fruitières si elles produisent des fruits consommables par les villageois. Lors du séjour sur le terrain, la consommation de ces fruits a été observée et pratiquée. C'est par exemple le cas des ananas (*Ananas comosus* (Merr.)), des jacquiers (*Artocarpus heterophyllus* (Lam.)), des ramboutans (*Nephelium lappaceum* (L.)), des arbres à pains (*Artocarpus altilis* (Parkinson)) des bananes (*Musa acuminata* (Colla)) et bananes plantains (*Musa paradisiaca* (L.)), palmiers à huile (*Elaeis guineensis* (Jacq.)), orangers (*Citrus aurantium* (Bigaradier)). Pour d'autres espèces, la consommation des fruits n'a pas été observée, mais a été mentionnée lors des entretiens. C'est le cas des manguiers (*Mangifera indica* (L.)) et des pêchers (*Prunus persica* (L.)). Les espèces sont qualifiées de consommables si elles sont consommées par les humains sans être des fruits. Lors du séjour sur le terrain, la consommation de ces plantes a été observée et pratiquée C'est le cas par exemple de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* (L.)), du manioc (*Manihot esculenta* (Crantz)), ou l'igname (*Dioscorea alata* (L.)). Certaines espèces n'ont pas été consommées mais sont qualifiées de consommables. C'est le cas des patates douces (*Ipomoea batatas* (Lam.)) et du maïs (*Zea mays* (L.)). Les espèces sont qualifiées de génératrices de revenus lorsqu'elles sont produites pour être revendues. Cette pratique de vente est renseignée lors entretiens. C'est le cas par exemple des vanilliers (*Vanilla planifolia* (Andrews)), des girofliers (*Syzygium aromaticum* (L.)), de la cannelle (*Cinnamomum verum* (Presl)) et des poivriers noirs (*Piper nigrum* (L.)). Les espèces sont qualifiées de fixatrices d'azote selon les descriptions obtenues à partir du nom scientifique. C'est le cas des *Albizia stipulata* (Boivin), *Trema orientalis* (L.), *Albizia lebbek* (Cronquist) et *Gliciridia sepium* (Jacq.). La liste complète des espèces par caractéristiques est donnée en annexe (Annexe 15).

Grâce aux variables d'inventaires botaniques des indices de biodiversité sont calculés, tels que les indices de Shannon et Simpson. Ces indices reflètent à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative de chaque espèce. Ils sont calculés avec le logiciel R, avec le package *vegan*, avec la fonction *diversity* (Fischer *et al.*, 1943 ; Heck *et al.*, 1975 ; Hurlbert, 1971). L'indice de Shannon est un indice de mesure de la diversité particulièrement adapté pour prendre en compte les espèces rares. Plus une espèce est rare, plus son observation apporte de l'information (Marcon, 2018).

Trois indices de Shannon sont calculés : l'indice de Shannon pour les ligneux, pour les non-ligneux cultivés et l'indice total. Les indices sont calculés avec l'équation suivante (Equation 1) :

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Avec :

S , le nombre d'espèce total

p_i , la probabilité qu'une plante choisie au hasard appartienne à l'espèce i , $p_i = \frac{n_i}{N}$,

n_i le nombre d'individus de l'espèce i

N , le nombre d'individus total tel que $\sum_{i=1}^S n_i = N$,

L'indice de Simpson est un indice de mesure de la diversité particulièrement adapté pour prendre en compte les espèces dominantes. Il est basé sur la probabilité que deux individus tirés au hasard soient d'espèces différentes. Si $E = 0$, cela signifie qu'il n'y a qu'une espèce. Si $E = 1$ signifie qu'il y a une infinité d'espèces. Trois indices de Simpson sont calculés : pour les ligneux, pour les non-ligneux cultivés et l'indice total. La valeur de l'indice de Simpson est calculée pour chaque quadrat par l'équation suivante (Equation 2), (Simpson, 1949) :

$$E = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Avec :

S , le nombre d'espèce total

p_i , la probabilité qu'une plante choisie au hasard appartienne à l'espèce i , $p_i = \frac{n_i}{N}$,

n_i le nombre d'individus de l'espèce i

N , le nombre d'individus total tel que $\sum_{i=1}^S n_i = N$,

La taille des girofliers est estimée avec des repères tels que ma propre taille. Les girofliers rencontrés mesurent entre 3 m à 7 m. La taille des autres ligneux est renseignée par rapport à cet intervalle pour déterminer si les individus ligneux portent de l'ombre aux girofliers. Trois intervalles de taille sont réalisés : les individus de petite taille mesurent entre 0 m et 3 m, les individus de taille moyenne mesurent entre 3 m et 7 m et les grands individus mesurent plus de 7 m.

Trois variables de surface terrière par micro-zone sont calculées : la surface terrière de tous les ligneux, la surface terrière des girofliers et la surface terrière de tous les ligneux sauf les girofliers. Pour chaque quadrat, les sections des troncs à 1,30 m sont calculée et ajoutés pour avoir la surface terrière en $m^2_{section\ ligneuse} / 100 m^2_{surface\ de\ quadrat}$. Les valeurs en m^2/ha sont obtenues par multiplication par 100. La surface terrière par micro-zone est la moyenne des surfaces terrières par quadrat.

Pour chaque quadrat, le nombre de strate est renseigné par observation : une strate herbacée, une strate ligneuse la plus élevée et une ou deux strates intermédiaires. La valeur de nombre de strate est indépendante de la hauteur de chaque strate.

6.2.2 VARIABLES EXPLICATIVES ENVIRONNEMENTALES

6.2.2.1 PEDOLOGIE SUPERFICIELLE

La seconde hypothèse³ est vérifiée en renseignant et analysant les variables listées dans le Tableau 5. Ces variables permettront d'obtenir les variables explicatives de nos types.

TABLEAU 5 VARIABLES ENVIRONNEMENTALES EXPLICATIVES DES VARIABLES DE TYPES DE SAF COMPLEXE

VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	IDENTIFIANT
Texture	texture_lsa
Couleur des sols	code_munsell
Abondance en éléments grossiers	nb_eg
Taille des éléments grossiers	taille_eg
Abondance des racines	nb_racine
Taille des racines	taille_racine
Compacité du sol	compacite
Altitude (m)	altitude
Orientation (degrés)	orientation
Pente (degrés)	pente
Topographie relative au sommet	topo

Les variables de pédologie superficielle sont documentées sur une partie du sol dont la profondeur varie entre 3 cm et 5 cm. La couche superficielle est retirée pour que les résultats soient propres. Les prélèvements et mesures sont réalisés dans un carré de 15 cm de côté environ. Le carré de prélèvement est situé vers le centre du quadrat à distance raisonnable des ligneux. La texture du sol est renseignée par un test réalisé au toucher. La clé de détermination est résumée dans le Tableau 6. Comme les perceptions tactiles peuvent varier au cours des expériences, les premiers quadrats réalisés sont corrigés à la fin de la période sur le terrain. La texture est renseignée pour les sols superficiels de chaque quadrat et pour les sols profonds réalisés à la tarière.

TABLEAU 6 : CLES DE DETERMINATIONS DE LA TEXTURE DES SOLS

Texture du sol	Clés de détermination
Sols argileux (< 0,002 mm)	Toucher ferme si sec et collant si humide, test du boudin possible
Sols limoneux [0,002 mm à 0,05 mm]	Toucher lisse et « soyeux », test du boudin impossible car cassant
Sols sableux [0,05 mm à 0,2 mm]	Crissse sous les doigts

La couleur du sol superficiel par quadrat est renseignée de deux manières. La première est de décrire en quelques mots la couleur du sol. Cette méthode de description a l'avantage de forcer à observer le sol. Le défaut de cette méthode est d'être subjectif. La seconde méthode de description de la couleur du sol utilise le code Munsell. Cette méthode est plus objective. Elle décrit le sol par comparaison de la couleur du relevé avec la couleur d'un nuancier. Le nuancier décrit la couleur selon trois variables. Le « *hue* » est la teinte, elle prend la valeur R, Y, V, B et P pour les teintes respectivement rouge, jaune, verte, bleue et pourpre. La seconde variable du code Munsell est la « *value* » qui décrit la clarté. Elle prend des valeurs comprises entre 0 pour le noir à 10 pour le blanc. La troisième variable est le « *chroma* », c'est l'intensité d'une couleur. Le *chroma* prend des valeurs comprises entre 1 pour les couleurs ternes et 8 pour les couleurs éclatantes. Par exemple un sol de couleur brune entre jaune et rouge récolté ayant un *hue* de 10 YR, une *value*

³ Je fais l'hypothèse que les caractéristiques structurales des micro-zones dépendent des caractéristiques pédologiques et topographiques.

moyenne de 4 et une pureté moyenne de 6 on aura la notation suivante 10 YR 4/6. La couleur est renseignée pour les sols superficiels de chaque quadrat et pour les sols profonds réalisés à la tarière. La : Code Munsell à la page du hue 10YR Figure 3 est une photocopie d'une page du code Munsell pour illustrer l'exemple. Sur le terrain un code Munsell original est utilisé.

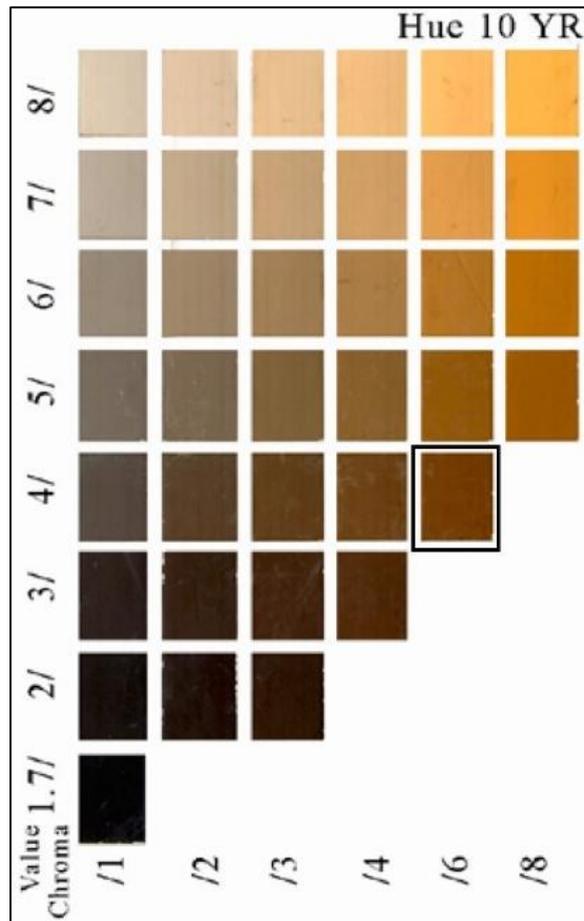


FIGURE 3 : CODE MUNSELL A LA PAGE DU HUE 10YR

L'abondance en éléments grossiers et la taille des éléments grossiers est renseignées. Un élément grossier est défini par sa taille supérieure à 2 mm. L'abondance en éléments grossiers du carré de prélèvement de 15 cm de côté est décrite dans le Tableau 7 suivant.

TABEAU 7 : CLES DE DETERMINATION DE L'ABONDANCE EN ELEMENTS GROSSIERS

Abondance en éléments grossiers	Nombre d'éléments grossier par carré de prélèvement de 12 cm de côté
Absent	Aucun élément grossier
Peu présents	Entre 1 et 3 éléments grossiers
Moyennement présents	Entre 4 et 6 éléments grossiers
Nombreux	Plus de 6 éléments grossiers

La taille des éléments grossiers du carré de prélèvement de 15 cm de côté est décrite dans le Tableau 8 suivant. Dans le cas d'éléments grossiers de plusieurs tailles, la taille des éléments grossiers les plus nombreux est considérée.

TABLEAU 8 : CLES DE DETERMINATION DE LA TAILLE DES ELEMENTS GROSSIERS

Catégorie de taille	Largeur des éléments grossiers
Petite taille	De 0,2 cm à 1 cm
Taille moyenne	De 1 cm à 3 cm
Grande taille	Supérieur à 3 cm

L'abondance en racine et la taille des racines sont renseignées. L'abondance en racine du carré de prélèvement de 15 cm de côté est décrite dans le Tableau 9 suivant.

TABLEAU 9 : CLES DE DETERMINATION DE L'ABONDANCE EN RACINES

Abondance en racines	Nombre de racines par carré de prélèvement de 15 cm de côté
Absent	0 racine
Peu présents	De 1 à 3
Moyennement présents	De 4 à 6
Nombreux	7 et plus

La taille des éléments grossiers du carré de prélèvement de 15 cm de côté est décrite dans le Tableau 10 suivant. Dans le cas de racine de plusieurs tailles, la taille des racines les plus nombreuses est considérée.

TABLEAU 10 : CLES DE DETERMINATION DE LA TAILLE DES RACINES

Taille des racines	Diamètre des racines
Petite taille	Inférieur à 5 mm
Taille moyenne	De 5 mm à 10 mm
Grande taille	Supérieur à 10 mm

La compacité est renseignée pour chaque quadrat au niveau du carré de prélèvement en plantant la lame d'un sécateur et non pas d'un couteau comme il est habituel de faire. Si un effort est nécessaire, le sol est considéré comme compact. En absence d'effort il est considéré comme meuble.

Pour ce qui est des variables environnementales non-pédologiques, l'altitude de la micro-zone est renseignée lors par le GPS. Lors du tour de la micro-zone avec l'agriculteur le tracé GPS est réalisé. L'altitude prise pour la micro-zone est la moyenne entre l'altitude maximale et minimale de la micro-zone. En plus de l'altitude, la hauteur relative au sommet est décrite (Tableau 11). L'orientation est mesurée avec une boussole, dos à la pente pour chacun des quadrats. La pente est mesurée en degrés avec un inclinomètre.

TABLEAU 11 : CLES DE DETERMINATION DE TOPOGRAPHIE RELATIVE

Topographie relative	Clés de détermination de la topographie relative
Sommet	Moins de 10 m du sommet
Versant	A plus de 10 m du sommet et du bas fond
Bas-fond	Moins de 10 m du bas fond

6.2.2.2 PEDOLOGIE PROFONDE

Pour décrire la diversité des sols, des relevés sont réalisés suivant une toposéquence. Pour déterminer l'emplacement de la toposéquence, un tour d'observation est nécessaire. Ce tour est réalisé suivant la ligne de crête (Figure 5). Les toposéquences ont été réalisées au nord du cirque d'érosion et au sud car elles sont faciles d'accès et représentent bien la diversité des topographies du village. La toposéquence doit décrire les phénomènes d'écoulement de l'eau et des sédiments. Elle commence du sommet et se termine au bas-fond. Un premier trajet de haut en bas avec le GPS permet de déterminer plus précisément les ruptures de pentes. La première toposéquence est constituée d'un sommet, d'une pente, d'une rupture de pente, d'une seconde pente et du cours d'eau (

Figure 10). Pour décrire les sols de ces zones des relevés à la tarière ont été réalisés au sommet, au milieu de la première pente, au niveau de la rupture de pente, au milieu de la deuxième pente et en bas de versant. Pour chaque relevé des échantillons de sols sont extraits de la surface jusqu'à 1,20 m. Chaque horizon de sols est décrit en utilisant les mêmes variables que pour les sols superficiels des quadrats : texture, couleur selon le code Munsell, abondance et taille des éléments grossiers, abondance et taille des racines, compacité du sol.

6.2.3 VARIABLES DES CONNAISSANCES ET PRATIQUES

Pour vérifier la troisième hypothèse⁴, des variables sont obtenues par questionnaires. Pour connaître les perceptions et les pratiques des agriculteurs, les premières questions sont des questions basées sur les observations réalisées lors de l'inventaire sur la parcelle. Par exemple après observation de coupe d'arbres, il est demandé : « Pourquoi as-tu coupé ? Qu'est-ce que ça change pour les girofliers ? ». Le protocole complet de l'entretien sur les observations est disponible en annexe (Annexe 8). Pour connaître d'autres pratiques des questions ouvertes sont posées. Par exemple, quelques soient les observations, il est demandé : « Qu'est-ce que tu plantes avec le giroflier ? Quand ? Que fais-tu pour préparer la plantation ? » Le protocole complet des entretiens sur les pratiques est disponible en annexe (Annexe 9).

Pour connaître les descriptions locales des sols, des questions ouvertes sont posées. Il est demandé aux agriculteurs de décrire les sols de leurs parcelles, quels sont les avantages et inconvénients de ce sol de manière générale et quels en sont les avantages et inconvénients pour la culture du giroflier. Un ensemble de descripteurs locaux des sols sont obtenus. De plus la description selon les agriculteurs des besoins des girofliers en fertilité, eau et en lumière est renseignée. Par exemple la question « Les girofliers de cette micro-zone ont un besoin en eau faible, moyen ou fort ? » est posée (Annexe 7). De plus, les variables de descriptions des agriculteurs sont des caractéristiques de sols mous (*malimy*), de sols fertiles (*lonaka*), chauds (*mafana*), froids (*mangatsiaka*), humides (*mangatsiatsiaka*, mot créé par atténuation de *mangatsiaka* : le froid), rouge (*mena*), noir (*mainty*), collants (*dity*), qui s'effrite (*miparitaka*), qui s'éparpille (*mavoraboraka*). Ces descripteurs sont classés selon qu'ils sont faibles, moyens ou forts pour les girofliers. Par exemple les questions suivantes sont posées : "Sur cette micro-zone, le *lonaka* (fertilité) du sol est faible, moyen ou grand ? » (Annexe 10). Des questions mettent les propriétés du sol en parallèle aux besoins du sol : « Est-ce que le sol moyennement *lonaka* (fertile) est bon pour les girofliers ? » (Annexe 10). Ensuite des questions mettent ces propriétés du sol et les besoins des girofliers en parallèle avec les pratiques : « Comment fais-tu pour conserver le sol mou ? » ou « Comment fais-tu pour que ça aille mieux pour les girofliers ? » (Annexe 10). Pour connaître les connaissances sur les relations de causes à effet, il leur est demandé ce qui leur permet de déduire que le sol a une caractéristique

⁴ Hypothèse 3 : je fais l'hypothèse que les caractéristiques structurales des micro-zones dépendent des pratiques agricoles sur les parcelles et des perceptions des agriculteurs concernant les caractéristiques du sol et les besoins des girofliers.

décrite précédemment. Par exemple, la question « Qu'est-ce qui te permet d'affirmer que le sol est mou ? » est posée (Annexe 10).

Une enquête réalisée avec tous les agriculteurs (*focus group*) a permis de répondre aux zones d'ombres, de préciser certains points et de poser des questions sur les découvertes faites au cours des entretiens individuels. Les variables de connaissances et de pratiques sont résumées (Tableau 12).

TABLEAU 12 : VARIABLES DE CONNAISSANCES

Variables de connaissances	
La perception que les agriculteurs ont sur leur micro-zone	De la principale qualité
	Du défaut principal
	Du besoin en lumière
	Du besoin en eau
	Du besoin en fertilité
	De la lumière actuelle
	De l'humidité du sol actuelle
	De la fertilité du sol actuelle
	Des besoins selon d'autres variables descriptives propres aux agriculteurs
	Des besoins selon d'autres variables descriptives propres aux agriculteurs
La perception que les agriculteurs ont sur leur micro-zone pour les girofliers	Du sol idéal pour les girofliers
	Du pire sol pour les girofliers
	De la fertilité du sol idéale pour les girofliers
	De l'humidité du sol idéale pour les girofliers
	De la lumière idéale pour les girofliers
La perception que les agriculteurs ont des besoins pour les girofliers non-productifs	De la distance idéale entre les girofliers
	Des besoins en eau
	Des besoins en lumière
	Des besoins en fertilité
	Des besoins en eau
La perception que les agriculteurs ont des besoins pour les girofliers productifs	Des besoins en lumière
	Des besoins en fertilité
	coupe des arbres autour des girofliers
Les pratiques des agriculteurs quand les girofliers sont non-productifs	La pratique du désherbage des non-ligneux autour des girofliers
	La pratique de la taille des branches de girofliers
	Le type de taille des branches de girofliers
	coupe des arbres autour des girofliers
Les pratiques des agriculteurs quand les girofliers sont productifs	La pratique du désherbage des non-ligneux autour des girofliers
	La pratique de la taille des branches de girofliers
	Le type de taille des branches de girofliers

Sélection de variables d'inventaire

Pour obtenir des types de SAF résumant au mieux la diversité des caractéristiques structurales observées, il faut sélectionner les variables d'inventaires les plus explicatives de l'hétérogénéité des micro-zones. Il faut également que les variables soient indépendantes les unes des autres. La dépendance entre les variables d'inventaire est représentée par la carte de corrélation (*heat-map*) présentée en annexe (Annexe 30). Une première analyse en composante principale (ACP) incluant l'ensemble des variables est effectuée afin de déterminer les variables les plus explicatives de l'hétérogénéité des micro-zones. La première analyse en composante principale avec toutes les variables d'inventaires est disponible en annexe (Annexe 31). À partir de cette analyse, les cinq variables indépendantes les plus explicatives ont été retenues pour effectuer une seconde ACP visant à identifier les différents types de systèmes agroforestiers.

L'analyse en composante principale est réalisée avec le logiciel R, avec le *package* *ade4*, avec la fonction *dudi.pca* (Chessel *et al.*, 2004 ; Dray & Dufour, 2007).

Variables explicatives exogènes environnementales et de pratiques

Afin de tester la relation entre les variables d'inventaire et les variables exogènes environnementales et de pratiques, une analyse de variance (ANOVA) est réalisée. De nombreuses variables exogènes peuvent décrire nos variables d'inventaires expliquant les types de SAF complexes à girofliers. Certaines sont redondantes (la couleur perçue et la couleur selon le code Munsell), d'autres ne sont pas corrélées à nos variables d'inventaires. Il est également nécessaire de ne pas prendre trop de variables. Enfin, la relation entre ces variables et les variables d'inventaires doivent avoir une causalité compréhensive. Les analyses de variances permettent de déterminer quelles variables contribuent significativement à expliquer la différence entre deux modèles linéaires. Nos modèles linéaires expliquent les variables d'inventaires sélectionnées en fonction de nos variables exogènes. Les variables exogènes qui sont les plus explicatives de nos variables d'inventaires sélectionnées sont celles qui ont leur *p-value* la plus faible. Le seuil choisi est celui utilisé traditionnellement de 5%.

Les régressions linéaires et les analyses de variances sont réalisées avec les fonctions de bases du logiciel R : la fonction *lm()* et la fonction *anova()*. Ces fonctions se basent sur la publication (Chambers, 1998).

7 RESULTATS

7.1 DESCRIPTION DU MILIEU BIOPHYSIQUE

Les résultats de la toposéquence nord et de la toposéquence sud sont similaires. Voici un résumé des résultats des toposéquences. Lors des inventaires, une étude des sols superficiels a été réalisée : les résultats de cette étude seront développés par micro-zones.

Topographie

Le village de Vohibary est entouré d'une ligne de crête composée de huit sommets. L'altitude maximale est de 413 m, l'altitude minimale des rizières est de 131 m l'altitude du village est de 170 m pour la maison de Fernand, de 184 m pour l'église et de 208 m pour le quartier du vieux litchi. La ligne de crête mesure 6,7 km de long, l'altitude moyenne de cette ligne de crête est 313 m. Les parcelles agricoles s'étendent de 148 m à 359 m, avec une altitude moyenne à 230 m (Tableau 13).

Pente

Les micro-zones sont pentues, avec un dénivelé moyen par micro-zone de 37 m et un dénivelé maximal de 82 m. La pente moyenne par quadrat est de 30 degrés avec une pente maximale à 53 degrés.

Orientation

Les quadrats sont principalement orientés au sud : 54% des quadrats (Figure 4).

TABLEAU 13 : ALTITUDE DU TERRITOIRE

Altitude	Lieux
413 m	Point culminant de la ligne de crête
359 m	Micro-zone la plus élevée
313 m	Altitude moyenne de la ligne de crête
230 m	Altitude moyenne des micro-zones
208 m	Quartier du litchi
184 m	Quartier de l'Eglise
170 m	Quartier de la maison de Fernand
148 m	Micro-zone la plus basse
131 m	Altitude minimale (rizières)

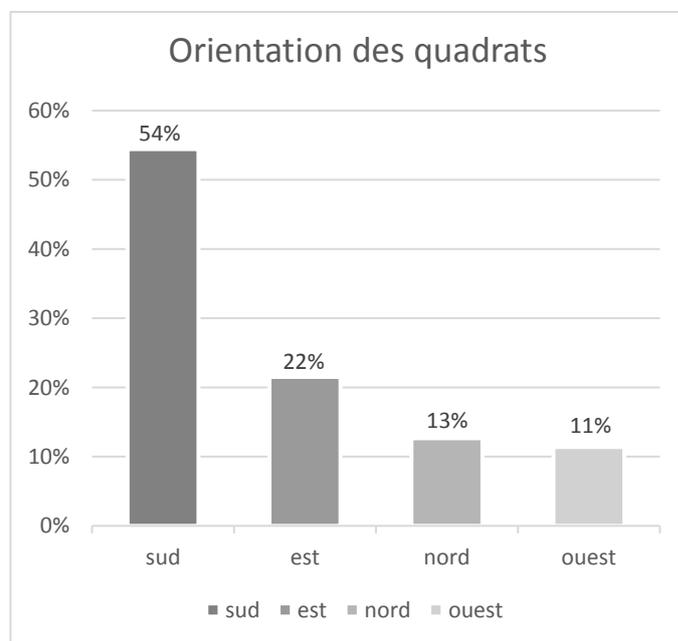


FIGURE 4 : ORIENTATION DES QUADRATS (N=79)

Village de Vohibary

0 500 1000 m



Légende

- Toposequences
- Ligne de crête
- Micro-zones

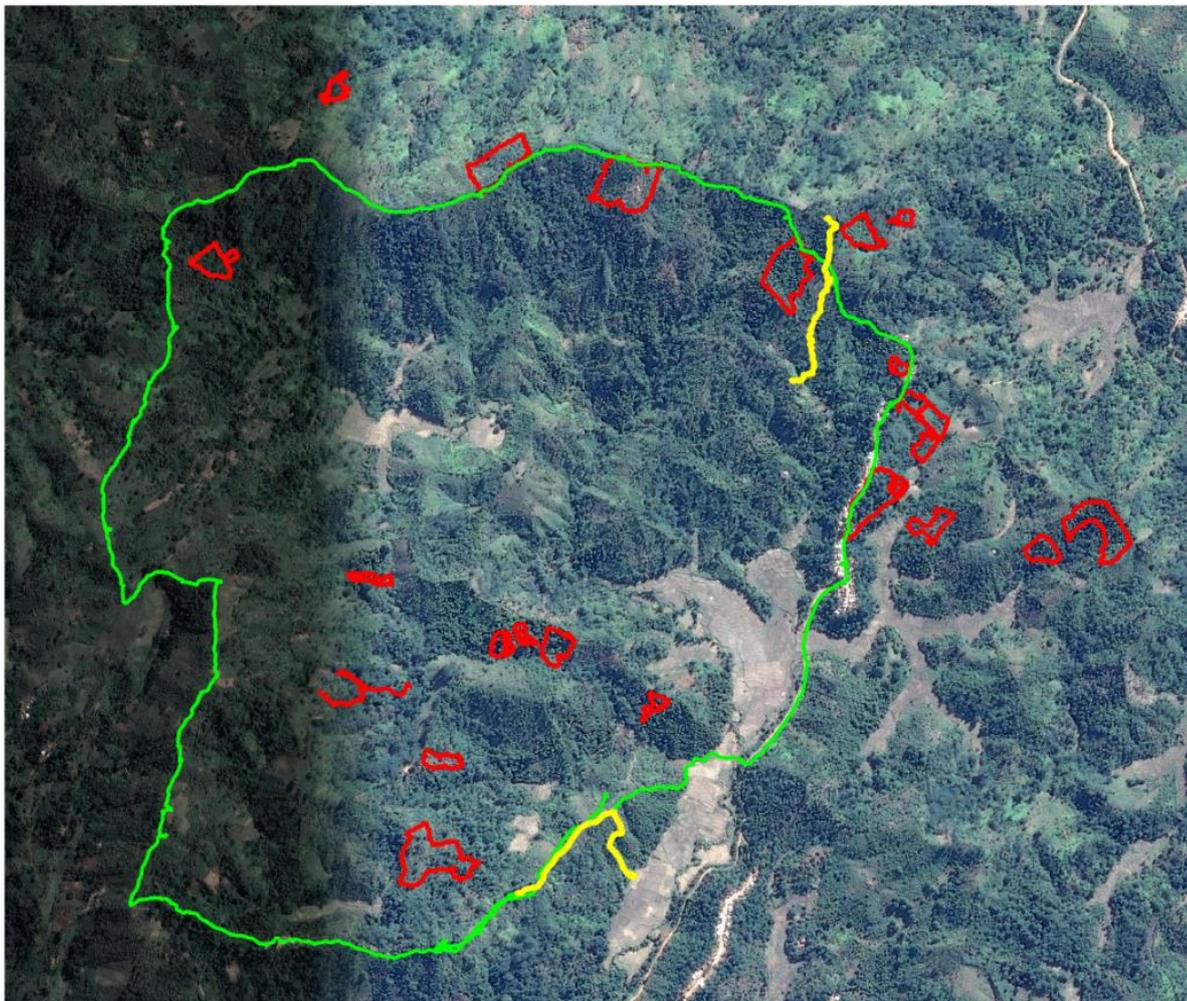


FIGURE 5 : CARTE DU TERRITOIRE DE VOHIBARY

Texture

La majorité des relevés à la tarière de toutes les profondeurs sont limoneux. Sur les huit relevés, sept sont limoneux jusqu'à 1,20 m. Cela témoigne d'un sol peu épais et de la proximité de la roche mère : les sols sont rajeunis par de fortes érosions pluviales. En s'approchant du bas-fond, les sols sont de plus en plus sableux. Ces sables sont issus de la décomposition de quartz et mica schiste dont on observe certains grains plus grossiers. Ces sables sont rendus visibles par le départ des limons et argiles dans la rivière. Ces résultats de texture à la tarière sont similaires aux résultats obtenus par observation des sols superficiels des quadrats. Une majorité des sols sont limoneux (Figure 6).

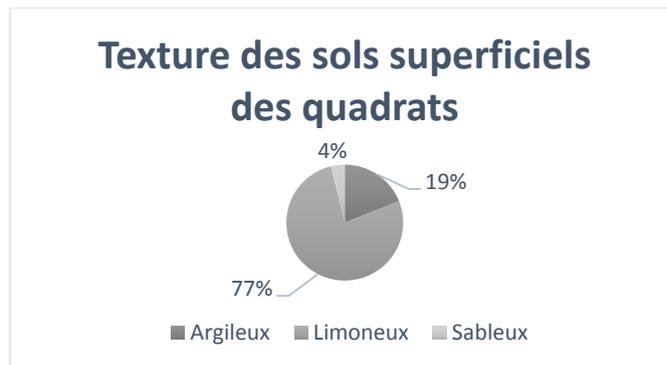


FIGURE 6 : TEXTURE DES SOLS SUPERFICIELS PAR QUADRAT (N=79)

Couleur

Les horizons de sols les plus superficiels sont les plus sombres de tous les relevés à la tarière. Les sols superficiels les plus sombres sont situés en sommet de colline et en bas de versant. Les sols restent relativement sombres jusqu'à une profondeur de 20 cm (pour six relevés parmi huit) et jusqu'à 40 cm (pour un relevé) et jusqu'à 60 cm pour le relevé en bas-fond de la seconde toposéquence (proche de la rizière) (Figure 7). Certains sols arborent des teintes rouges. Les sols rouges apparaissent dès 20 cm de profondeur (pour deux relevés), dès 40 cm (pour trois relevés) et dès 60 cm pour le relevé en bas-fond de la seconde toposéquence (proche de la rizière). Deux relevés n'ont pas de couleur rouge (un relevé de bas fond et un de pente). La couleur rouge des sols témoigne de présence de fer oxydé (Fe^{3+}) qui signifie que les sols restent humides longtemps (Figure 8). Cependant l'humidité ne reste pas suffisamment pour trouver des taches d'hygromorphie. Certains sols arborent des teintes jaunes. Les sols jaunes apparaissent dès 10 cm de profondeur (pour deux relevés), dès 20 cm (pour quatre relevés) et deux relevés n'ont pas de couleur jaune. Certains sols tendent vers le jaune ou le blanc, preuve que le fer est partis ou qu'il n'y en a jamais eu sur cet horizon (Figure 9).

L'étude des sols superficiels montre que 92% des quadrats ont un sols superficiel sombre.

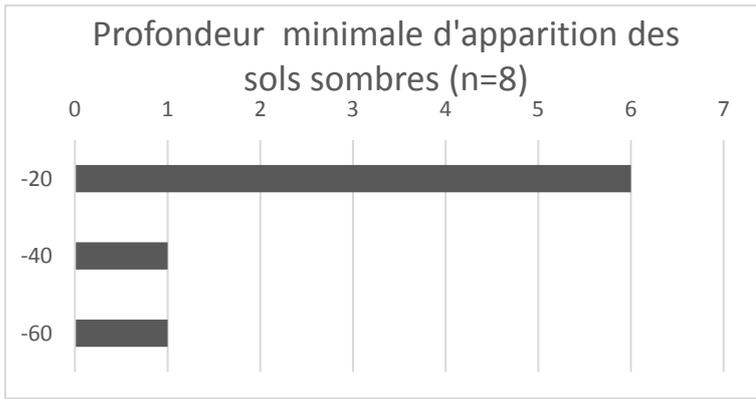


FIGURE 8 : PROFONDEUR DES SOLS SOMBRES A LA TARIERE (N=8)

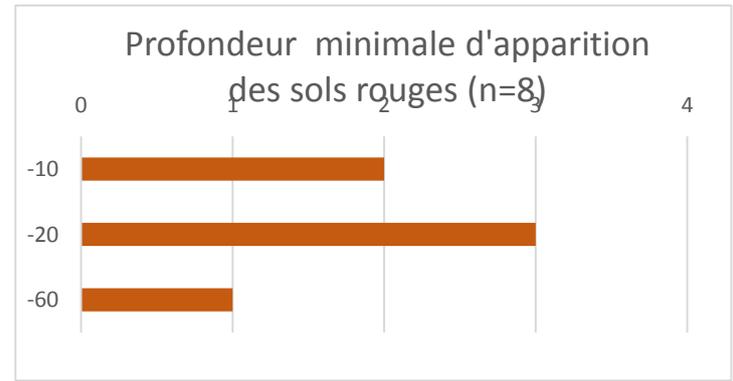


FIGURE 7 : PROFONDEUR DES SOLS ROUGES A LA TARIERE (N=8)

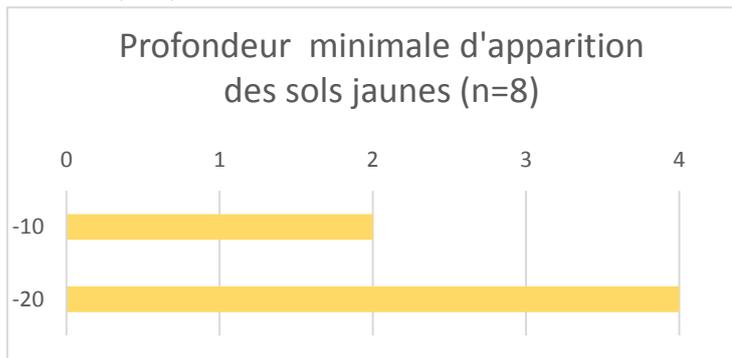


FIGURE 9 : PROFONDEUR DES SOLS JAUNES A LA TARIERE (N=8)

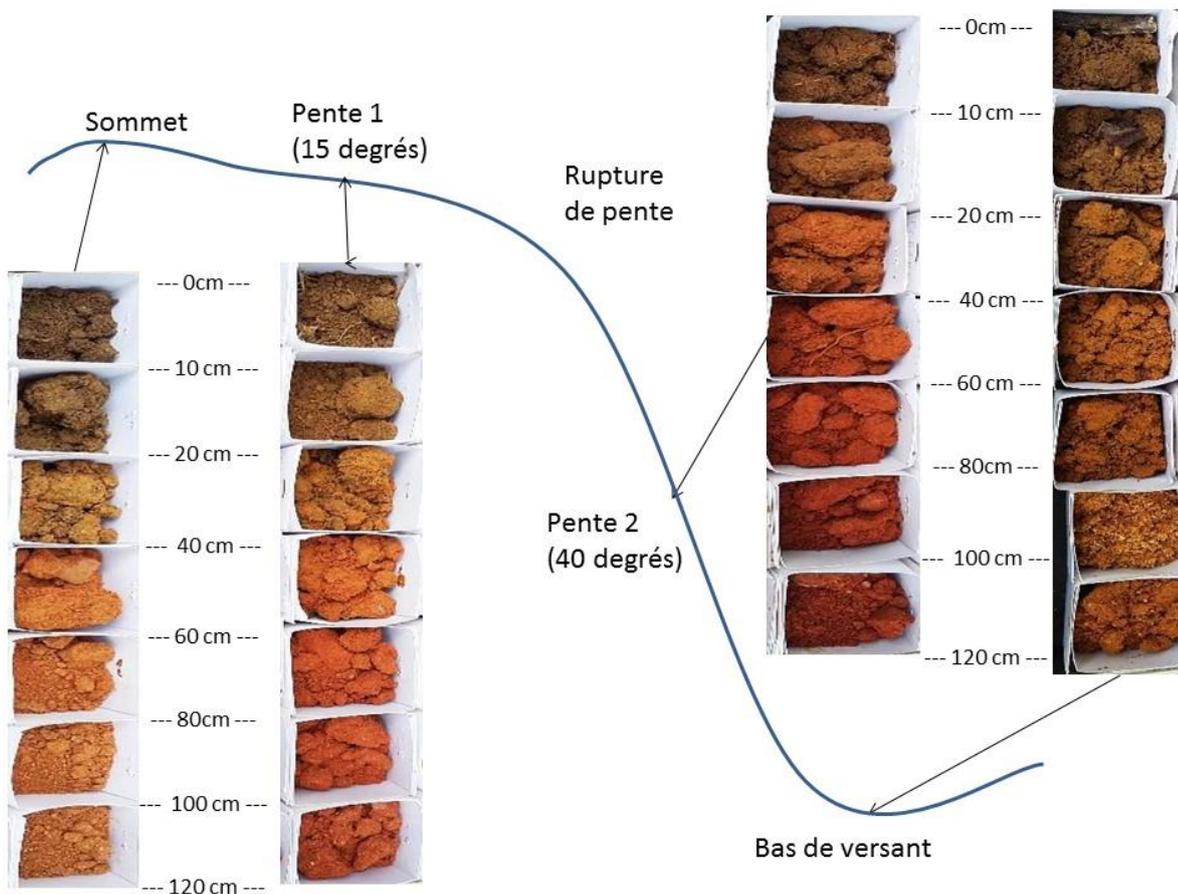


FIGURE 10 : SCHEMA DES RELEVES PEDOLOGIQUES DE LA TOPOSEQUENCE NORD

Éléments grossiers

Les éléments grossiers sont assez rares des relevés à la tarière : 55% des horizons n'en contiennent pas. Les éléments grossiers sont présents sur le sommet, en bas de versant et sur la zone de rupture de pente. Il y en a alors un nombre moyen qui sont de taille moyenne ou petite. Ils sont situés dans les horizons les plus profonds. Ils sont ferreux ou en feuillets de mica. L'étude des sols superficiels confirme la rareté des éléments grossiers. En effet, 76% des quadrats n'ont pas d'élément grossier. Parmi les 24% des quadrats possédant des éléments grossiers, 6% sont de petites tailles (inférieurs à 2 cm), 69% sont de taille moyenne (Taille comprise entre 2 cm et 5 cm et 5% (soit un quadrat) possède des éléments grossiers supérieurs à 5 cm (Figure 11).

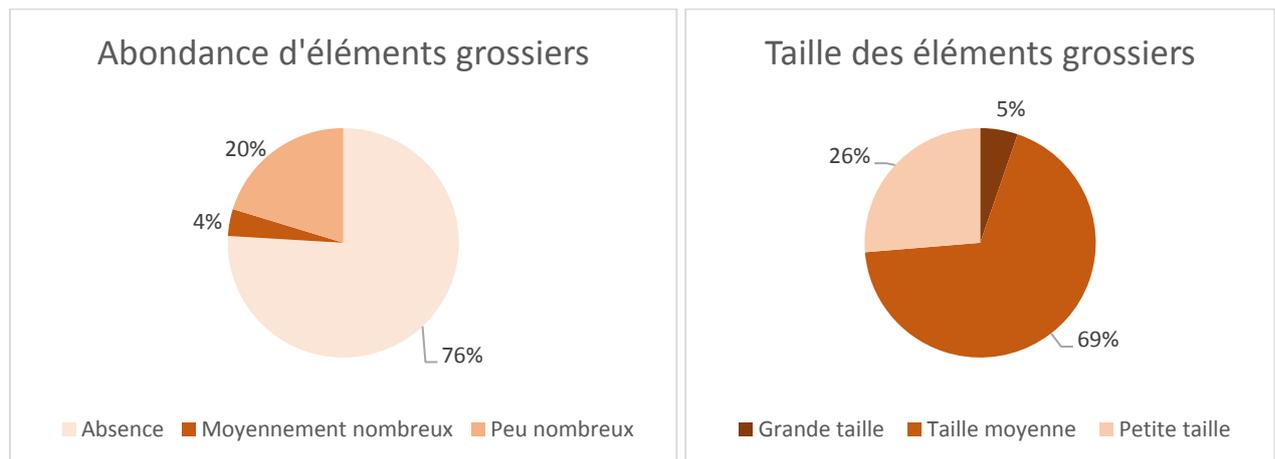


FIGURE 11 : ABONDANCE ET TAILLES DES ELEMENTS GROSSIERS DES SOLS SUPERFICIELS DES QUADRATS (N=79)

Racines

Sur les différents horizons réalisés à la tarière, les racines sont absentes des horizons les plus profonds : 50% des horizons n'ont pas de racines. Lorsque les racines sont présentes, elles sont petites (79% des horizons) ou moyennes (21% des horizons). Lorsque les racines sont présentes, elles sont peu nombreuses (60%) moyennement nombreuses (20%) et nombreuses (20%). En revanche, l'étude des sols superficiels montre un résultat différent. La présence de racines y est plus importante. La présence de racine est importante pour 20% des quadrats, elle est moyenne pour 41% des quadrats. Les racines sont présentes en petit nombre pour 38% des quadrats (Figure 12).

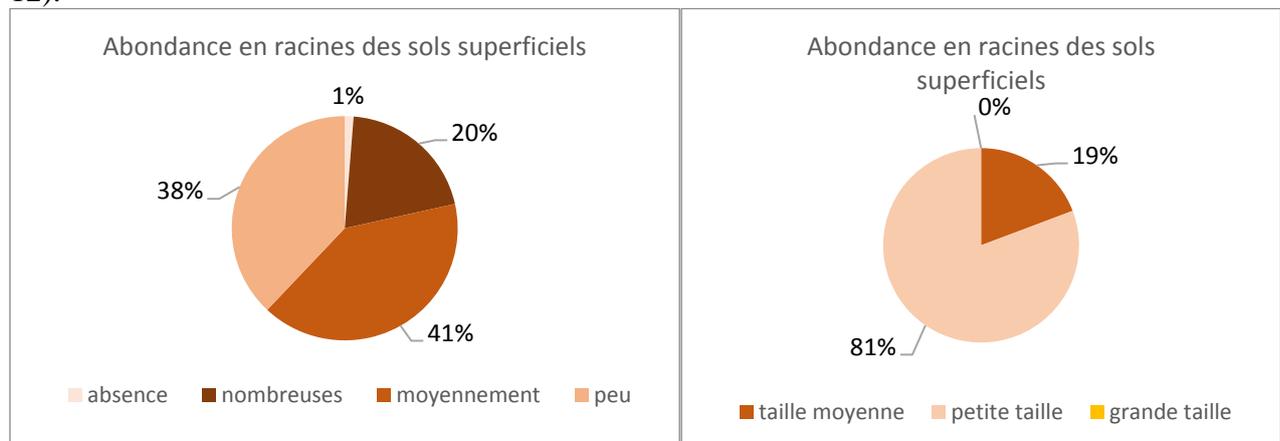


FIGURE 12 : ABONDANCE ET TAILLE DES RACINES DES SOLS SUPERFICIELS DES QUADRATS (N=79)

Compacité

Les horizons sont meubles à 63% et compactes à 38%. Tous les horizons compacts sont les horizons profonds. Les bas-fonds ont tous leurs horizons meubles. La prédominance des horizons

meubles est confirmée par les relevés sur nos quadrats des sols superficiels : 96% des 79 relevés sont compactes.

7.2 DESCRIPTION DES PRATIQUES DE GESTION DU GIROFLIER EN SAF

7.2.1 PERCEPTIONS DU MILIEU PHYSIQUE

Lors des entretiens semis-directifs, il est demandé les besoins en fertilité selon le stade de production des girofliers. Le Tableau 14 décrit les résultats. Quel-que-soit le stade de production, les girofliers ont un besoin en fertilité faible. De plus, en demandant le type de sol sur lequel la culture du giroflier est la plus difficile, la majorité déclare que le giroflier pousse sur tous les sols. Cette connaissance se retrouve dans la phrase entendue presque systématiquement : « Le giroflier ne choisit pas son sol. ». Enfin certains jugeaient que les sols sableux sont les moins bons sols pour les girofliers. Mais seule la croissance sera un peu ralentie. Les clous seront toujours produits.

Les sols fertiles sont laissés aux cultures dont les besoins sont grands tels que les fruitiers et la vanille. Les sols les plus riches en matière organique en bas de versant, ou sous les alambics⁵ ne servent pas à la culture des girofliers.

TABLEAU 14: NOMBRE D'AGRICULTEUR DECRIVANT LE BESOIN EN FERTILITE DES GIROFLIERS (N=16)

Nombre d'agriculteurs	Girofliers non-productifs	Girofliers productifs
Besoin en fertilité faible	9	11
Besoin en fertilité moyen	4	2
Besoin en fertilité élevé	3	3

Lors des entretiens semis-directifs, il est demandé les besoins en eau selon le stade de production des girofliers. Le Tableau 15 décrit les résultats. Les agriculteurs ont des avis divergents sur le besoin en eau des girofliers non-productifs. Les girofliers productifs auraient un besoin en eau faible.

TABLEAU 15: NOMBRE D'AGRICULTEUR DECRIVANT LE BESOIN EN EAU DES GIROFLIERS (N=16)

Nombre d'agriculteurs	Girofliers non-productifs	Girofliers productifs
Besoin en eau faible	6	10
Besoin en eau moyen	5	3
Besoin en eau élevé	5	3

Lors des entretiens semis-directifs, il est demandé de caractériser les sols présents sur leur parcelle. Chaque sol pouvant être favorable ou défavorable à la culture des girofliers. Les variables qu'ils utilisent pour caractériser les sols sont présentées dans le Tableau 16. Chacune de ces variables est déclinée en qualifiant l'importance (par exemple « pas mou » « peu mou », « moyen mou » et « très mou »). Chacune de ces variables est incluse dans un réseau d'implications perçues. L'ensemble des implications perçues sont résumées par la suivante (Figure 13). Par exemple l'observation d'un sol noir (*mainty*) permet de déduire que le sol est fertile (*lonaka*). Les flèches bleues sont des implications perçues qui sont apparues rarement (une ou deux fois). Par exemple l'observation d'un sol rouge (*mena*) permettant de déduire que le sol s'effrite (*miparitaka*) est apparue une seule fois. L'observation antérieure aux autres, est

⁵ Les alambics servent à la production d'huile essentielle de feuille de girofliers. Les feuilles qui en sortent sont déposées au sol et l'enrichissent en matière organique.

fréquemment l'observation de la pousse des plantes (pas forcément du giroflier). Ils décrivent leurs observations de la pousse des plantes par la phrase : « Quand tu plantes, ça pousse ». De cette observation, ils en déduisaient la fertilité (*lonaka*), la température (*mangastiaka*) l'humidité (*mangatsiatsiaka*) ou la mollesse (*malimy*).

TABEAU 16 : TRADUCTION DU VOCABULAIRE AGRONOMIQUE

Mots française	Mot malagasy betsimisaraka
Chaud	<i>Mafana</i>
Froid	<i>Mangastiaka</i>
Humide	<i>Mangatsiatsiaka</i> (atténuation de <i>Mangastiaka</i>)
Rouge	<i>Mena</i>
Noir	<i>Mainty</i>
Fertile	<i>Lonaka</i>
Collant	<i>Dity</i>
Mou	<i>Malimy</i>
S'effrite	<i>Miparitaka</i>
S'éparpille	<i>Mavoraboraka</i>
Ombagé	<i>Ilotrilotra</i>
Lumineux	<i>Hazavagna</i>

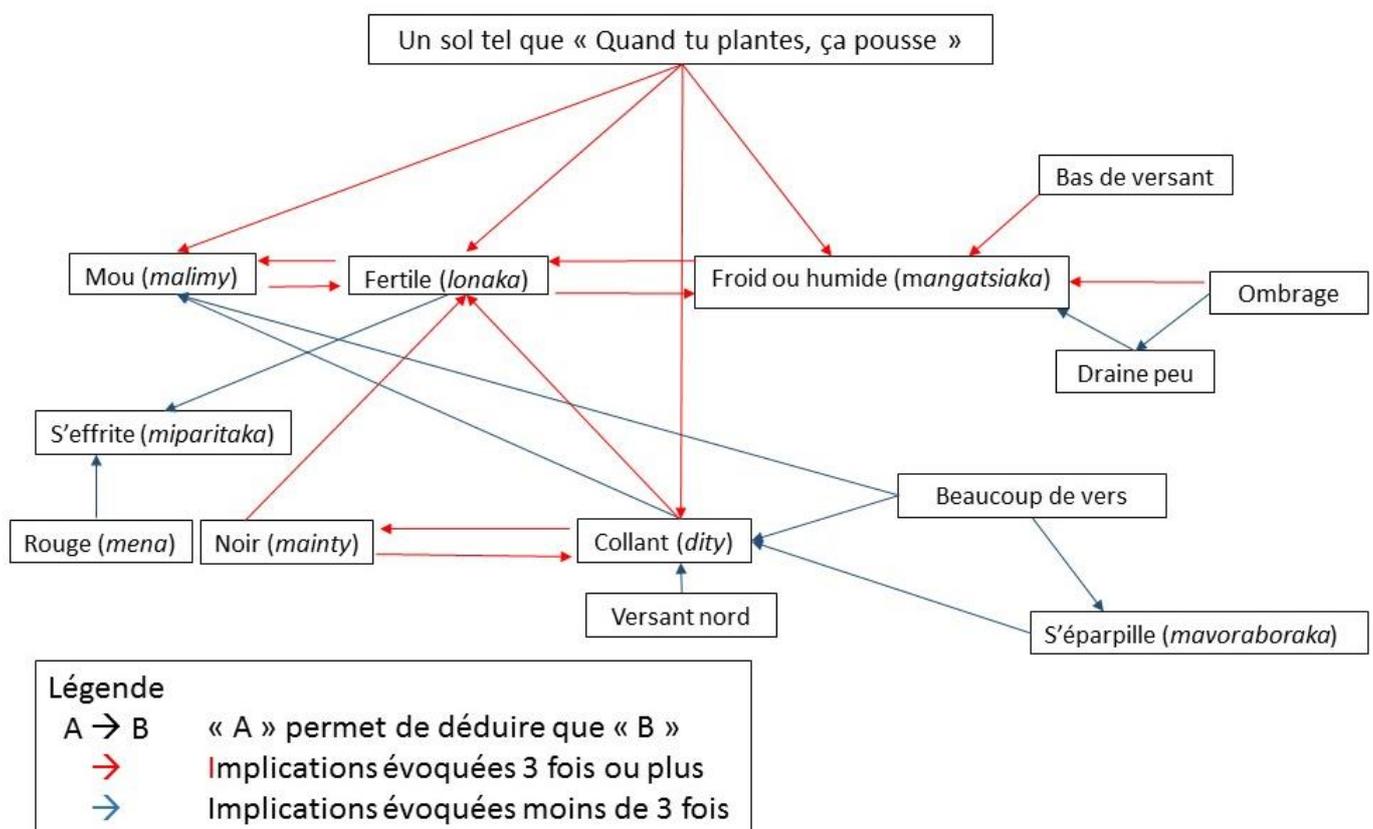


FIGURE 13 : CAUSALITE DES PHENOMENES ENVIRONNEMENTAUX SELON ENTRETIENS

Lors des entretiens semis-directifs, il est demandé si la culture des girofliers est favorisée ou contrariée par ces variables. La réponse systématique est que les girofliers poussent et produisent des clous indépendamment des sols sur lesquels ils poussent. La phrase entendue systématiquement est : « les girofliers ne choisissent pas leur sol » (*Jirofo tsy mifidy nofontany*). Une personne enquêtée a ajouté que dans un autre village à plusieurs kilomètres de distance, les sols sont « vraiment rouges ». Selon lui, les girofliers y poussent quand-même, mais plus lentement. Il ajoute que ce n'est pas le cas du village de Vohibary. De plus, les agriculteurs affirment lors du focus group que les pierres et les sols sableux sont mauvais pour les girofliers car en été les pierres et le sable chauffent et brûlent les racines. Ils ajoutent que les girofliers de Vohibary ne sont pas présents sur ces types de sols.

Lors des entretiens semis-directifs, il est demandé les besoins en lumière des girofliers selon le stade de production des girofliers. Les réponses des agriculteurs sont homogènes et disent que les girofliers non-productifs ont un besoin d'ombrage et que les girofliers productifs ont un besoin de lumière élevé. L'unique agriculteur qui affirme que les girofliers productifs ont besoin de lumière possède des girofliers productifs mais qui sont encore assez jeunes (8 ans) (Tableau 17).

TABLEAU 17 : NOMBRE D'AGRICULTEUR DECRIVANT LE BESOIN EN LUMIERE DES GIROFLIERS (N=16)

Nombre d'agriculteurs	Girofliers non-productifs	Girofliers productifs
Besoin en lumière faible	16	1
Besoin en lumière moyen	0	0
Besoin en lumière élevé	0	15

Lors des enquêtes, le mot « ombre » a été traduit par *Ilotrilotra* et le mot « lumière » par *Hazavagna*. Il existe deux manières de parler d'une lumière : selon sa force (Tableau 18) ou selon que la lumière touche le sol ou non (Tableau 19).

TABLEAU 18 : CLASSIFICATION DES TERMES SE REFERANT A LA LUMIERE SELON LA FORCE

Racine du mot	Terme se référant à une lumière faible	Terme se référant à une lumière moyenne	Terme se référant à une lumière forte
<i>Ilotra</i>	<i>Magnilotra</i>	<i>Ilotra</i>	<i>Magnilotrilotra, Ilotrilotra</i>
<i>Magnaloka</i>		<i>Magnaloka</i>	<i>Magnalo kaloka</i>
<i>Maloka</i>	<i>Maloka tanteraka</i>	<i>Maloka</i>	
<i>Mangatsiaka</i>	<i>Mangatsiatsiaka</i>	<i>Mangatsiatsiaka</i>	
Autres			<i>Ankazavagna, Anketrahetra</i>

TABLEAU 19 : CLASSIFICATION DES TERMES SE REFERANT A LA LUMIERE SELON QUE LA LUMIERE TOUCHE LE SOL OU NON

La lumière du soleil ne touche pas le sol	La lumière du soleil touche le sol
<i>Magnilotra</i>	<i>Magnilotrilotra</i>
<i>Ilotra</i>	<i>Ilotrilotra</i>
<i>Magnaloka</i>	<i>Magnalo kaloka</i>
<i>Maloka, Maloka tanteraka</i>	<i>Ankazavagna, Anketrahetra</i>
<i>Mangatsiatsiaka</i>	

Il existe donc une diversité de mot pour qualifier la lumière mais les pratiques des agriculteurs dépendent simplement d'une lumière (*Hazavagna*) faible, moyenne ou forte.

7.2.2 PRATIQUES AGRICOLES

Il existe de nombreuses pratiques agricoles. Certaines sont réalisées pour que les girofliers soient favorisés, d'autres sont réalisées pour que l'environnement (le sol, les autres espèces) soient favorables aux girofliers.

Pratiques

Les agriculteurs peuvent avoir recours à la coupe d'arbres aux alentours des girofliers. La réalisation d'une coupe dépend fortement du stade des girofliers. Ils définissent les girofliers jeunes comme étant les girofliers ne produisant pas encore de clous et les girofliers âgés comme ceux produisant. L'âge d'entrée en production varie beaucoup entre les parcelles. Les agriculteurs affirment tous lors du focus group qu'ils coupent les arbres s'ils gênent les girofliers. Ils définissent un arbre comme étant gênant si ses branches touchent celles du giroflier, s'il fait de l'ombre au giroflier, s'il menace de tomber sur un giroflier, s'il concurrence les girofliers en rendant le sol « dur ». C'est au début de la production de clous que les agriculteurs coupent les arbres gênant (Tableau 20).

TABLEAU 20 : NOMBRE D'AGRICULTEUR COUPANT LES ARBRES SELON LE STADE DES GIROFLIERS (N=16)

Nombre d'agriculteurs	Girofliers non-productifs	Girofliers productifs
Coupe les arbres alentours	1	14
Ne coupe pas les arbres	15	2

Certains arbres sont considérés comme gênant pour des raisons spécifiques à l'espèce. Par exemple l'eucalyptus (*Eucalyptus sp.*). Ils affirment tous lors du focus group, ne pas planter d'eucalyptus (*Eucalyptus sp.*) à proximité des girofliers dans le but d'éviter que les eucalyptus réduisent la vitesse de croissance des girofliers. Ils craignent que les « grosses » racines d'eucalyptus « tuent » les racines de girofliers. Ils veulent également éviter que les eucalyptus ne tombent sur les girofliers. Ils affirment tous lors du focus group que le litchi, la cannelle et l'eucalyptus sont néfastes pour les girofliers car leurs racines sont « dures » et absorbent la fertilité (*lonaka*) du sol. Ils déclarent que couper ces arbres permet d'augmenter la fertilité du sol.

Les girofliers peuvent également se gêner entre eux. Ils affirment tous lors du focus group que les girofliers ne doivent pas être espacés de moins de 4 m. Sinon les girofliers se font de l'ombre entre eux. Dans ce cas, les girofliers produisent beaucoup de feuilles et moins de clous, enfin ils produisent les clous plus en tête et moins sur les côtés.

Les arbres ne sont pas toujours gênant ; dans certains cas les agriculteurs profitent des avantages fournis par les arbres. Ils affirment tous lors du focus group, laisser les arbres pour garder de l'ombre, la fertilité, l'apport d'eau et la fourniture de bois (bois énergie et bois de construction). Les espèces mentionnées et leurs avantages perçus sont décrits dans le Tableau 21. Le choix de couper un arbre est un choix entre l'augmentation espérée de production de clous de girofles et le regret de ne plus bénéficier des avantages offerts par les arbres. Les individus qui sont conservés le plus longtemps sont les girofliers qui ne sont jamais coupés, puis les ligneux fruitiers comme le manguiier ou le litchi. Certains individus fruitiers sont des héritages des parcelles de leurs parents. Même s'ils gênent les girofliers, ces arbres-là ne sont pas coupés (cette explication est faite pour les litchis). Les arbres qui sont dangereux comme les eucalyptus qui menacent de tomber sur les girofliers sont coupés en priorité. Les arbres qui poussent très rapidement sont coupés en priorité. C'est le cas des bananiers (considérés comme des ligneux dans cette étude).

TABLEAU 21 : USAGES SECONDAIRES DES PLANTES DECRITS PAR LES AGRICULTEURS

Nom malagasy	Nom français	Nom scientifique	Plantes conservées pour			
			l'ombre	la fertilité	l'eau	le bois
TOTAL D'ESPECES			22	9	12	11
<i>Akondro</i>	Bananier betavia	<i>Musa acuminata</i> (Colla)	oui	.	.	.
<i>Akondro voantsiroko</i>	Bananier plantain	<i>Musa paradisiaca</i> (L.)	oui	.	.	.
<i>Albizia</i>	Albizia	<i>Albizia stipulata</i> (Boivin)	oui	oui	oui	oui
<i>Ampalibe</i>	Jacquier	<i>Artocarpus heterophyllus</i> (Lam)	oui	oui	oui	oui
<i>Bonara</i>	Bonara	<i>Albizia lebeck</i> (Cronquist)	oui	oui	oui	.
<i>Bonaram bazaha</i>	Gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.)	oui	.	.	.
<i>Cafe</i>	Caféier robusta	<i>Coffea robusta</i> (Froehner)	oui	.	oui	oui
<i>Coco voany</i>	Cocotier	<i>Cocos nucifera</i> (L.)	oui	.	.	.
<i>Dingadingana</i>	/	<i>Psiadia altissima</i> (DC.Drake)	.	.	oui	.
<i>Fary</i>	Canne sucre	<i>Saccharum officinarum</i> (L.)	oui	.	.	.
<i>Gavoka</i>	Avocat	<i>Persea americana</i> (Mill)	oui	oui	oui	.
<i>Grevilia</i>	Grevilleas	<i>Grevillea banksii</i> (R.Br.)	oui	oui	oui	oui
<i>Kinina</i>	Eucalyptus	<i>Eucalyptus sp</i>	oui	.	.	oui
<i>Litchi</i>	Litchi	<i>Litchi chinensis</i> (Sonn.)	oui	.	.	oui
<i>Makoba</i>	Jamalac	<i>Syzygium samarangense</i> (Blume)	oui	.	oui	.
<i>Manga</i>	Manguier	<i>Mangifera indica</i> (L.)	oui	.	.	.
<i>Mangahazo mena</i>	Manioc	<i>Manihot esculenta</i> (Crantz)	oui	.	oui	.
<i>Mankarana</i>	/	<i>Dombeya spectabilis</i>	.	.	.	oui
<i>Menahy</i>	/	<i>Erythoxylum nitidulum</i> (Baker)	.	.	.	oui
<i>Ovi be</i>	Igname	<i>Dioscorea alata</i> (L.)	.	.	oui	.
<i>Ovotra</i>	Arbre du voyageur	<i>Ravenala madagascariensis</i> (Sonn.)	oui	.	.	.
<i>ranonmainty</i>	Ranomainty	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.)	oui	.	.	oui
<i>Soanambo</i>	Arbre à pin	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson)	.	oui	oui	oui
<i>Voangy</i>	Oranger	<i>Citrus aurantium</i> (Bigaradier)	oui	oui	.	oui
<i>Voangy ala</i>	Citron sauvage	<i>Citrus limonium</i> (L.)	.	oui	.	.
<i>Voangy greffe</i>	/	/	.	oui	.	.

Les agriculteurs perçoivent leurs pratiques de plantations comme ayant un effet sur le sol. Ces effets peuvent être positifs pour la qualité du sol. Par exemple Les agriculteurs affirment tous lors du focus group que conserver les arbres permet de garder le sol collant (*dity*), humide (*mangatsiatsiaka*), fertile (*lonaka*), qui s'éparpille (*mavoraboraka*) et qui draine l'eau. Les agriculteurs affirment également lors du focus group, ne pas planter de manioc plusieurs années de suite (*Manihot esculenta*) ni d'eucalyptus (*Eucalyptus sp*) dans l'objectif de garder le sol mou

(*malimy*). Ils affirment également planter des Albizzia (*Albizzia stipulata*) et du Bonara (*Albizzia lebbeck*) car les racines de ces arbres apportent de l'humidité (*mangatsiatsiaka*) et de la chaleur (*mafana*) au sol. Ils ajoutent que si un de ces arbres meurt, les plantes autour n'ont plus accès à l'humidité fournies par les racines et meurent également. On peut noter que ces deux dernières espèces font partis du genre *Albizzia*, fixateur d'azote.

De plus, les agriculteurs affirment lors du focus group planter des grevillesas (*Grevillea banksii* (R.Br.)) pour augmenter l'ombrage, l'humidité, la fertilité et la capacité du sol à s'effriter.

Les agriculteurs ont différencié deux méthodes de désherbage. La première sur la totalité de la parcelle, la seconde uniquement au pied du giroflier (le détourage). La distance du pied à laquelle est pratiqué le désherbage varie de 20 cm à 2 m. C'est au début de la production de clous que les agriculteurs commencent le désherbage, par contre avant la production, les agriculteurs de « touchent » pas les girofliers. Ils affirment tous lors du focus group ne pas « toucher » (désherber et tailler) les girofliers avant la production de clous sinon l'arbre produit des feuilles et pas des clous (Tableau 22).

TABLEAU 22 : NOMBRE D'AGRICULTEURS DESHERBANT SELON LE STADE DES GIROFLIERS (N=16)

Nombre d'agriculteurs	Girofliers non-productifs	Girofliers productifs
Désherbe tout	4	14
Désherbe au pied du giroflier	8	1
Ne désherbe pas	4	1

Ils affirment tous lors du focus group qu'ils ne désherbent pas trop, dans le but de conserver un sol fertile (*lonaka*), collant (*dity*) et humide (*mangatsiatsiaka*). Lors du focus group, les agriculteurs affirment tous ne pas brûler les herbes dans le même but de conserver un sol fertile (*lonaka*), collant (*dity*) et humide (*mangatsiatsiaka*). On peut noter que cette pratique décrite se distingue des méthodes de culture sur brûlis. Ils réalisent les désherbages à la machette. Lorsqu'ils désherbent, les agriculteurs affirment laisser les herbes au sol pour augmenter la fertilité. Les agriculteurs affirment également lors du focus group, détourner l'herbe aux pieds des girofliers non-productifs dans l'objectif que celui-ci n'est pas trop chaud ni trop froid.

Les agriculteurs taillent les branches de giroflier pour amener les feuilles à l'alambic et obtenir de l'huile essentielle. La vente d'huile essentielle permet un apport d'argent rapide. On rencontre sur les différentes parcelles agricoles différentes formes de girofliers. Ces différentes formes témoignent de différentes méthodes de taille. Le schéma suivant illustre ces types de taille (en deux dimensions).

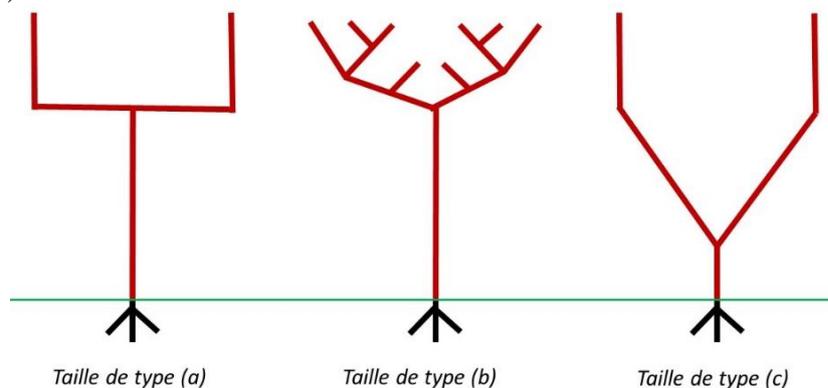


FIGURE 14 : SCHEMA DES TYPES DE TAILLE DE GIROFLIERS

Le Tableau 23 nous donne le résultat des enquêtes. C'est au début de la production de clous que les agriculteurs commencent à tailler les branches des girofliers. On remarque que la taille de type (a) est prépondérante. Les agriculteurs nomment cette manière de tailler « la taille de tête ». Ils

déclarent tailler de cette manière pour différentes raisons : éviter que les branches ne soient trop hautes et ainsi faciliter la récolte des clous, éviter la prise au vent lors des cyclones. Cette taille de tête permet d’avoir plus de branches périphériques or ce sont les branches périphériques qui portent le plus de clous.

TABLEAU 23 : NOMBRE D’AGRICULTEURS TAILLANT LES GIROFLIERS SELON LE STADE DES GIROFLEIRS (N=16)

Nombre d’agriculteurs	Girofliers non-productifs	Girofliers productifs
Ne taille pas	15	2
Taille de type (a)	1	11
Taille de type (b)	0	3
Taille de type (0)	0	0

7.3 CARACTERISATION DES TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS

7.3.1 RELATION AGE DIAMETRE

La relation linéaire entre l’âge à dire d’acteur et le diamètre moyen est calculée (Figure 15). Cette régression permet de documenter l’âge des girofliers à partir des diamètres mesurés. Nous obtenons la relation linéaire suivante. La valeur de de l’erreur entre cette régression et nos points mesurés est $R^2 = 0,6908$.

$$\text{âge des girofliers}_{(en\ années)} = 2,2325 \times \text{diamètre à } 1,30m_{(en\ cm)} - 2,5099$$

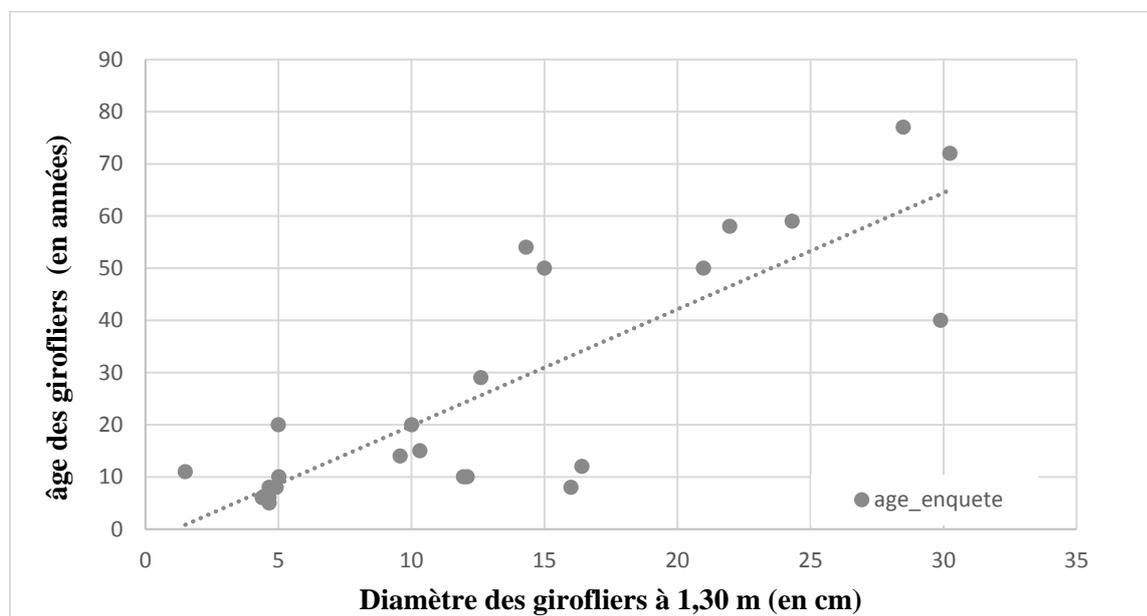


FIGURE 15 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE REGRESSION LINEAIRE AGE-DIAMETRE

7.3.2 VARIABLES D’INVENTAIRES PERTINENTES

Une première analyse en composante principale (ACP) est réalisée avec toutes nos variables d’inventaires (Tableau 3). Cinq variables sont sélectionnées. Ces variables sont indépendantes et décrivent le mieux nos structures végétales : la densité d’individus ligneux, la densité d’individus non-ligneux cultivés, le nombre d’espèces ligneuses, le nombre d’espèces non-ligneuses cultivées

et l'âge des girofliers. Ces variables expliquent une part considérable de l'hétérogénéité des micro-zones (78% d'inertie). L'hypothèse 1 est vérifiée⁶. De plus, une ACP est réalisée avec ces cinq variables. Les types de micro-zones qui se distinguent selon les deux axes de l'ACP, concordent avec mes observations de terrain (Tableau 24 ; Figure 16).

TABLEAU 24 : CONTRIBUTION DES VARIABLES AUX AXES DE L'ACP

Variables d'inventaire conservées	Code Variable	% de l'axe 1 par variable	% de l'axe 2 par variable
Densité de ligneux (individus /ha)	densite_li	27,2	3,8
Densité de non-ligneux-cultivés (individus /ha)	densite_nlic	15,4	37,0
Nombre d'espèces ligneuses par quadrat	sp_li	10,9	37,1
Nombre d'espèces non-ligneuses cultivées par quadrat	sp_nlic	22,0	15,9
Age des girofliers calculés par régression linéaire des mesures de diamètres	age_diam_gir	24,5	6,2

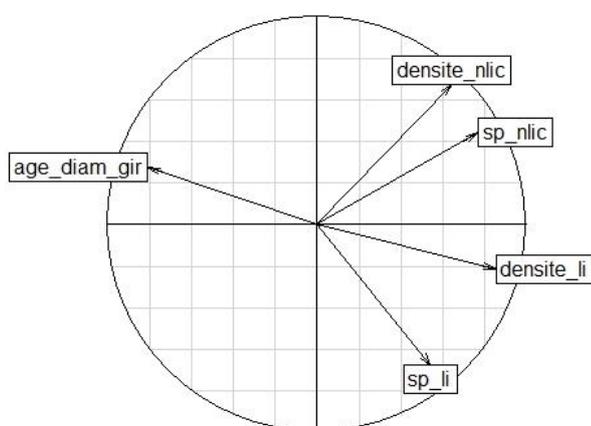


FIGURE 16 : CERCLE DE CORRELATION DES CINQ VARIABLES D'INVENTAIRE PERTINENTES (78% D'INERTIE EXPLIQUEE)

La description générale des variables d'inventaires sélectionnées est décrite ci-dessous (Tableau 25). Les tableaux complets des statistiques des variables d'inventaires sont disponibles en annexe (Annexe 18, Annexe 19, Annexe 20, Annexe 21, Annexe 22).

TABLEAU 25 : DESCRIPTION GENERALE DES VARIABLES D'INVENTAIRES SELECTIONNEES

Variables d'inventaire conservées	Minimum	Moyenne	Maximum
Densité de ligneux (individus /ha)	200	895 +/- 539	2700
Densité de non-ligneux-cultivés (individus /ha)	0	856 +/- 915	2800
Nombre d'espèces ligneuses par quadrat (100 m ²)	1	5,2 +/- 2,3	11
Nombre d'espèces non-ligneuses cultivées par quadrat (100 m ²)	0	1,1 +/- 0,8	3
Age des girofliers (années)	7	27 +/- 20	35

⁶ Je fais l'hypothèse que différents types de micro-zones peuvent être distingués en fonction de leurs caractéristiques structurales.

7.3.3 TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS COMPLEXES A GIROFLIERS

La projection de chaque micro-zone sur le plan composé des deux axes réalisés avec nos cinq variables d'inventaire est présenté (Figure 17). Chaque point représente une micro-zone, et leur éloignement rend compte de leurs différences concernant les cinq variables. On observe des groupes qui correspondent donc à différents types de systèmes agroforestiers complexes du point de vue des cinq variables sélectionnées. Les types sont réalisés selon la proximité des points sur le premier et le second axe. La clé de détermination des types est donnée (Figure 18). Il en ressort six types. Chaque valeur correspond au numéro la micro-zone. La table des correspondances est donnée en annexe (

Annexe 23).

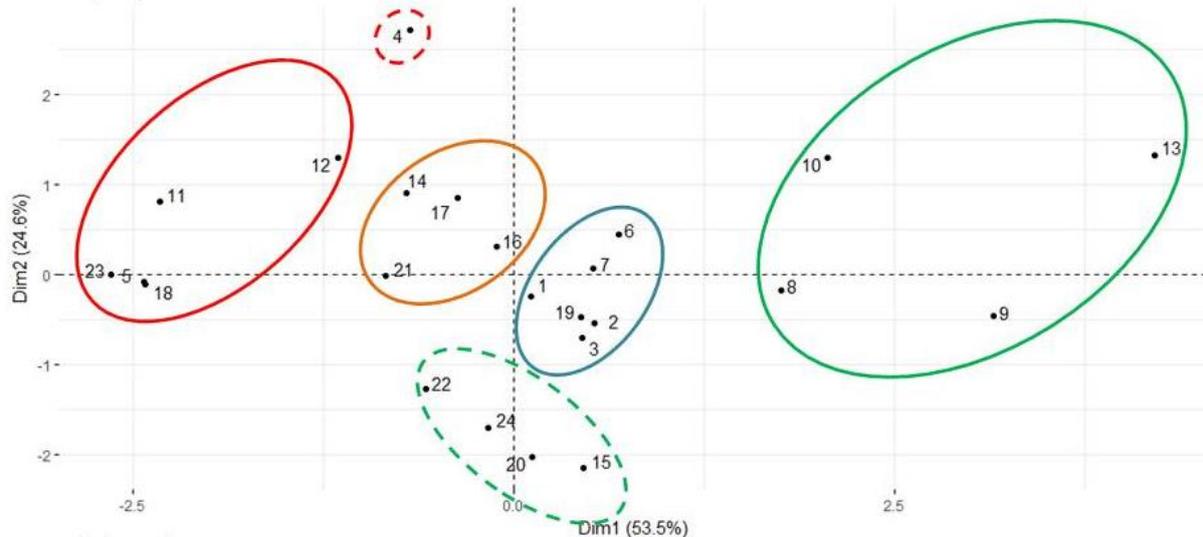


FIGURE 17 : PROJECTION DES 24 MICRO-ZONES ET TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS COMPLEXES

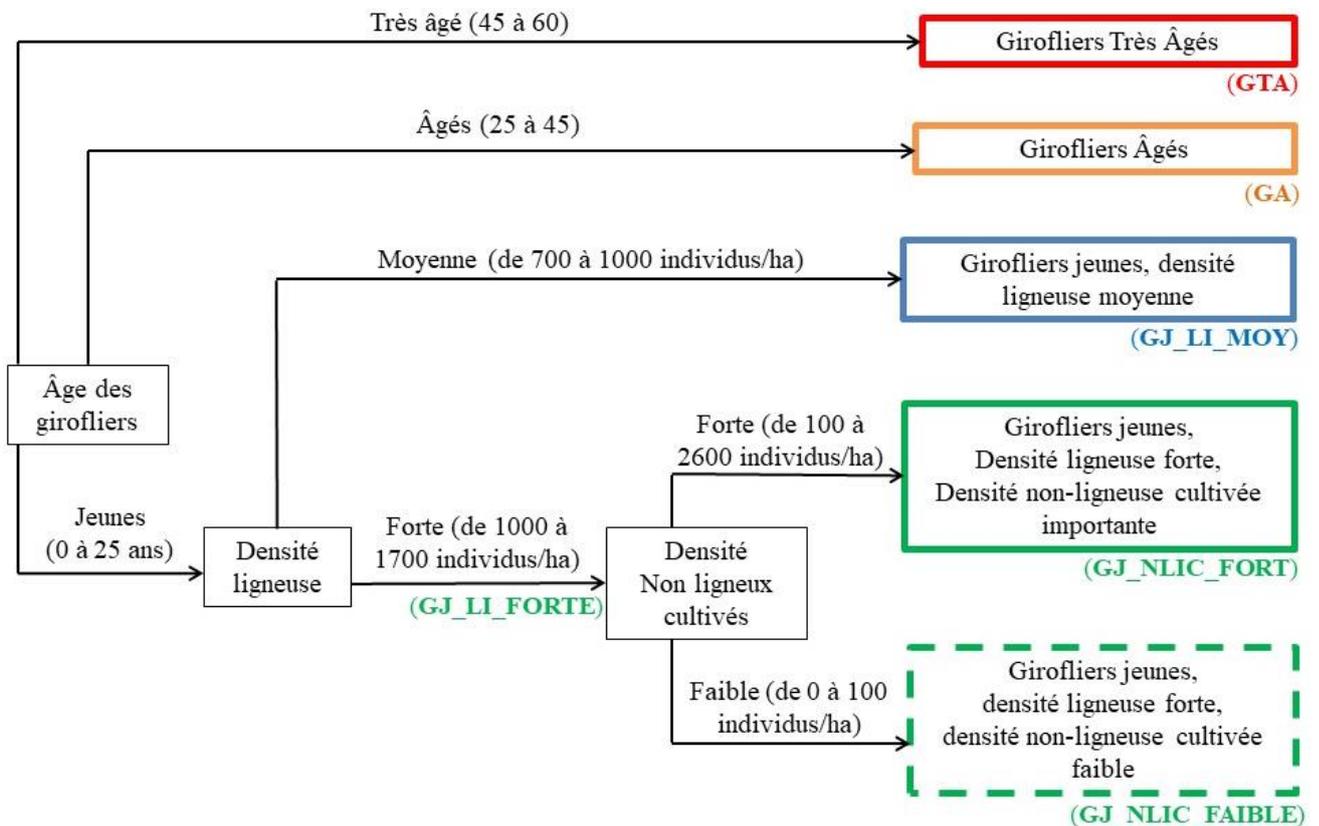


FIGURE 18 : CLE DE DETERMINATION DES TYPES SELON LES VARIABLES D'INVENTAIRE

Le premier type est constitué des micro-zones 4, 5, 11, 12, 18 et 23. Ce type est situé sur la partie de l'axe correspondant aux densités de ligneux les plus faible. Ce groupe est constitué de girofliers très âgés (de 45 à 60 ans), la densité ligneuse est très faible (de 200 à 530 individus par hectare), la densité des espèces cultivées non-ligneuse est faible (de 0 à 83 individus par hectare. Le nombre d'espèces ligneuses est très faible (de 1 à 4,6 espèce par quadrat), le nombre d'espèces cultivées non-ligneuses est très faible (0 ou 1 espèce). La surface terrière est très importante sur ces micro-zones entre 23 et 51 m² par hectare. On peut nommer ce type **Girofliers Très Âgés (GTA)**. Deux micro-zones se distinguent un peu des autres avec une densité non-ligneuse cultivée à 1700 et 2800 individus non-ligneux cultivés par hectare. La plupart des micro-zones de ce type ne

présentent pas de plantes cultivées non-ligneuses (micro-zones 23, 5, 18, 11 et 12) à l'exception de la micro-zone 4.

Le second type est constitué des micro-zones 14, 16, 17 et 21. Ce type est constitué de girofliers âgés (entre 25 ans et 45 ans), la densité ligneuse est faible (entre 550 et 733 individus par hectare), la densité des plantes cultivées non-ligneuses est plutôt faible (entre 733 et 550 individus par hectare). Le nombre d'espèces ligneuses varie entre 3 et 4,7. Le nombre d'espèces non-ligneux cultivées varie entre 1 et 1,8. On peut nommer ce type comme le type **Girofliers Âgés (GA)**.

Le troisième et le quatrième type sont tous les deux constitués de girofliers jeunes (de 0 à 25 ans). Ce sont d'autres variables d'inventaires qui les distinguent.

Le troisième type est constitué des micro-zones 1, 2, 3, 6, 7 et 19. Ce type est constitué de girofliers jeunes (de 0 à 25 ans). Toutes les variables d'inventaires sont moyennes. La densité ligneuse est moyenne (entre 766 et 1033 individus par hectare), la densité des plantes cultivées non-ligneuses est moyenne (de 566 à 1225 individus par hectare). Le nombre d'espèces ligneuses est moyen (entre 4,3 et 6,2), le nombre d'espèces cultivées non-ligneuses varie entre 1 et 1,7. Ce type est « moyen » pour ses variables de densité et d'espèces. Il est d'ailleurs au centre du graphique, au niveau de l'intersection des deux axes. On nomme ce type **Giroflier Jeune avec Densité Ligneuse Moyenne (GJ_LI_MOY)**.

Le quatrième type est constitué des micro-zones 8, 9, 10, 13, 15,20, 22 et 24. Les girofliers de ce type sont jeunes (de 0 à 25 ans. La densité ligneuse est forte (entre 1000 et 1700 individus par hectare). On peut distinguer deux sous-types. Le premier sous-type a beaucoup de plantes cultivées non-ligneuses entre 1050 et 2633 individus par hectare répartis en deux ou trois espèces. Cela concerne les micro-zones 8, 10, 9 et 13. Le second sous-type présente peu de plantes cultivées non-ligneuses (entre 0 et 100 individus par hectare). Cela concerne les micro-zones 22, 24, 20 et 15.

Les deux sous-types ont été analysés ensemble dans la suite. En effet, ces sous-types sont principalement distingués par la densité de non-ligneux cultivés mais ils sont confondus pour les autres variables d'inventaires et variables exogènes. Les sous-types sont notamment confondus pour l'âge des girofliers et la densité de ligneux. Or ces deux variables sont celle qui expliquent le plus l'axe 1 ayant le plus d'inertie. De plus, conserver ces deux sous-types ensemble est plus proche des observations de terrain. On nomme ce type **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)**.

Les statistiques des variables d'inventaires par types sont résumées par les boîtes à moustaches données en Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22 et Figure 23. On y observe bien l'augmentation de l'âge en fonction du type de SAF. On observe la diminution de la densité ligneuse et du nombre d'espèces ligneuses en fonction du type de SAF. La densité et le nombre d'espèces non-ligneuses cultivées diminue également avec le type. Cependant ces valeurs sont très étendues. Les données statistiques complètes sont données en annexe (

Annexe 24).

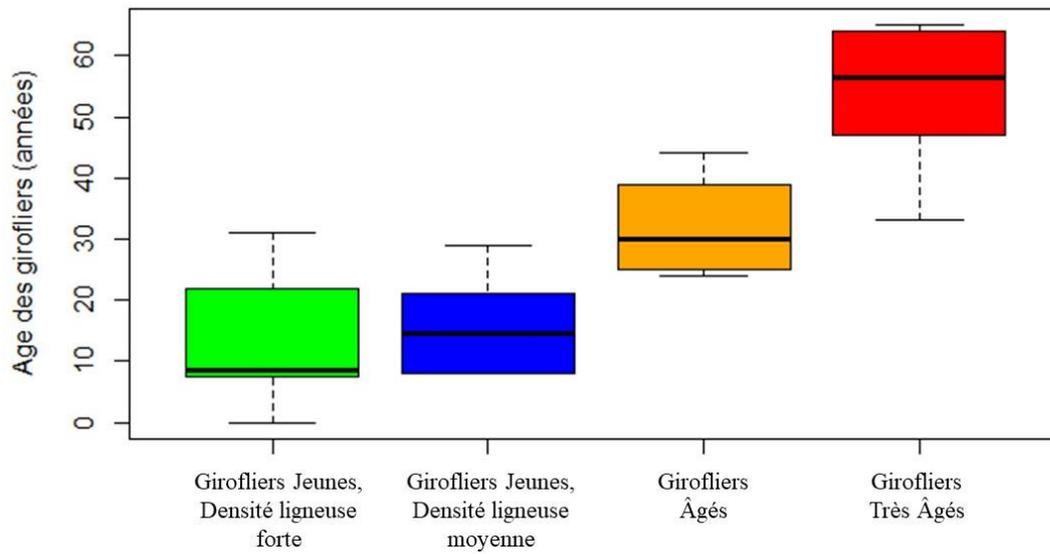


FIGURE 19 : AGE DES GIROFLIERS (ANNEE) EN FONCTION DU TYPE DE SAF

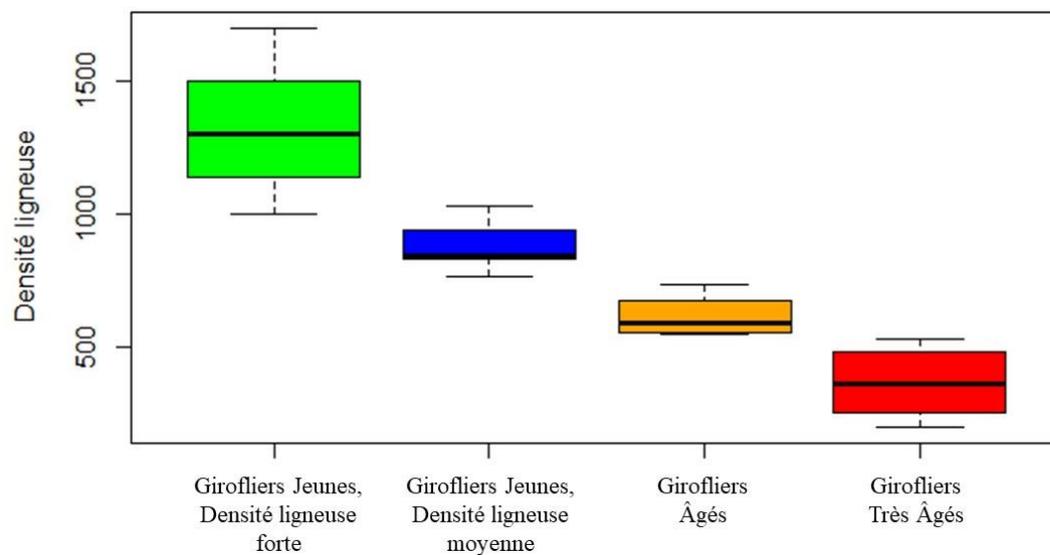


FIGURE 20 : DENSITE LIGNEUSE (TIGES/HA) EN FONCTION DU TYPE DE SAF

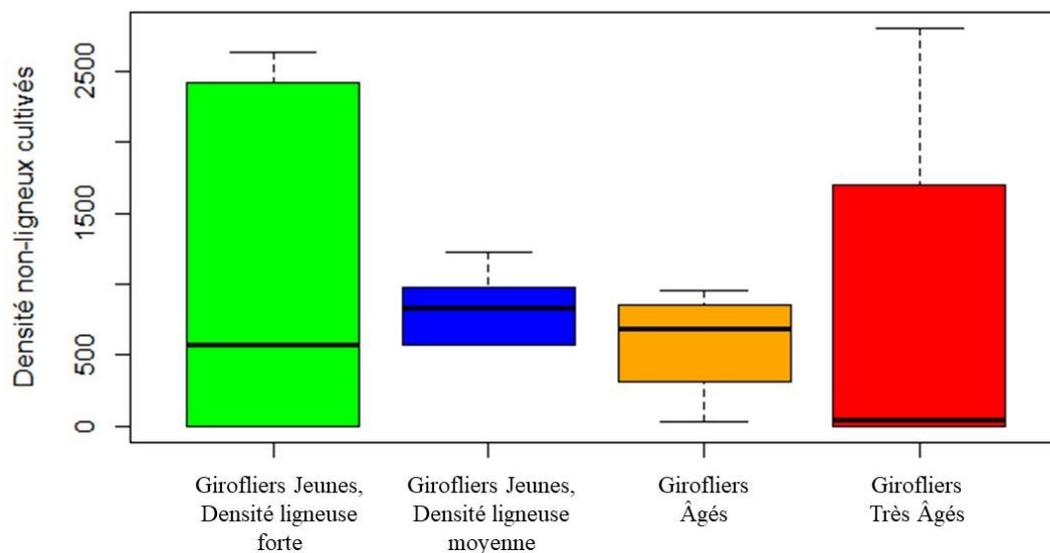


FIGURE 21 : DENSITE NON-LIGNEUSE CULTIVEE (TIGE/HA) EN FONCTION DU TYPE DE SAF

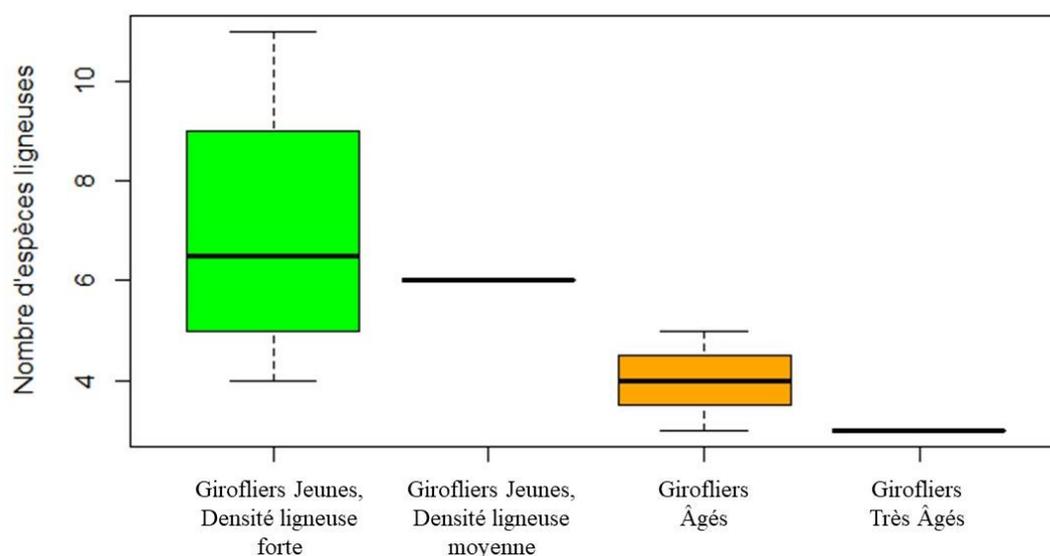


FIGURE 22 : NOMBRE D'ESPECES LIGNEUSE PAR QUADRAT DE 100 M² EN FONCTION DU TYPE DE SAF

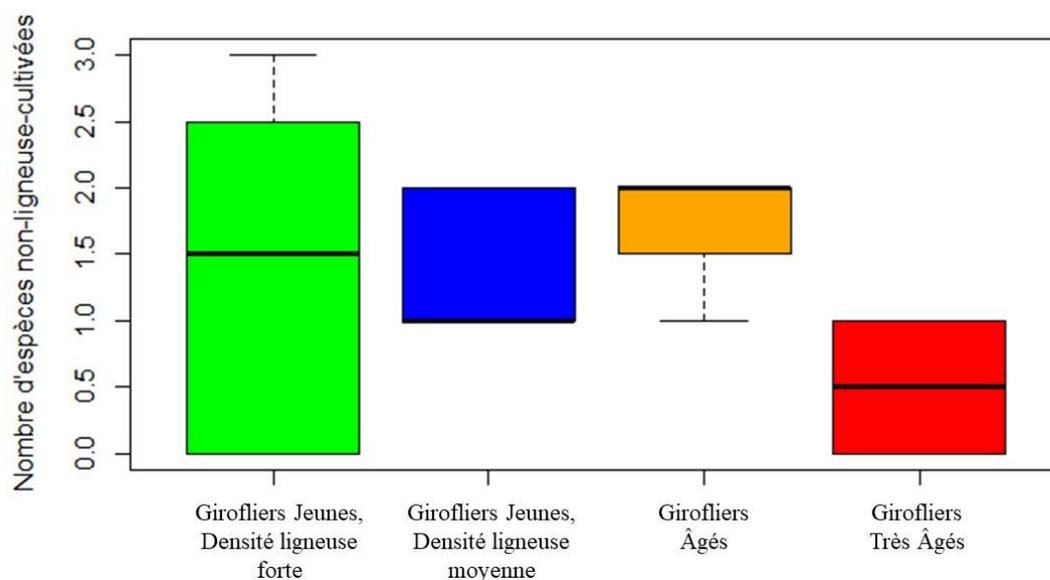


FIGURE 23 : NOMBRE D'ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVEES PAR QUADRAT DE 100 M² EN FONCTION DU TYPE DE SAF

7.3.4 DESCRIPTION DES ESPECES DES TYPES

Ces types de systèmes agroforestiers possèdent des associations d'espèces ligneuses distinctes. Les principales espèces de chaque type de SAF sont résumées dans le Tableau 26 et Annexe 26 pour les espèces ligneuses. Les principales espèces de chaque type de SAF sont résumées dans le Tableau 27 et en Annexe 27 pour les espèces non-ligneuses cultivées. La valeur de densité par type de SAF est la moyenne des densités des micro-zones. Sont également renseignées l'écart-type et le nombre de micro-zones possédant l'espèce. Pour ne pas surcharger le tableau, seules les espèces au plus grand nombre d'individus sont inscrites (90% des individus totaux sont représentés). Le tableau des espèces représentant les 10% d'individus restant est disponible en annexe (Annexe 28 ; Annexe 29).

TABLEAU 26 : DENSITE DES ESPECES LIGNEUSES MOYENNE PAR MICRO-ZONES (NOMBRE D'INDIVIDUS/HA), ECART-TYPES ET NOMBRE DE MICRO-ZONES SUR LESQUELLES L'ESPECES APPARAIT

Nom français	Nom malagasy	Nom scientifique	Densité des espèces ligneuses (nombre d'individus / ha)			
			GTA	GA	GJ_LI_MOY	GJ_LI_FORTE
Café	<i>cafe</i>	<i>Coffea robusta</i> (Froehner)	.	19±NA mz =1/4	14±11 mz =4/6	127±9 mz =5/8
Giroflier	<i>jirofo</i>	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.)	378±13 mz=6/6	388±13 mz =6/4	457±16 mz =6/6	327±6 mz =8/8
Bananes	<i>akondro</i>	<i>Musa acuminata</i> (Colla)	.	6±NA mz =1/4	90±4 mz =4/6	487±20 mz =6/8
Bananes plantain	<i>akondro voantsiroko</i>	<i>Musa paradisiaca</i> (L.)	.	.	38±1 mz =3/6	180±9 mz =4/8
/	<i>ranonmainty</i>	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.)	.	13±4 mz =3/4	33±37 mz =4/6	87±7 mz =5/8
Total			378	426	632	1208

TABLEAU 27 : DENSITE DES ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVEES MOYENNE PAR MICRO-ZONES (NOMBRE D'INDIVIDUS/HA), ECART-TYPES ET NOMBRE DE MICRO-ZONES SUR LESQUELLES L'ESPECES APPARAIT

Noms français	Nom malagasy	Nom scientifique	Densité des espèces non-ligneuses cultivées (nombre d'individus/ha)			
			GTA	GA	GJ_LI_MOY	GJ_LI_FORTE
Vanille	<i>Vanil</i>	<i>Vanilla planifolia</i> (Andrews)	.	500 ±NA mz =1/4	967±8 mz =4/6	425±11 mz =3/8
Ananas	<i>manas</i>	<i>Ananas comosus</i> (Merr.)	1500±57 mz =2/6	350±7 mz =2/4	700±10 mz =4/6	325±7 mz =2/8
Manioc	<i>mangahazo mena</i>	<i>Manihot esculenta</i> (Crantz)	467±NA mz =1/6	625±8 mz =3/4	1267±12 mz =5/6	875±30 mz =3/8
Igname	<i>ovi be</i>	<i>Dioscorea alata</i> (L.)	.	25±NA mz =1/4	33±0 mz =2/6	100±4 mz =2/8
Taro	<i>Soany</i>	<i>Colocasia esculenta</i> (L.)	.	.	.	750±NA mz =1/8
Canne à sucre	<i>fary</i>	<i>Saccharum officinarum</i> (L.)	.	.	67±0 mz =2/6	.
Maïs	<i>tsakotsako</i>	<i>Zea mays</i> (L.)	.	300±NA mz =1/4	.	.
Patate douce	<i>tsomanga</i>	<i>Ipomoea batatas</i> (Lam.)	.	300±NA mz =1/4	.	.
Oignon	<i>oignon</i>	<i>Allium</i>	.	250±NA mz =1/4	.	.
/	<i>lingoza</i>	<i>Aframomum angustifolium</i> (Sonn.)	150±NA mz =1/6	.	33±NA mz =1/6	13±NA mz =1/8
/	<i>fatakama</i>	<i>Poacea</i>	.	.	750±NA, mz=1/6	.
/	<i>menahy</i>	<i>Erythoxylum nitidulum</i> (Baker)	.	.	150±NA mz =1/6	.
/	<i>Arakaratelo</i>	<i>Lygodium lanceolatum</i> (Desv.)	.	.	50±NA mz =1/6	.
Total	/	/	2107	2050	4017	2488

Le type **Girofliers Très Âgés (GTA)** est caractérisé par l'absence de ligneux autres que le giroflier, et la présence d'ananas (pour deux micro-zones) et de manioc (pour une micro-zone). Les SAF de type **Girofliers Âgés (GA)** sont également pauvres en espèces ligneuses autres que le giroflier (91% des individus ligneux sont des girofliers). Parmi ces rares ligneux, on retrouve des caféiers (sur une micro-zone), des bananiers (une micro-zone) et des *ranonmainty* (sur trois des quatre micro-zones). Les principales plantes cultivées non-ligneuses sont la vanille (une micro-zone), l'ananas (deux micro-zone) et le manioc (sur trois des quatre micro-zones).

Au sein des SAF de type **Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)**, les girofliers sont accompagnés par d'avantages d'espèces ligneuses (73% des individus ligneux sont des girofliers). Parmi ces ligneux, on retrouve des caféiers (sur quatre des six micro-zones), des bananiers (sur quatre des six micro-zones), des bananiers plantains (trois micro-zones) et du *ranonmainty* (sur quatre des six micro-zones). Les principales plantes cultivées non-ligneuses sont le manioc (sur cinq des six micro-zones) et la vanille (sur quatre des six micro-zones).

Les SAF de type **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)** sont caractérisés par la faible proportion de girofliers (27 % des individus ligneux sont des girofliers), les autres espèces ligneuses étant majoritaires. On retrouve principalement des caféiers (sur cinq des huit micro-zones), des bananiers (six sur les huit micro-zones), des bananiers plantains (quatre sur huit) et du

ranonmainty (sur cinq des huit micro-zones). Les principales espèces cultivées non-ligneuses sont le manioc (trois sur les huit micro-zones) et le taro (une seule micro-zone).

7.3.5 PHOTOGRAPHIE DES TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS

Les photographies suivantes (Figure 24, Figure 25, Figure 26, Figure 27) illustrent les types. Les types **Girofliers Très Âgés (GTA)** et **Girofliers Âgés (GA)** n'ont pas de ligneux ni de plantes cultivées non-ligneuses. Les girofliers de ces deux types n'ont pas d'ombrage. L'ombrage observé du type **Girofliers Très Âgés (GTA)** est l'ombrage porté par les girofliers eux-mêmes. Le type **Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)** a des espèces de rente, on observe sur la Figure 26 du café, un bananier et de la vanille. Les girofliers du type **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)** sont accompagnés de bananier, soanambo, manioc et d'autres ligneux (Figure 27).



FIGURE 24 : PHOTOGRAPHIES DE MICRO-ZONES DE TYPE GIROFLIERS TRÈS ÂGÉS (GTA)



FIGURE 25 : PHOTOGRAPHIES DE MICRO-ZONES DE TYPE GIROFLIERS ÂGÉS (GA)



FIGURE 26 : PHOTOGRAPHIE DE MICRO-ZONE DE TYPE GIROFLIER JEUNE AVEC DENSITE MOYENNE (GJ_LI_MOY)



FIGURE 27 : PHOTOGRAPHIE DE MICRO-ZONE DE TYPE GIROFLIERS JEUNES, DENSITE LIGNEUSE FORTE (GJ_LI_FORTE)

7.4 CORELATION ENTRE LES TYPES ET LES VARIABLES EXOGENES

7.4.1 SELECTION DES VARIABLES EXOGENES PAR ANOVA

Les analyses de variances sont réalisées pour tester la corrélation entre les variables d'inventaires et les variables exogènes environnementales et de pratiques. Par exemple avec la variables d'inventaire "densité de ligneux", on teste le modèle suivant (Equation 3) :

$$\text{densité}_{\text{ligneux}} = a_1 \cdot \text{Pente} + a_2 \cdot \text{Altitude} + a_3 \cdot \text{Âge des girofliers} + \text{etc}$$

Les analyses de variances permettent de sélectionner neuf variables exogènes : la pente, l'altitude, la clarté du sol superficiel (par la *value* du code Munsell), la présence d'éléments grossiers, l'âge des girofliers au début de la production, l'âge des girofliers, la perception de l'humidité par les agriculteurs, la perception de la lumière idéale par les agriculteurs, les pratiques de coupe d'arbres lorsque les girofliers sont grands. Les hypothèses 2 et 3 sont vérifiées⁷. Le Tableau 28 donne les valeurs des p-values des variables exogènes. Les variables dont la p-value est la plus faibles sont les variables exogènes qui expliquent le mieux nos variables d'inventaires.

La densité ligneuse est principalement expliquée par l'altitude : densité faible en bas et densité forte en altitude. La densité ligneuse est également expliquée par la présence d'éléments grossiers (faible présence en densité faible), l'âge des girofliers au début de production (important en densité faible), l'âge des girofliers sur la parcelle (girofliers âgés en densité faible) et l'humidité du sol perçue par l'agriculteur (humidité perçue faible en densité forte). La densité non-ligneuse cultivée est principalement expliquée par l'âge des girofliers sur la parcelle (âge important en densité faible), l'humidité du sol perçue par l'agriculteur (humidité forte en densité faible), la lumière idéale pour les girofliers perçue par l'agriculteur (lumière forte en densité faible). Le nombre d'espèces ligneuses est principalement expliqué par l'âge des girofliers sur la parcelle (âge important si le nombre d'espèces est faible) et la coupe d'arbres quand les girofliers produisent (coupe forte si le nombre d'espèce est faible). Le nombre d'espèces non-ligneuses cultivées est principalement expliqué par la présence d'éléments grossiers (peu nombreux si le nombre d'espèce est faible), l'âge des girofliers sur la parcelle (important si le nombre d'espèces est faible), l'humidité du sol perçue par l'agriculteur (importante si le nombre d'espèces est faible) et la coupe d'arbre quand les girofliers produisent (coupe faibles si le nombre d'espèce est faible). L'âge des girofliers est principalement expliqué par l'âge des girofliers au début de la production (production ancienne si les girofliers sont âgés), la lumière idéale pour les girofliers selon l'agriculteur (importante si les girofliers sont âgés) et la coupe d'arbre quand les girofliers produisent (importante si les girofliers sont âgés).

⁷ Hypothèse 2 : je fais l'hypothèse que les caractéristiques structurales de micro-zones dépendent des caractéristiques pédologiques et topographiques.

Hypothèse 3 : je fais l'hypothèse que les caractéristiques structurales de micro-zones dépendent des pratiques agricoles sur les parcelles et des perceptions des agriculteurs concernant les caractéristiques du sol et les besoins des girofliers.

TABLEAU 28 : VALEUR DES P-VALUE DES ANOVAS ENTRE VARIABLES EXPLICATIVES DE TYPES ET VARIABLES EXOGENES, ET SENS DE LA RELATION : CROISSANTE (C) OU DECROISSANTE (D)

p (H ₀) ou p-value	Densité		Nombre d'espèces		Âge des girofliers
	Ligneuse	Non-ligneuse cultivée	Ligneuse	Non-ligneuse cultivée	
Pente	0,39	0,56	0,25	0,70	0,73
Altitude	0,015 C	0,16	0,24	0,50	0,27
Clarté sols superficiels (Value)	0,82	0,17	0,36	0,22	0,49
Présence d'éléments grossiers	0,018 C	0,07	0,30	0,065 C	0,12
Age des girofliers au début de la production	0,024 D	0,11	0,87	0,35	0,00092 C
Age des girofliers sur la parcelle	0,000070 D	0,012 D	0,000030 D	0,0000041 D	/
Humidité du sol perçue par l'agriculteur	0,0016 D	0,00010 D	0,74	0,039 D	0,080
Lumière idéale pour les girofliers selon l'agriculteur	0,21	0,050 D	0,85	0,27	0,0037 C
Coupe d'arbre quand les girofliers produisent	0,63	0,16	0,0020 D	0,057 C	0,00013 C

7.5 SCHEMA RESUME

La Figure 28 résume les résultats obtenus dans cette étude. Il y a quatre types de systèmes agroforestiers : **Girofliers Très Âgés**, **Girofliers Âgés**, **Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne** et **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte**. Ces quatre types sont déterminés par cinq variables d'inventaire : la densité ligneuse, la densité non-ligneuse cultivée, le nombre d'espèces ligneuses, le nombre d'espèces non-ligneuses cultivées et l'âge des girofliers. Ces variables expliquent 78% de l'hétérogénéité entre les micro-zones. Ces cinq variables d'inventaires sont expliquées par sept variables exogènes : l'altitude, la présence d'éléments grossiers, l'âge des girofliers au début de la production, l'âge des girofliers, l'humidité du sol perçue par les agriculteurs, la lumière idéale pour les girofliers selon les agriculteurs et la coupe d'arbres quand les girofliers produisent.

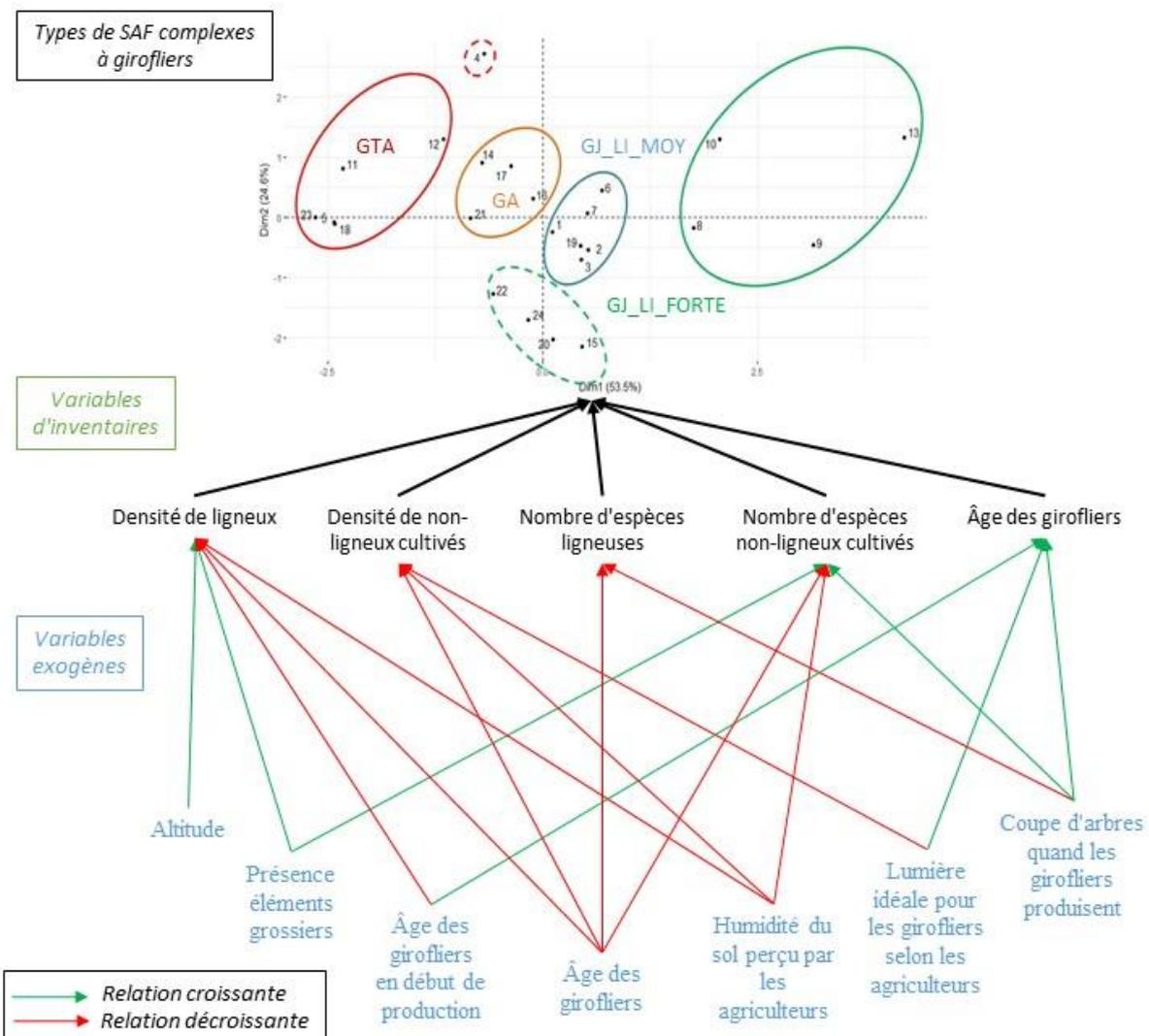


FIGURE 28 : RELATIONS ENTRE LES VARIABLES EXOGENES, LES VARIABLES D'INVENTAIRES ET LES TYPES DE SAF COMPLEXES A GIROFLIER

8 DISCUSSION

8.1 DISCUSSION DES RESULTATS

8.1.1 DESCRIPTION DES TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS

Les types de SAF complexes à girofliers dépendent principalement de cinq variables : la densité ligneuse, la densité non-ligneuse cultivée, le nombre d'espèces ligneuses, le nombre d'espèces non-ligneuses cultivées et l'âge des girofliers. Il n'est pas étonnant d'obtenir ces variables. En effet, elles sont assez indépendantes les unes des autres et donnent un aperçu pertinent des espèces présentes sur les parcelles. La densité est utilisée par exemple pour réaliser une typologie de systèmes agroforestiers de cacao par Somarriba (Somarriba et al., 2013). Sont utilisées la densité de cacaoyers, la densité de fruitiers, la densité de palmiers, la densité de bananiers et la densité totale (Somarriba et al., 2013). Le nombre d'individus est une variable pertinente pour réaliser une typologie de SAF de cacao au Cameroun (Jiofack, 2013). Cependant on peut s'étonner de l'absence d'autres variables relatives aux girofliers comme par exemple la surface terrière des girofliers ou le nombre de girofliers. La surface terrière de girofliers est corrélée à l'âge des girofliers. Le nombre de girofliers supérieurs au diamètre de précomptage explique très peu nos axes. Il est également indépendant des autres variables d'inventaire. Le nombre de girofliers apparaît cependant dans d'autres typologies de parcelles agricoles de girofliers (Arimalala et al., 2018). À l'inverse, dans cette publication, le nombre d'espèce ligneuses et non-ligneuses n'est pas explicatif des types.

Les types de SAF de Vohibary **Girofliers Très Âgés** et **Girofliers Âgés** possèdent peu de ligneux. Le type **Girofliers Très Âgés** possède des girofliers sans autres ligneux. Le type **Girofliers Âgés (GA)** possède du café, des bananiers (considérés comme ligneux) et du *ranonmainty* (*Litsea glutinosa* (Lour.)). On peut rapprocher ces types de SAF au type « Monoculture » (Arimalala et al., 2018). Dans cette catégorie, le nombre d'espèces ligneuses est également très faible. On y retrouve le café. À l'inverse, le type « monoculture » ne possède pas d'espèces non-ligneuse cultivée. Le type **Girofliers Très Âgés** possède des ananas et du manioc (de diamètres inférieurs à 3 cm) et le type **Girofliers Âgés** possède de la vanille de l'ananas et du manioc (de diamètres inférieurs à 3 cm). Le type « monoculture » ne possède pas d'espèces non-ligneuses cultivées.

La catégorie « *Woodland* » est constituée de girofliers en association avec des espèces non-ligneuses cultivées (Arimalala et al., 2018). Les espèces non-ligneuses cultivées sont la canne à sucre, le maïs, le riz pluvial, les bananiers et le manioc. Les espèces ligneuses cultivées sont le café, le jacquier, l'arbre à pain, le litchi et le ramboutan. La catégorie « *Woodland* » est assez différente en composition d'espèces de la catégorie **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)** qui ne possède pas de canne à sucre, de maïs, de riz pluvial, d'arbre à pain, de ramboutan. Le type de SAF **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)** possède bien des bananes, du manioc, du café, du jacquier et du litchi. Le type **Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)** possède également des espèces qui ne sont présentes pour le type « *Woodland* » comme les bananes plantains, le *ranonmainty*, le *Gliricidia sepium* et *Albizia lebbek*.

Le type « SAF complexe » d'Arimalala est assez distincte de nos quatre types de SAF. La majorité des espèces ligneuses ou non-ligneuses cultivées présentées dans la typologie d'Arimalala n'est pas retrouvée dans nos quatre types de SAF complexe (Tableau 29). De plus, de nombreuses espèces ne sont pas retrouvées dans la typologie d'Arimalala : *Ananas comosus*, *Manihot esculenta*, *Dioscorea alata*, *Colocasia esculenta*, *Saccharum officinarum* et *Ipomoea batatas*. Deux ligneux non-fruitiers sont absents : *Intsia bijuga*, *Desmodium* sp. et *Albizia chinensis*. Enfin,

on peut s'étonner de l'absence de certaines espèces fruitières dans l'inventaire de la présente étude: *Annona muricata*, *Annona reticulata* et *Annona squamosa*. La présence de ces fruitiers de genre *Annona* dans le village est vérifiée, mais pas sur les micro-zones inventoriées. Seules les micro-zones de SAF complexe dont le giroflier est l'essence principale sont inventoriées. Peut-être que les agriculteurs évitent volontairement d'associer des girofliers et les fruitiers du genre *Annona*. Deux hypothèses peuvent expliquer cette pratique : 1) pour éviter de choisir entre la coupe du fruitier et le sacrifice d'une forte production de clous de girofle. 2) les sols dit fertiles (*lonaka*) sont laissés aux fruitiers et à la vanille, les girofliers sont principalement sur les sols pauvres. Ces deux hypothèses n'expliquent pas pourquoi ce raisonnement ne s'applique pas à toutes les autres espèces fruitières. Cette absence du genre *Annona* ne pourrait être expliquée par la distance entre les zones d'étude. Moins de 50 km les séparent, or les connaissances et pratiques de cultures de girofliers s'étendent sur les 1 400 km de la côte Est malagasy. Peut-être que le territoire de Vohibary est trop petit et trop homogène pour exprimer une grande diversité de pratiques. L'étude des systèmes agroforestiers complexes dans différents village permettrait d'observer la présence de fruitiers ou non sur les micro-zones. Des questions ciblées sur les pratiques permettraient de comprendre la présence du genre *Annona* et de caractériser ou non les causes de cette différence de présence d'espèce.

TABLEAU 29 : PRESENCES D'ESPECES DU TYPE « SAF COMPLEXE » (ARIMALALA ET AL., 2018) EN COMAPRAISON AVEC NOS TYPES

Espèce de la catégorie SAF complexe d'Arimalala	Girofliers très âgés	Girofliers âgés	Girofliers jeunes densité ligneuse moyenne	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte
<i>Vanilla planifolia</i> (Andrews)	Non	Oui	Oui	Oui
<i>Musa paradisiaca</i> (L.)	Non	Oui	Oui	Oui
<i>Annona muricata</i> (L.)(corrosolier)	Non	Non	Non	Non
<i>Annona reticulata</i> (L.)(corossolier réticulé)	Non	Non	Non	Non
<i>Annona squamosa</i> (L.) (pommier cannelle)	Non	Non	Non	Non
<i>Coffea arabica</i> (L.)	Non	Oui	Oui	Oui
<i>Harungana madagascariensis</i> (Lam.)	Non	Oui	Non	Non
<i>Intsia bijuga</i> (Colebr.)	Non	Non	Non	Non
<i>Desmodium</i> sp.	Non	Non	Non	Non
<i>Albizia chinensis</i> (Osbeck)	Non	Non	Non	Non

8.1.2 CORRELATION TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS ET VARIABLES EXOGENES

Selon les résultats, la densité des ligneux augmente avec l'altitude. On peut supposer que l'altitude est corrélée à d'autres variables: les micro-zones les plus basses sont plus ombragées, plus riches en matières organique et plus faciles d'accès que les micro-zones les plus hautes. Peut-être que l'on retrouve une plus grande densité ligneuse en altitude pour réaliser de l'ombre et améliorer la fertilité du sol. Peut-être que les ligneux sont coupés des micro-zones les plus basses pour laisser de la lumière aux plante ou pour laisser la place à d'autres cultures.

Selon les résultats, la densité de ligneux et le nombre d'espèce de non-ligneux cultivés augmentent avec de la présence d'éléments grossiers du sol. La forte présence d'éléments grossiers réduit l'accès des racines à l'eau et aux nutriments. Les espèces ligneuses et non-ligneuses ne semblent pas souffrir du manque d'eau ou de nutriments. De plus la forte présence d'éléments grossiers favorise l'infiltration de l'eau (Albergel *et al.*, 1986). Peut-être que mes espèces ligneuses et non-ligneuses profitent de cette infiltration de l'eau qui leur est nécessaire. On peut s'étonner que la

densité non-ligneuse cultivée ou le nombre d'espèce ligneux ne dépendent pas de la présence d'éléments grossiers.

Selon les résultats, la densité de ligneux diminue avec l'âge des girofliers et l'âge des girofliers au début de la production. De même, le nombre d'espèces ligneuses diminue avec l'âge des girofliers et avec la coupe de ligneux. Nous avons vu lors des enquêtes que les agriculteurs coupent les arbres qui font de l'ombrage sur les girofliers productifs ce qui peut expliquer ce résultat. Nous avons vu que la coupe d'arbre se fait progressivement dans le temps. Selon les résultats, la densité de non-ligneux cultivés et le nombre d'espèces de non-ligneux cultivés diminuent avec l'âge des girofliers. Cela peut s'expliquer par une pratique du désherbage presque systématique lorsque les girofliers produisent. Cette pratique du désherbage est réalisée dans le but d'augmenter la chaleur (*mafana*) au pied des girofliers. Cette méthode de désherbage se retrouve avec les agriculteurs en SAF de cacao au Cameroun. Lorsque les cacaoyers commencent à produire, le désherbage est presque systématique (Seghieri & Harmand, 2019).

Selon les résultats, la densité de ligneux diminue avec l'humidité perçue par les agriculteurs. On peut expliquer cela par le fait que les agriculteurs qui perçoivent le sol de leur parcelle comme sec, auront tendance à y laisser les arbres pour en conserver l'humidité. À l'inverse, les agriculteurs qui perçoivent le sol de leur parcelle comme humide, auront moins de réticence couper les arbres. Ce résultat se retrouve dans plusieurs régions comme par exemple au nord-ouest de l'Ouzbékistan (Kan et al., 2008) aux Philippines (Lasco et al., 2016) et à Madagascar vers le lac Alaotra (Penot et al., 2018).

Selon nos résultats, la densité de non-ligneux cultivés et le nombre d'espèces non-ligneuses cultivées diminuent avec l'humidité perçue par les agriculteurs. On peut expliquer ce résultat par la volonté des agriculteurs de vouloir conserver des espèces non-ligneuses cultivées quand les sols sont perçus comme trop sec et trop lumineux. Ce résultat se retrouve par exemple en Inde (Halbrendt *et al.*, 2014). On peut probablement expliquer ce résultat de manière inverse : les agriculteurs qui ont l'habitude de beaucoup désherber observent que leur sol est sec et lumineux.

L'âge des girofliers est une variable qui explique les types de SAF complexes à girofliers. Selon les analyses statistiques, l'âge des girofliers augmente avec l'âge de début de production, augmente avec la lumière idéale perçue par l'agriculteur et augmente avec l'importance des coupes de branches de girofliers. Ces résultats statistiques sont difficilement interprétables. L'âge des girofliers peut être expliqué par des variables qui n'ont pas été renseignées dans la présente étude. Par exemple, planter des girofliers peut dépendre des revenus de l'agriculteur, de la durée depuis l'acquisition de la parcelle, de la date des épidémies d'*andreta*⁸, de la date des cyclones. Une étude a été réalisée sur les causes des plantations de girofliers sur trois territoires de la région Analanjirofo.

Les plantations de girofliers dépendent des connaissances obtenues par les agriculteurs, du cours du clou de girofle et du café, de la présence de régénération naturelle et des politiques malagasy d'exportation (Leydet *et al.*, 2016).

8.1.3 PERCEPTION DE LA RELATION MILIEU-GIROFLIERS

Les girofliers se contentent de sols pauvres en matière organique. Les agriculteurs citent la phrase « le giroflier ne choisit pas son sol. ». Ce résultat est confirmé par Leroy (Leroy, 1946). Les agriculteurs laissent les sols riches aux cultures qui ont un grand besoin de fertilité telles que les fruitiers et la vanille. Ce résultat est confirmé par François (François, 1936).

Les agriculteurs offrent beaucoup de lumière aux girofliers productifs pour augmenter la production de clous. En effet, selon les agriculteurs, un fort apport de lumière, augmente la production de boutons floraux. Ce résultat est confirmé par Wahid qui affirme que l'apport de

⁸ Chenille (*Chrysotipys mabilianum*) vivant sous l'écorce des girofliers

lumière a un effet sur le rendement en clous de girofles (Wahid *et al.*, 1995). Pour les girofliers qui ne sont pas productifs, les agriculteurs protègent les girofliers de la lumière du soleil pour éviter qu'ils ne meurent. Sans fermeture de stomates, l'évapotranspiration est fatale pour les jeunes girofliers qui n'ont pas de réseau racinaire très développé (Nutman & Roberts, 1953). À l'inverse, les girofliers productifs possèdent un fort réseau racinaire, leur permettant de puiser beaucoup d'eau. La différence entre le besoin d'ombre des girofliers non-productifs et l'adaptation aux fortes lumières quand les girofliers sont âgés peut être expliquée d'une autre manière : par la forme des houppiers. Un jeune giroflier possède peu de feuilles et toutes sont au soleil. Toutes les feuilles du jeune giroflier transpirent beaucoup. En vieillissant le houppier change de forme, la majorité des feuilles sont à l'ombres, protégées du soleil par les autres feuilles. Même en plein soleil, une minorité de feuille transpire beaucoup.

Les perceptions de l'environnement se font selon les indicateurs des agriculteurs de Vohibary et selon l'importance de ces indicateurs. Par exemple, le sol s'effrite un peu, moyennement ou beaucoup. Ce résultat est confirmé par Rahman et par Odendo, qui ajoutent que , les connaissances que les agriculteurs ont de l'environnement se limitent aux connaissances perceptibles et perçues sur le terrain (Rahman, 2003). Par exemple la diminution de la production, la vitesse de pousse des plantes, la présence de plantes indicatrices, la couleur du sol (Rahman, 2003 ; Odendo *et al.*, 2010). Rahman ajoute que les agriculteurs qui ont des connaissances au-delà de la perception sont ceux ayant des revenus *off-farm* et ceux qui vivent dans les zones les plus développées (Rahman, 2003). La perception de l'environnement par les agriculteurs semble assez manichéenne : l'environnement est soit bon pour les cultures, soit il est mauvais. L'environnement est jugé selon ses conséquences sur les cultures présentes. Cela peut s'expliquer par l'importance que présente la parcelle pour subvenir aux besoins de l'agriculteur et par rapport à ses objectifs agricoles. Ce résultat est cohérent avec les résultats de Rahman et Odendo selon lesquels la perception de l'environnement dépend des objectifs atteints et des objectifs non-atteints (Rahman, 2003 ; Odendo *et al.*, 2010). Les agriculteurs de Vohibary ne décrivent pas de changement environnemental. Ce résultat s'oppose à celui d'Orchad qui décrit le lien entre les perceptions des agriculteurs et les changements environnementaux. Les agriculteurs perçoivent différemment de changements environnementaux extrêmes, les perceptions de changements modérés, les changements récents et les changements anciens (Orchard *et al.*, 2017).

Les arbres des SAF de Vohibary sont conservés pour leur production de fruits, pour leur apport de fertilité, leur apport d'eau et de bois. Ces résultats sont communs à de nombreux systèmes agricoles dans de nombreux pays. Par exemple, en Afrique de l'est et du sud, les arbres des SAF sont principalement utilisés pour les fruits comme la mangue (*Mangifera indica* (L.)) et les avocats (*Persea americana* (Mill)) (Pilling *et al.*, 2019). Les arbres augmentent la fertilité du sol avec le *Faidherbia albida* (A.Chev) (Pilling *et al.*, 2019). La fertilité du sols est améliorée par l'ajout de matière organique à la litière via la chute des feuilles, des fruits et des fleurs, l'augmentation de la biomasse racinaire, l'augmentation de l'activité biologique (dont des fixateurs d'azote biologique) (Ajayi *et al.*, 2011). Les espèces légumineuses (ligneuses ou non) facilitent l'accès à l'azote mais concurrencent les cacaoyers (*Theobroma cacao* (L.)) pour l'accès au phosphore et potassium jusqu'à en réduire le rendement (Lehmann *et al.*, 1999). Certains arbres de SAF peuvent réduire la perte d'eau. Par exemple, en Chine le jujubier (*Choerospondias axillaris*) et la cacahuète (*Arachis hypogaea* (L.)) réduisent la compétition pour l'eau (Zhao *et al.*, 2012). Au Costa Rica, l'*Inga densiflora* (Benth) est une plante d'ombrage du café qui est également utilisée pour réduire la perte d'eau par infiltration (Cannavo *et al.*, 2011). De nombreux arbres sont utilisés pour leur production de bois : on peut citer par exemple le *Grevillea robusta* (A.Cunn.) et l'Eucalyptus (*Corymbia spp.*). Le charbon de bois est réalisé avec des acacias (*Acacia spp.*) (Pilling *et al.*, 2019)..

Les agriculteurs de Vohibary ont recours à la coupe d'arbres pour réduire l'ombre et augmenter le rendement en clous de girofles. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Wahid (Wahid *et al.*, 1995). Cette augmentation du rendement s'explique par un plus grand accès à la lumière et par la réduction de la concurrence pour l'eau et les nutriments. Cette situation de concurrence pour les nutriments est fréquente. Pour une même surface, il est rare que le ligneux et non-ligneux d'une parcelle agroforestière produisent autant que si les individus avaient été seuls (Cannell *et al.*, 1996).

Comment les agriculteurs arbitrent entre deux choix opposés : conserver les arbres pour pouvoir bénéficier des avantages qu'ils offrent ou bien couper les arbres pour augmenter la production de clous ? Les agriculteurs de Vohibary commencent à couper les arbres au moment de la production de clous. Cependant, tous les arbres ne sont pas coupés en même temps. Cela signifie que les avantages fournis par les arbres sont encore nécessaires pour les agriculteurs. Cette préoccupation des agriculteurs pour la concurrence entre culture génératrices de revenu et les autres espèces est commune à d'autres cultures, dans d'autres pays. Par exemple en Thaïlande et en Indonésie, les hévéas ne souffrent pas de la concurrence des arbres fruitiers. Les agriculteurs en bénéficient (Penot & Oliver, 2009). Au Brésil et en Chine, les caféiers sous ombrages d'hévéas souffrent de la concurrence trop forte en lumière. Le cacao également souffre de la concurrence de l'hévéa (Penot & Oliver, 2009). Les agriculteurs doivent s'adapter à cette situation.

À Vohibary, l'ordre des arbres coupés se fait dans l'ordre d'importance croissante. Couper un arbre qui pousse vite n'est pas grave, par exemple les bananiers. Couper un arbre potentiellement dangereux n'est pas grave, par exemple les eucalyptus qui risquent de tomber sur les girofliers. Certains arbres ne sont coupés qu'en dernier recours : les fruitiers, et les arbres reçus comme héritage de leurs parents. Ne pas couper les arbres est un choix fait par chaque agriculteur. Les arbres sont conservés pour améliorer la production agricole, pour l'utilité de l'arbre pour les hommes, pour éviter la pénibilité d'abattage, par indifférence. Ce résultat est comparable chez les Ntumu du Cameroun chez qui il existe ces quatre raisons de conserver un arbre (Carrière, 1999). Chez les Ntumu des interdictions extérieures peuvent empêcher la coupe d'un arbre. Cet interdit n'existe pas chez les villageois de Vohibary. À Vohibary, il n'y a pas non-plus d'interdit extérieur familial, contrairement aux systèmes agricoles à l'ouest de Sumatra (Michon *et al.*, 1983). Il n'y a pas non plus d'arbres considérés comme bien commun villageois pour l'ombrage comme au Botswana (Wagner, 1970).

Les branches des girofliers sont taillées pour fabriquer de l'huile essentielle de giroflier avec les feuilles. Cette taille répond à un besoin inattendu d'argent. À Vohibary, c'est souvent pour financer les frais de santé ou d'éducation. Ce n'est pas le cas pour tous les agriculteurs de Madagascar. La dépendance financière à l'huile essentielle dépend de la richesse des agriculteurs. La quantité d'essence produite dépend des besoin d'argent (Tirel *et al.*, 2015). De plus, un malagasy originaire de Mananara plus au nord, capitale de la vanille, m'a affirmé que les agriculteurs producteurs de girofliers et de vanilles sont plus riches que ceux de Vohibary. Ces agriculteurs, en cas de besoin d'argent (frais scolaires, frais médicaux), ont des réserves et n'ont pas besoin de couper les branches des girofliers pour les mettre à l'alambic.

8.1.4 DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE

Les sols superficiels du village de Vohibary sont riches en matière organique. Cette richesse s'explique par un horizon composé de matière organique en décomposition. Ce résultat confirme l'étude pédologique du territoire villageois réalisé par (Dandoy, 1973).

Les parcelles sont très pentues positionnées sur la ligne de crête entourant le village. Cette forme est un cirque d'érosion et s'explique par l'affaissement de la plaine d'Izafo qui a entraîné

l'érosion de la plaine jusqu'aux hauteurs par les cours d'eau. Ce phénomène s'arrêtera lorsque le cours d'eau aura atteint son profil d'équilibre théorique. Ce résultat confirme l'étude du territoire villageois réalisée par (Dandoy, 1973).

8.1.5 RELATION AGE DIAMETRE

Le Tableau 30 et la Figure 29 illustrent les différentes équations de l'âge des girofliers (en années) en fonction du diamètre à 1,3 m (en cm). Les coefficients de variations sont proches. Les résultats sont également proches : par exemple le giroflier le plus large de notre étude mesure 90 cm de diamètre. La présente étude estime son âge à 214 ans, Arimalala calculé avec les cernes à 180 ans et Arimalala calculée par enquêtes à 198 ans. Le diamètre moyen mesuré est de 15 cm. L'âge estimé par la présente étude est de 35 ans, l'âge obtenu par Arimalala selon les cernes est de 34 ans, l'âge obtenu par Arimalala selon les enquêtes est de 31 ans (Tableau 31). L'équation de la présente étude est réalisée avec des diamètres allant de 4,4 à 30,2 cm. Les autres équations sont obtenues avec des diamètres de 20,5 à 31,8 cm (Arimalala *et al.*, 2018).

TABLEAU 30 : COMPARAISON DES EQUATION AGE-DIAMETRE

Equation de l'âge des girofliers (en année) en fonction du diamètre (en cm)	Coefficient de détermination	Source	Méthode d'obtention de l'âge
$\hat{age} = 2,2325 \times diam - 2,5099$	$R^2 = 0,6908$	La présente étude	Enquêtes
$\hat{age} = 1,9539 \cdot diam + 4,3109$	$R^2 = 0,9668$	(Arimalala <i>et al.</i> , 2018)	Enquêtes
$\hat{age} = 2,3806 \times diam - 0,2743$	$R^2 = 0,9949$	(Arimalala <i>et al.</i> , 2018)	Mesure de cernes

TABLEAU 31 : COMPARAISON DES ESTIMATIONS AGE-DIAMETRE

Source	Méthode d'obtention de l'âge	Age pour un diamètre de 15cm	Age pour un diamètre de 90 cm
La présente étude	Enquêtes	35 ans	214 ans
(Arimalala <i>et al.</i> , 2018)	Enquêtes	31 ans (+14%)	198 ans (+8%)
(Arimalala <i>et al.</i> , 2018)	Mesure de cernes	34 ans (+5%)	180 ans (+19%)

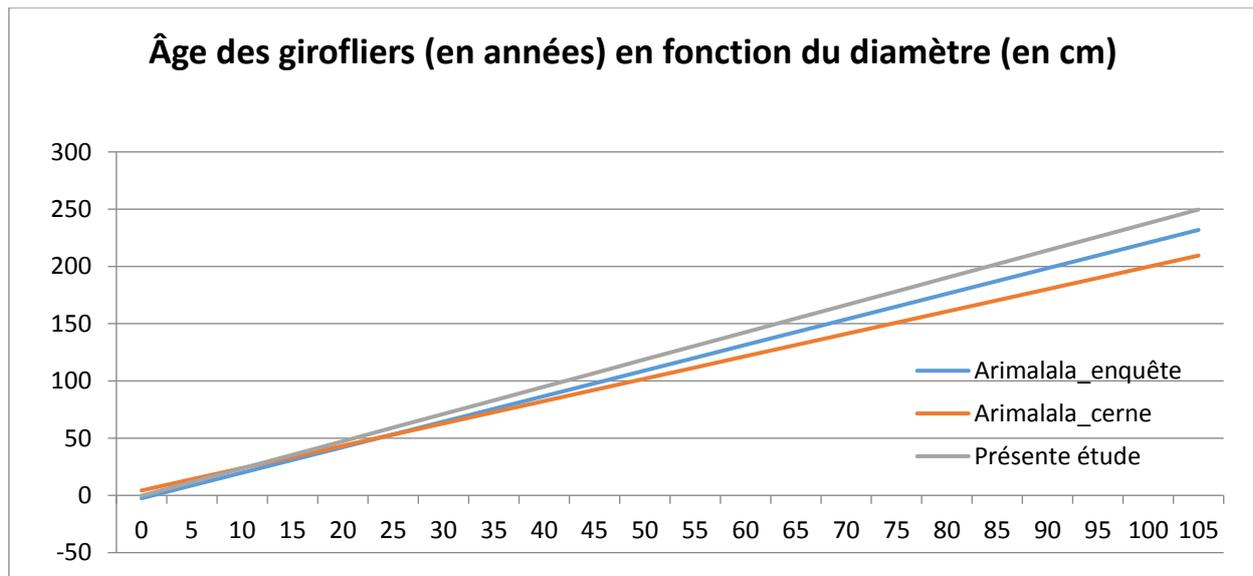


FIGURE 29 : COMPARAISON DES REGRESSIONS LINEAIRES AGE-DIAMETRE

8.2 ANALYSE CRITIQUE ET PERSPECTIVE

8.2.1 INVENTAIRES

La traduction en noms scientifiques des noms des plantes vernaculaires est une limite de nos variables d'inventaires. Plusieurs espèces peuvent avoir le même nom vernaculaire, et plusieurs noms vernaculaires peuvent décrire la même espèce. C'est le cas des noms vernaculaires différents pour les différentes variétés de bananes. Pour pallier ce problème il aurait fallu récolter des échantillons d'herbier pour chaque individu de chaque espèce ou au moins pour chaque espèce. Les échantillons auraient été identifiés à l'université de Tananarive à Madagascar ou au Cirad de Montpellier.

Les types de SAF complexes à girofliers sont décrits selon des variables d'inventaires. Les associations d'espèces ne sont pas centrales. Pour étudier des associations, des matrices de distance ont été réalisées. Ces matrices sont réalisées par la distance euclidienne du nombre d'individus par espèce entre les quadrats. Une analyse en coordonnées principale (PCoA) a été réalisée dans l'espoir d'obtenir des types distincts. Les variables causant ces types auraient été déterminées par la suite. Cependant les résultats de cette méthode n'ont pas permis de distinguer des types. Et les variables causant les types ne se démarquent pas - ni l'âge des girofliers, ni l'orientation - (Annexe 25).

8.2.2 ENTRETIENS

Les informations tirées d'entretiens sur les perceptions révèlent des pratiques et des connaissances homogènes. J'ai le sentiment de ne pas avoir obtenu suffisamment de détails pour ces informations.

On peut imaginer que la méthode a entraîné un manque de confiance vis-à-vis des cultivateurs. Par exemple, plusieurs personnes m'ont demandé si mon matériel de pédologie permettait de chercher de l'or dans leurs parcelles. Un autre exemple illustre une certaine suspicion : les trois agriculteurs ayant refusé de continuer à répondre à nos enquêtes disaient craindre que je leur vole des clous de girofle et des gousses de vanille. De plus, les dernières enquêtes ont été réalisées au début de la

récolte du riz. Les agriculteurs étaient pressés de partir travailler sur leurs parcelles. Les réponses issues de ces entretiens sont moins approfondies. Les réponses des entretiens étaient sobres. Cela peut s'expliquer par l'importance que certains malagasy accordent à la prise de parole. Cette idée est illustrée par de nombreux proverbes malagasy (Hervouet, 2016) : 1) Couper la parole, c'est ôter la vie 2) La bouche que l'on ne surveille pas amène le malheur 3) Les poules ne chantent pas à la place des coqs. Ce dernier proverbe décrit le sentiment que certains malagasy peuvent ressentir lorsqu'ils ne se sentent pas légitimes de parler. D'ailleurs, dans les discours traditionnels de prise de parole, les orateurs s'excusent d'oser prendre la parole.

Une autre raison peut expliquer l'absence de discussions approfondies sur les pratiques : l'impolitesse de la précision, car à Madagascar, répondre de manière imprécise est un signe de politesse (Hervouet, 2016). Cette idée se retrouve dans ce texte : « Formuler sa pensée avec précision, répondre par oui ou par non à une question, est confusément perçu comme une agression, une affirmation de soi démesurée, une ingérence inopportune dans la pensée d'autrui. Donc, on se tient à distance de toute prise de position, surtout catégorique. Le respect de l'autre atteint des proportions inouïes. La conséquence est qu'il arrive de parler longuement avec quelqu'un, de l'écouter avec attention, de recueillir ses avis et de se retrouver à la fin de l'échange dans l'incapacité de déterminer quelle est sa position, ni même s'il en a une » (Alexandre, 2007). Cette impolitesse de la précision peut expliquer que certaines réponses restent évasives malgré mes efforts (toujours polis) pour obtenir des informations précises. Pour pallier ce problème, l'observation participante peut être une solution. Passer plus de temps avec les habitants, apprendre leur langue, partager leurs pratiques permettrait à l'étude de réellement connaître et comprendre les perceptions et pratiques.

En plus de cette impolitesse de l'imprécision il existe aussi l'impolitesse de la contradiction. Cette idée est illustrée par de nombreux proverbes malagasy: 1) « L'un n'aime pas le chaud, l'autre n'aime pas le froid, faites tiède pour qu'il y ait accord ». 2) « Attention, les grands arbres attirent les rafales du vent ». 3) « Je suis d'accord pour avoir la paix » (Hervouet, 2016). Cette impolitesse de la contradiction permet de montrer une limite de la méthode des *focus groups*. Lors des *focus groups*, les personnes plus âgées commençaient à répondre aux questions et les autres agriculteurs présents confirmaient. Ils pouvaient ne pas être d'accord, mais ne l'exprimaient pas.

Lors des entretiens et lors discussions informelles, les limites décrites ci-dessus ont été ressenties. En logeant sur place, j'avais d'ailleurs une confiance forte auprès des villageois et une confiance très forte auprès des membres de la famille qui m'hébergeaient. Auprès de ces personnes la parole se libérait. Des entretiens plus poussés auraient pu être réalisés auprès des personnes « à la parole libérée ». Commencer par ces entretiens aurait permis de comprendre des subtilités et de les vérifier auprès des autres agriculteurs. Loger au cœur de Vohibary, chez un cultivateur de girofliers a permis de réaliser des observations participantes. Si j'avais logé sur place durant un cycle complet ou au moins durant la récolte des clous, j'aurais certainement recueillis beaucoup plus d'informations. Peut-être aurait-il été possible d'obtenir la confiance de plusieurs agriculteurs en logeant chez plusieurs agriculteurs.

La méthode d'échantillonnage selon l'âge des girofliers permet de voir la variation des systèmes agroforestiers au cours de la vie d'un giroflier et d'une parcelle. À dire d'acteur, les pratiques ont pour objectif de fournir une variation de lumière aux girofliers (réglage de l'ombrage) selon leur âge. Un échantillonnage selon la lumière disponible pour les girofliers aurait permis d'avoir également de bons résultats. Des mesures plus précises de luminosité auraient également permis de faire ressortir une variable cohérente avec les perceptions des agriculteurs : la lumière.

Une étude basée sur différents villages aurait permis d'étudier une plus grande hétérogénéité de parcelles, de sols, de pratiques et d'inventaires. Ainsi les types de SAF complexes à girofliers seraient plus représentatifs de la diversité des types existants. Les villages auraient pu être choisis en zone côtière, en plaine et en zone de moyenne montagne.

Une expertise plus poussée en statistiques aurait permis d'avoir des analyses plus rapidement, de meilleures qualités et plus poussées.

9 CONCLUSION

L'inventaire et l'étude des parcelles a permis d'observer un ensemble de variables et de calculer des indices. Cinq de ces variables sont pertinentes pour réaliser des types de systèmes agroforestiers : la densité d'espèces ligneuses et d'espèces non-ligneuses cultivées, l'âge des girofliers, le nombre d'espèces ligneuses et non-ligneuses cultivée. Ces variables permettent de déterminer quatre types de SAF complexes à girofliers. Ces types se répartissent sur un gradient d'âge des girofliers qui correspond également à la densité de ligneux. Cette observation est cohérente avec les pratiques exprimées par les agriculteurs de couper les arbres pour offrir plus de lumière aux girofliers âgés. Ces types sont expliqués par des variables exogènes : l'altitude, la présence d'éléments grossiers dans le sol, l'âge des girofliers au début de la production de clous, La perception que les agriculteurs ont de l'humidité du de leur micro-zone, la perception que les agriculteurs ont de la lumière idéale sur leur micro-zone, la pratique de la coupe d'arbres lorsque les girofliers produisent et l'âge des girofliers.

Cette étude répond à la question posée car les différents types de structures de systèmes agroforestiers complexes de girofliers sont déterminés et caractérisés. De plus les facteurs contribuant à ces différentes structures sont définis. Les hypothèses sont vérifiées : il existe différents types de micro-zone qui sont distinguées par leurs caractéristiques structurales (hypothèse 1). Les caractéristiques structurales dépendent de l'environnement (Hypothèses 2) et des pratiques (Hypothèses 3). Cette étude comble le manque de connaissance par sa typologie réalisée à l'échelle de la micro-zone, réalisée avec des girofliers de moins de 10 ans et basée sur la structure des espèces. Par la réalisation de la typologie de systèmes agroforestiers, cette étude contribue au projet SoLDivA dont l'objectif final est de développer des approches transdisciplinaires entre les agriculteurs, les preneurs de décisions politiques et les chercheurs pour accompagner une transition agricole favorisant la biodiversité. La suite de ce travail est de tester la relation entre les types de systèmes agroforestiers complexes à girofliers, les connaissances des agriculteurs dans les pratiques agroforestières et l'origine de ces connaissances.

10 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abebe T., Wiersum K.F., & Bongers F. 2010. Spatial and temporal variation in crop diversity in agroforestry homegardens of southern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 78(3), p. 309- 322.
- Abrams P.A. 1995. Implications of dynamically variable traits for identifying, classifying, and measuring direct and indirect effects in ecological communities. *The American Naturalist*. 146(1), p. 112- 134.
- Ajayi O.C., Place F., Akinnifesi F.K., & Sileshi G.W. 2011. Agricultural success from Africa: the case of fertilizer tree systems in southern Africa (Malawi, Tanzania, Mozambique, Zambia and Zimbabwe). *International Journal of Agricultural Sustainability*. 9(1), p. 129- 136.
- Albergel J., Ribstein P., & Valentin C. 1986. L'infiltration: quels facteurs explicatifs ? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluie au Burkina Faso. , p. 25- 48.
- Alexandre C. 2007. *Violences malgaches*. Antananarivo : Foi et Justice
- Arimalala N., Penot E., Michels T., Rakotoarimanana V., Michel I., Ravaomanalina H., Roger E., Jahiel M., Leong Pock Tsy J.-M., & Danthu P. 2018. Clove based cropping systems on the east coast of Madagascar: how history leaves its mark on the landscape. *Agroforestry Systems*. 93(4), p. 1577- 1592.
- Barthez A. 1982. Travail, famille et agriculture. *Economica*.
- Boiteau M. & Allorge-Boiteau L. 1997. Index des noms scientifiques avec leurs équivalents malgaches: à partir du " Dictionnaire des noms malgaches de végétaux".
- Bouriquet G. 1954. *Vanillier et la vanille dans le monde*. Paris : , 623- 644 p. (Paul Lechevalier).
- Buck L.E., éd. 1999. *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Boca Raton, Fla : CRC Press [u.a.], 416 p. (Advances in agroecology).
- Cannavo P., Sansoulet J., Harmand J.-M., Siles P., Dreyer E., & Vaast P. 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 140(1- 2), p. 1- 13.
- Cannell M.G.R., Van Noordwijk M., & Ong C.K. 1996. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry systems*. 34(1), p. 27- 31.
- Carrière S. 1999. Les orphelins de la forêt. Influence de l'agriculture itinérante sur brûlis des Ntumu et des pratiques agricoles associées sur la dynamique forestière du sud Cameroun. *Université de Montpellier*. , p. 448.
- Chambers J.M. 1998. *Programming with data: A guide to the S language*. (Springer Science & Business Media).
- Chessel D., Dufour A.B., & Thioulouse J. 2004. The ade4 package-I-One-table methods. *R news*. 4(1), p. 5- 10.

- Clark M. 2012. Deforestation in Madagascar: Consequences of Population Growth and Unsustainable Agriculture Processes. *Global Majority E-Journal*. 3(1), p. 61.
- Clough Y., Barkmann J., Jührbandt J., Kessler M., Wanger T.C., Anshary A., Buchori D., Cicuzza D., Darras K., Putra D.D., Erasmi S., Pitopang R., Schmidt C., Schulze C.H., Seidel D., Steffan-Dewenter I., Stenchly K., Vidal S., Weist M., Wielgoss A.C., & Tscharntke T. 2011. Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108(20), p. 8311- 8316.
- Cocoual M. & Danthu P. 2018. Le giroflier à Madagascar: essai d'histoire et de géographie coloniale 1896-1958. *Revue de Géographie Historique*. 12.
- CRCI. 2010. List of exporters of cloves, Centre de Ressources pour le Commerce International, <http://www.madagascarexport.mg>.
- Dandoy G. 1973. Terroirs et Economies Villageoises de la Région de Vavatenina (Côte Orientale Malgache). *Mouton & Co.*, p. 104.
- Danthu P., Penot E., Karen M.R., Chrysostôme Rakotontranelo, J., Michel I., Tiollier M., & Michels T. 2014. The clove tree of Madagascar: a success story with an unpredictable future. *Bois et forêts des tropiques*. 320(2), p. 83- 96.
- De Lauwe J.-C., Poitevin J., & Tirel J. 1964. Nouvelles gestion des exploitations agricoles.. *Dunod*.
- Dostie B., Haggblade S., & Randriamamonjy J. 2002. Seasonal poverty in Madagascar: magnitude and solutions. *Food Policy*. 27(5- 6), p. 493- 518.
- Dray S. & Dufour A.-B. 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of statistical software*. 22(4), p. 1- 20.
- Ekins P., Simon S., Deutsch L., Folke C., & De Groot R. 2003. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics*. 44(2- 3), p. 165- 185.
- Finzi A.C., Canham C.D., & Van Breemen N. 1998. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications*. 8(2), p. 447- 454.
- Fischer R.A., Corbet A.S., & Williams C.B. 1943. The relation between number of individuals and the number of species in a randoms of animal population. *J. Animal Ecol.* 12, p. 42- 58.
- Fourcin C. 2014. Contribution du giroflier à la sécurité alimentaire des exploitations agricoles dans la région de Fénérive-Est, Madagascar. Modélisation économique et analyse prospective. *Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro.*, p. 56.
- François E. 1936. Giroflier et Girofle. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*. 16(180), p. 589- 608.
- François E. & Ledreux A. 1929. La culture des Caféiers à Madagascar (Suite et fin). *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*. 9(93), p. 314- 321.

- Green G. & Sussman R. 1990. Deforestation History of the Eastern Rain Forests of Madagascar from Satellite Images. *Science*. 248(4952), p. 212- 215.
- Gurr G.M., Wratten S.D., & Luna J.M. 2003. Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*. 4(2), p. 107- 116.
- Halbrendt J., Gray S.A., Crow S., Radovich T., Kimura A.H., & Tamang B.B. 2014. Differences in farmer and expert beliefs and the perceived impacts of conservation agriculture. *Global Environmental Change*. 28, p. 50- 62.
- Harper G.J., Steininger M.K., Tucker C.J., Juhn D., & Hawkins F. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation*. 34(4), p. 325- 333.
- Heck Jr., Kenneth L., Van Belle G., & Simberloff D. 1975. Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology*. 56(6), p. 1456- 1461.
- Hervouet L. 2016. *Comprendre les Malgaches - Essai et récits interculturels*. Riveneuve., 243 p. (Guide interculturel).
- Hurlbert S.H. 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*. 52(4), p. 577- 586.
- Jiofack J. 2013. Agroforestry typology of some cocoa based agroforests in the Mbam and Inoubou division: The importance for local population livelihoods. *Journal of Ecology and The Natural Environment*. 5(12), p. 378- 386.
- Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*. 76(1), p. 1- 10.
- Kan E., Lamers J.P.A., Eshchanov R., & Khamzina A. 2008. Small-scale farmers' perceptions and knowledge of tree intercropping systems in the khorezm region of Uzbekistan. *Forests, Trees and Livelihoods*. 18(4), p. 355- 372.
- Klein J. 2002. Deforestation in the Madagascar highlands—established truth and scientific uncertainty. *GeoJournal*. 56(3), p. 191.
- Lasco R.D., Espaldon M.L.O., & Habito C.M.D. 2016. Smallholder farmers' perceptions of climate change and the roles of trees and agroforestry in climate risk adaptation: evidence from Bohol, Philippines. *Agroforestry Systems*. 90(3), p. 521- 540.
- Lehmann J., Da Silva J.-P., Trujillo L., & Uguen K. 1999. Legume cover crops and nutrient cycling in tropical fruit tree production. *SHS Conference on Fruit Production in the Tropics and Subtropics*. 531, p. 65- 72.
- Leroy J.-F. 1946. Le Giroflier et les Plantes à parfums. *Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*. 26(286), p. 425- 429.
- Leydet C., Penot E., Danthu P., & Michel I. 2016. Dynamique de la plantation et des peuplements de girofliers des territoires villageois de Fénériver—Cas de la Commune d'Ambatoharanana (Madagascar) Partie 1: analyse cartographique. , p. 43.

- Locatelli B. 2000. Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar). *Thèse de doctorat. ENGREF (AgroParisTech)*. 1(1), p. 442.
- Loeillet D. 2003. Le marché international de la vanille: le prix comme handicap majeur. *Fruitrop (Ed. Française)*. (98), p. 4- 7.
- Maistre J. 1955. Le giroflier à Madagascar et Zanzibar. *Agronomie tropicale*. 10(4), p. 414- 448.
- Maistre J. 1964. *Les plantes à épices : techniques agricoles et productions tropicales*. (Maisonneuve & Larose).
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., Tourdonnet S., & Valantin-Morison M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(1), p. 43- 62.
- Marcon E. 2018. Mesure de la Biodiversité. *Master*.
- Mariel J. 2016. Analyse des systèmes agroforestiers du territoire de Vavatenina à Madagascar: stratégies de mise en valeur, perceptions paysannes et résilience. *Doctoral dissertation, Université de Montpellier*. , p. 22.
- Méndez, Ernesto V., Lok R., & Somarriba E. 2001. Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: micro-zonation, plant use and socioeconomic importance. *Agroforestry Systems*. 51(2), p. 85- 96.
- Michels T., Bisson A., Ralaidovy V., Rabemananjar H., Jahiel M., & Malézieux E. 2011. Horticultural agroforestry systems in the humid tropics : analysis of clove tree-based systems in Madagascar. *Acta Horticulturae*. (894), p. 161- 167.
- Michon G., Lombion R., Mary F., & Bombard J.M. 1983. Shall peasant agroforests survive ? Paper presented at the BAPI-Suan symposium on research on the impact of development on human activity systems in Southeast Asia. *Institute of Ecology*. , p. 8- 11.
- Minten B. & Barrett C.B. 2008. Agricultural Technology, Productivity, and Poverty in Madagascar. *World Development*. 36(5), p. 797- 822.
- Nahapiet J. & Ghoshal S. 1998. Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage. *Academy of management review*. 23(2), p. 242- 266.
- Nair P.K. 1993. *An introduction to agroforestry*. Dordrecht : Kluwer Acad. Publ, 499 p.
- Odendo M., Obare G., & Salasya B. 2010. Farmers' perceptions and knowledge of soil fertility degradation in two contrasting sites in western Kenya. *Land Degradation & Development*. 21(6), p. 557- 564.
- Orchard S.E., Stringer L.C., & Manyatsi A.M. 2017. Farmer Perceptions and Responses to Soil Degradation in Swaziland. *Land Degradation & Development*. 28(1), p. 46- 56.
- Papendick, Sanchez, & Triplett. 1976. Multiple Cropping. *American Society of Agronomy*. 27.
- Penot E. & Feintrenie L. 2015. Agroforesterie, agroforêts et société - Document de travail. *Document de travail UMR innovation/UPR BSeF*.

- Penot E. & Feintrenie L. 2014. L'agroforesterie sous climat tropical humide : une diversité de pratiques pour répondre à des objectifs spécifiques et à des contraintes locales. *Bois & Forêts des Tropiques*. 321(321), p. 5- 6.
- Penot E., Fevre V., Flodrops P., & Razafimahatratra H.M. 2018. Conservation Agriculture to buffer and alleviate the impact of climatic variations in Madagascar: farmers' perception. *Cahiers Agricultures*. 27(2), p. 25003.
- Penot E. & Oliver I. 2009. L'hévéa en association avec les cultures pérennes, fruitières ou forestières: quelques exemples en Asie, Afrique et Amérique latine. *Bois & forêt des tropiques*. 301(301), p. 67- 82.
- Pilling D., Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. , 11- 22 p. (Animal Genetic Resources).
- Rahman S. 2003. Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: an analysis of farmers' perceptions and their determinants. *Journal of Environmental Management*. 68(2), p. 183- 191.
- Rakotoarivelo N., Rakotoarivony F., Kuhlman A., & Bussmann R.W. 2013. *Guide des plantes d'Ambalabe Volume 1*. Missouri Botanical Garden Madagascar
- Randrianarisoa J.-C. & Minten B. 2001. Agricultural production, agricultural land and rural poverty in Madagascar. *Cornell Food and Nutrition Policy Program Working Paper*. , p. 112.
- Seghieri J. & Harmand J.-M. 2019. *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale Recherche de compromis entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques*. Quae.(Update Sciences & Technologies).
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*. 163(4148), p. 688.
- Site de tropicos. 2019. Site internet de Tropicicos.
- Site du Missouri Botanical Garden. 2019. Site du Missouri Botanical Garden.
- Site motmalgache. 2019. Site de mot-malgache.
- Somarriba E., Cerda R., Orozco L., Cifuentes M., Dávila H., Espin T., Mavisoy H., Ávila G., Alvarado E., Poveda V., Astorga C., Say E., & Deheuvels O. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 173, p. 46- 57.
- Styger E., Rakotoarimanana J.E.M., Rabevohitra R., & Fernandes E.C.M. 1999. Indigenous fruit trees of Madagascar: potential components of agroforestry systems to improve human nutrition and restore biological diversity. *Agroforestry Systems*. 46(3), p. 289- 310.
- Styger E., Rakotondramasy H.M., Pfeffer M.J., Fernandes E.C.M., & Bates D.M. 2007. Influence of slash-and-burn farming practices on fallow succession and land degradation in the rainforest region of Madagascar. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 119(3- 4), p. 257- 269.

- Teuscher E., Anton R., & Lobstein A. 2005. Plantes aromatiques: épices, aromates, condiments et huiles essentielles. *Tec & Doc*.
- Tirel M., Penot E., Jahiel M., & Danthu P. 2015. Enquête sur la production d'huile essentielle de girofle: le point de vue des propriétaires d'alambics dans la région de Fénériver-est.
- Torquebiau E.F. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*. 323(11), p. 1009- 1017.
- Wagner G. 1970. The Bantu of Western Kenya with special reference to the Vugusi and Logoli. *Oxford University Press*. 2.
- Wahid P., Balai P., & Tanaman R. dan O. 1995. Effect of climate on yield fluctuation of clove tree. *Agricultural science and technology information*. 11(1- 2).
- Zaehringer J., Eckert S., & Messerli P. 2015. Revealing Regional Deforestation Dynamics in North-Eastern Madagascar—Insights from Multi-Temporal Land Cover Change Analysis. *Land*. 4(2), p. 454- 474.
- Zhao Y., Zhang B., & Hill R. 2012. Water use assessment in alley cropping systems within subtropical China. *Agroforestry Systems*. 84(2), p. 243- 259.

11 TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Protocole d'inventaire	75
Annexe 2 : Variables topographiques et d'inventaires	75
Annexe 3 : Protocole d'inventaire (suite)	76
Annexe 4 : Protocole de pédologie superficielle.....	76
Annexe 5 : Protocole toposéquence – introduction, toposéquence, sols superficiels	77
Annexe 6 : Protocole des toposéquences	78
Annexe 7 : Protocole d'entretien - questions générales et perceptions	79
Annexe 8 : Protocole d'entretien - questions sur les observations	80
Annexe 9 : Protocole d'entretien - question sur les pratiques	81
Annexe 10 : Protocole d'entretien - question sur les perceptions des sols	82
Annexe 11 : Protocole d'entretien - schéma résumé participatif.....	83
Annexe 12 : Typologie des SAF (Nair, 1985a).....	84
Annexe 13 : Noms vernaculaires et scientifiques des plantes rencontrées	85
Annexe 14 : Noms vernaculaires et scientifiques des plantes ligneuses rencontrées	87
Annexe 15 : Liste des espèces par caractéristique	89
Annexe 16 : Traduction des mots malagasy.....	90
Annexe 17 : Nombre de girofliers par classe de diamètre à la fin de la première partie d'inventaire	90
Annexe 18 : Nombre de micro-zones en fonction de la densité d'espèces ligneuses	90
Annexe 19 : Nombre de micro-zones en fonction de la densité d'espèces non-Ligneuses cultivées	90
Annexe 20 : Nombre de micro-zones en fonction du nombre d'espèces ligneuses.....	91
Annexe 21 : Nombre de micro-zones en fonction du nombre d'espèces non-ligneuses Cultivées.....	91
Annexe 22 : Nombre de micro-zones en fonction de l'âge des girofliers.....	91
Annexe 23 : Identifiants des micro-zones et types de SAF.....	92
Annexe 24 : Caractéristiques structurales des types de micro-zones.....	93
Annexe 25 : Résultats des PCoA basées sur les variables d'espèces.....	94
Annexe 26 : Nombre d'individus par espèces ligneuses dont les individus représentent plus de 90% des individus ligneux totaux	94
Annexe 27 : Nombre d'individus par espèces non-ligneuses cultivées dont les individus représentent plus de 90% des individus non-ligneux cultivés totaux.....	95
Annexe 28 : Nombre d'individus par espèces ligneuses dont les individus représentent 10% des individus totaux	95
Annexe 29 : Nombre d'individus par espèces non-ligneuses cultivés dont les individus représentent 10% des individus totaux	96
Annexe 30 : Carte de corrélation (<i>heat-map</i>) de l'ensemble de nos variables descriptives des inventaires	96
Annexe 31 : Analyse en composante principale réalisée avec toutes les variables d'inventaire.....	98
Annexe 32 : Statistique des variables d'inventaires conservées	98

12 LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composante Principale
ANOVA : Analyse de la Variance
BC : Bois de Construction
BE : Bois Energie
CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement,
DPC : Diamètre de Précomptage,
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*)
GA : systèmes agroforestiers complexes de Girofliers Âgés,
GJ_LI_FORTE : Type de systèmes agroforestiers "Girofliers jeunes, densité ligneuse forte»
GJ_LI_MOY : Type de système agroforestier "Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne"
GRED : Gouvernance, Risque, Environnement, Développement
GREEN : Gestion des Ressources Renouvelables et Environnement
GTA : systèmes agroforestiers complexes de Girofliers Très Agés,
ICRAF : Centre International pour la Recherche en Agroforesterie (*International Centre for Research in Agroforestry*).
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
LI : Ligneux
NLIC : Non-Ligneux Cultivés
PCoA : Analyse en Coordonnées Principale
PFNL : Produits Forestiers Non Ligneux
SAF : Système Agroforestier
SolDivA : *Social Learning networks and plant Diversity management in Agroforestry landscapes*
Texture A : texture argileuse
Texture L : texture limoneuse
Texture S : texture sableuse
UMR : Unité Mixte de Recherche
UR : Unité de Recherche

13 TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Types de Typologies (Nair, 1993).....	10
Tableau 2 : Nombre de quadrat minimum en fonction de la surface de la micro-zone	18
Tableau 3 Variables d'inventaires	19
Tableau 4 : Liste des espèces non-ligneuses cultivées	20
Tableau 5 Variables environnementales explicatives des variables de types de SAF complexe....	22
Tableau 6 : Clés de déterminations de la texture des sols	22
Tableau 7 : Clés de détermination de l'abondance en éléments grossiers	23
Tableau 8 : Clés de détermination de la taille des éléments grossiers	24
Tableau 9 : Clés de détermination de l'abondance en racines	24
Tableau 10 : Clés de détermination de la taille des racines	24
Tableau 11 : Clés de détermination de topographie relative	24
Tableau 12 : Variables de connaissances	26
Tableau 13 : Altitude du territoire.....	28
Tableau 14: Nombre d'agriculteur décrivant le besoin en fertilité des girofliers (n=16)	33
Tableau 15: Nombre d'agriculteur décrivant le besoin en eau des girofliers (n=16)	33
Tableau 16 : Traduction du vocabulaire agronomique.....	34
Tableau 17 : Nombre d'agriculteur décrivant le besoin en lumière des girofliers (n=16).....	35
Tableau 18 : Classification des termes se référant à la lumière selon la force.....	35
Tableau 19 : Classification des termes se référant à la lumière selon que la lumière touche le sol ou non.....	35
Tableau 20 : Nombre d'agriculteur coupant les arbres selon le stade des girofliers (n=16)	36
Tableau 21 : Usages secondaires des plantes décrits par les agriculteurs.....	37
Tableau 22 : Nombre d'agriculteurs désherbant selon le stade des girofliers (n=16).....	38
Tableau 23 : Nombre d'agriculteurs taillant les girofliers selon le stade des girofleirs (n=16).....	39
Tableau 24 : Contribution des variables aux axes de l'ACP	40
Tableau 25 : description générale des variables d'inventaires sélectionnées	40
Tableau 26 : Densité des espèces ligneuses moyenne par micro-zones (nombre d'individus/ha), écart-types et nombre de micro-zones sur lesquelles l'espèces apparait.....	47
Tableau 27 : Densité des espèces non-ligneuses cultivées moyenne par micro-zones (nombre d'individus/ha), écart-types et nombre de micro-zones sur lesquelles l'espèces apparait.....	48
Tableau 28 : Valeur des p-value des anovas entre variables explicatives de types et variables exogènes, et sens de la relation : croissante (C) ou décroissante (D).....	53
Tableau 29 : Présences d'espèces du type « SAF complexe » (Arimalala <i>et al.</i> , 2018) en comapraison avec nos types	56
Tableau 30 : Comparaison des équation âge-diamètre.....	60
Tableau 31 : Comparaison des estimations âge-diamètre	60
Tableau 32 : Description des Variables exogènes selon le type de SAF	97
Tableau 33: Variables exogènes (suite) par type	97

14 TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la commune de Vavatenina et de la région Analanjirofo	14
Figure 2 : Schéma des exploitations, tsabo, micro-zones et quadrats	15
Figure 3 : Code Munsell à la page du hue 10YR	23
Figure 4 : Orientation des quadrats (N=79)	28
Figure 5 : Carte du territoire de Vohibary	29
Figure 6 : Texture des sols superficiels par quadrat (n=79)	30
Figure 7 : Profondeur des sols rouges a la tarière (n=8)	31
Figure 8 : Profondeur des sols sombres à la tarière (n=8).....	31
Figure 9 : profondeur des sols jaunes a la tarière (n=8)	31
Figure 10 : Schéma des relevés pédologiques de la toposéquence nord	31
Figure 11 : Abondance et tailles des éléments grossiers des sols superficiels des quadrats (n=79).....	32
Figure 12 : Abondance et taille des racines des sols superficiels des quadrats (n=79).....	32
Figure 13 : Causalité des phénomènes environnementaux selon entretiens	34
Figure 14 : Schéma des types de taille de girofliers.....	38
Figure 15 : Représentation graphique de Régression linéaire âge-diamètre	39
Figure 16 : Cercle de corrélation des cinq variables d'inventaire pertinentes (78% d'inertie expliquée).....	40
Figure 17 : Projection des 24 micro-zones et Types de systèmes agroforestiers complexes.....	42
Figure 18 : Clé de détermination des types selon les variables d'inventaire	42
Figure 19 : Age des girofliers (année) en fonction du type de SAF	44
Figure 20 : densité ligneuse (tiges/ha) en fonction du type de SAF	44
Figure 21 : Densité non-ligneuse cultivée (tige/ha) en fonction du type de SAF	45
Figure 22 : Nombre d'espèces ligneuse par quadrat de 100 m ² en fonction du type de SAF.....	45
Figure 23 : Nombre d'espèces non-ligneuses cultivées par quadrat de 100 m ² en fonction du type de SAF.....	45
Figure 24 : Photographies de micro-zones de type Girofliers Très Âgés (GTA)	50
Figure 25 : Photographies de micro-zones de type girofliers âgés (GA)	50
Figure 26 : Photographie de micro-zone de type Giroflier jeune avec densité moyenne (GJ_LI_MOY).....	51
Figure 27 : Photographie de micro-zone de type Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)	51
Figure 28 : Relations entre les variables exogènes, les variables d'inventaires et les types de SAF complexes à giroflier	54
Figure 29 : Comparaison des regressions linéaires âge-diamètre	61

15 ANNEXES

15.1 PROTOCOLES

ANNEXE 1 : PROTOCOLE D'INVENTAIRE

Date		Nom de l'agriculteur	Autre : (Nom scientifique, remarque)
Numéro de Parcelle	Numéro de Micro-zone	Numéro de quadrat	
Nom (s) Vernaculaire(s)	Nombre d'individus	Diamètre	

ANNEXE 2 : VARIABLES TOPOGRAPHIQUES ET D'INVENTAIRES

Date	Nom de l'agriculteur	Numéro de la parcelle	Numéro de la Micro-Zone	Numéro du Quadrat
Pente (unité)	Orientation (unité)	Sommet / Versant / Bas fond	N° point GPS	Hauteur des strates de végétation
Couverture du sol (%)	Encaissé / décaissé	Ombre : 1 / 2 / 3	Hauteur de végétation : 0 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5	

ANNEXE 3 : PROTOCOLE D'INVENTAIRE (SUITE)

Date	Nom de l'agriculteur	Numéro de la parcelle	Numéro de la Micro-Zone	Numéro du Quadrat
Nombre de plantules de girofle	Présence de liane	Présence de vanille	Présence d'igname	Présence de Passion
Palmiers	Nombre d'individus de petits diamètres	Nombre d'individus de moyen diamètre	Nombre d'individus de grand diamètre	
Canne à sucre	Nombre de petits pieds	Nombre de pieds moyens	Nombre de grands pieds	
Observation (interactions, arbres coupés, bordures, ornemental, indicatrice de sol)				

ANNEXE 4 : PROTOCOLE DE PEDOLOGIE SUEPRFICIELLE

Date	Nom de l'agriculteur	Numéro de la parcelle	Numéro de la Micro-Zone	Numéro du Quadrat
Couleur		Couleur Munsell	Texture LSA	
Présence EG		Taille des EG	Nombre racines	Tailles racines
absents / peu / moyen / beaucoup		Petits / Moyens / Gros	Absences / peu / moyenne / beaucoup	Petites / Moyenne / Grosses
Compact / Meuble		Photo	Numéro du relevé	
Remarque : (rupture de pente, schéma, ravine, cours d'eau, altitude relative au sommet, convexité)				

ANNEXE 5 : PROTOCOLE TOPOSEQUENCE – INTRODUCTION, TOPOSEQUENCE, SOLS SUPERFICIELS

Date	Nom de l'agriculteur	Point GPS
N° de Toposéquence	Numéro de relevé	Encaissé / décaissé
Pente	Orientation	Sommet / Versant / Bas fond
Couleur	Code Munsell	Texture LSA
Présence EG	Taille des EG	Nombre racines
Absents / peu / moyen / beaucoup	Petits/ Moyens / Gros	Absences / peu / moyenne / beaucoup
Compact / Meuble	Tailles racines	Photo
	Petites / Moyenne / Grosses	
Remarque : (rupture de pente, schéma, ravine, cours d'eau, altitude relative au sommet, convexité)		

ANNEXE 6 : PROTOCOLE DES TOPOSEQUENCES

Profondeur de l'horizon (cm)	Code pour le pédo-comparateur (T1_R1_80)	Couleur du fond matriciel Code Munsell	Couleur des tâches	Texture ALS	Présence EG Absents / Peu / Moyen / Beaucoup	Taille des EG Petits/ Moyens / Gros	Compact / Meuble	Nombre racines Absences / Peu / Moyenne / Beaucoup	Tailles racines Petites / Moyenne / Grosses	Structure des agrégats	Photos + remarques
00 à 10											
10 à 20											
20 à 40											
40 à 60											
60 à 80											
80 à 100											
100 à 120											

Pour toi, maintenant, quelle est l' <u>espèce dominante</u> de cette micro-zone ?
Quel est l' <u>âge</u> des girofliers sur cette micro-zone ? Girofliers produisent ? Depuis quand ? Combien produisent ?..... Âge de la plantation ? Âge du plant (Est-ce qu'il a d'autres girofliers qui ont d'autres âges ?)
Tu as produit combien de girofle l'année dernière sur cette micro-zone ? en kg ou kapoka..... C'est peu / moyen / beaucoup ? Rendement en bonne année de production ? Rendement en mauvaise année de production ?
Il y avait quoi avant le Girofle ? Jachère / Essence ? Quand ?.....Durée ? Pourquoi il a arrêté ? Tu as fait des Tavy ? Pourquoi il a mis du girofle ici ?
Quels sont les principales qualités de cette micro-zone pour cultiver le girofle ?
Quels sont les principales difficultés de cette micro-zone pour cultiver le girofle ?
Les girofliers de cette micro-zone ont besoin en <u>lumière</u> un peu / moyen / beaucoup. Est-ce que ça varie en fonction de l'âge ? en fonction de la hauteur ?
Les girofliers de cette micro-zone ont besoin en <u>eau</u> un peu / moyen / beaucoup
Les girofliers de cette micro-zone ont besoin en <u>fertilité</u> un peu / moyen / beaucoup
Est-ce qu'il y a des Andreta (<u>parasites</u>) sur cette micro-zone ? oui / non

Sur cette micro-zone, selon les observations :

- ➔ Pourquoi ? Pourquoi là en particulier ? Est-ce que tu as fait pareil sur les autres micro-zones ?
- ➔ Est-ce que ça change la lumière/eau/fertilité pour le Girofle ?
- ➔ C'est bien / pas bien pour le girofle ?

Des arbres (selon les observations) d'ombrage, coupés, de bordures, des arbres marquants, plantés, taillés, élagués, greffés, bouturés, marcottés ?

Des plantes (selon les observations) ornementales, indicatrices de sol, récoltées, brûlées, désherbées ?

Des preuves (selon les observations) que tu as fertilisé, désherbé, récolté, travaillé le sol, géré de la matière organique (minérale/végétale) ?

Des associations (selon les observations), interactions, densité, semis sous couvert, mono-spécifique

Sur cette micro-zone, qu'est-ce que tu fais comme travail qui revient tous les ans ou tous les deux ans ? (travail récurrent) Liste (à augmenter) : cyclone, désherbage, récolte, taille, clous à sécher. Ou ? Pourquoi ?

Sur cette micro-zones, qu'est-ce que tu fais comme travail qui ne revient pas tous les ans et qui est ponctuel/exceptionnel ? Liste (à augmenter) : Tavy (brulis) où ? Pourquoi ?

Plantation ! Qu'est-ce que tu plantes avec le giroflier ? Quand? Pourquoi ? Comment tu travailles le sol à ce moment-là ? Que fais-tu pour préparer ton tsabo avant de planter des girofliers ?

Coupe de tronc ! Qu'est-ce que tu coupes comme troncs avec le giroflier ? quand? pourquoi ?

Tailles/élagage : Qu'est-ce que tu tailles comme branches sur le giroflier ? Quand (par classes d'âge de girofliers)? Pourquoi ? (à partir de quel âge ? pour la production) ? Tous les combien ? Comment quelle forme (schéma ?)

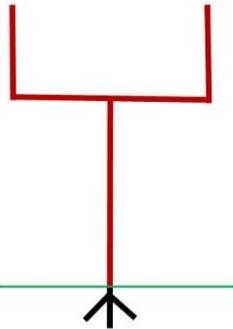
Désherbage : Qu'est-ce que tu désherbes comme plantes avec le giroflier ? Quand (par classes d'âge de girofliers) ? Pourquoi ?

Association d'espèces : Qu'est-ce que tu choisies comme espèces avec le giroflier ? Quand (par classes d'âge de girofliers)? Pourquoi ?

<p>Tu peux décrire le sol de cette micro-zone ?</p>
<p>Le l'humidité est <i>mangatsiatsika</i> de cette micro-zone : un peu / moyen / beaucoup</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ? ➤ Comment tu sais que le sol est comme ça ? (Plante indicatrice ? production ?)
<p>Sur cette micro-zone, le sol est <i>lonaka</i> : Pas <i>lonaka</i> / moyennement / beaucoup</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ? ➤ Comment tu sais que le sol est comme ça ? (Plante indicatrice ? production ?)
<p>Sur cette micro-zone, la température du sol est : <i>Mangatsiaka</i> / <i>mafana</i> / entre les deux</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ? ➤ Comment tu sais que le sol est comme ça ? (Plante indicatrice ? production ?)
<p>Sur cette micro-zone, le <i>dity</i> du sol est : Pas <i>dity</i> / moyen / beaucoup</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ? ➤ Comment tu sais que le sol est comme ça ? (Plante indicatrice ? production ?)
<p>Sur cette micro-zone, le sol est : <i>Miparitaka</i> / <i>mavolaboraka</i> / AUTRE</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ? ➤ Comment tu sais que le sol est comme ça ? (Plante indicatrice ? production ?)
<p>Montrer les 4 échantillons de sols :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Comment est ce sol ? ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ?
<p>Est-ce que quand il pleut, le sol devient sec rapidement (sol qui draine) Draine pas (stagne) / un peu / beaucoup</p>

Quel est le sol idéal pour le girofle ?
<p>Sur cette micro-zone, la lumière pour le girofle est : peu / moyenne) / forte</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Est-ce que c'est bien / pas bien pour le girofle ? (Comment tu sais ?) ➤ Comment vous faites pour que ça reste bien / pour que ça soit mieux ?
Quel est la lumière idéale pour le girofle ?

ANNEXE 11 : PROTOCOLE D'ENTRETIEN - SCHEMA RESUME PARTICIPATIF

<p>Schéma des ligneux et non ligneux selon l'âge des girofliers.</p> 	
Âge des girofliers	
Hauteur du giroflier	
Âge de début de Production	

15.2 DONNEES BRUTES

Categorization of systems based on their structure and functions		Grouping of systems (according to their spread and management)		
Structure (nature and arrangement of components, especially woody ones)	Function (role and/or output of components, especially woody ones)	Agro-ecological environmental adaptability	Socio-economic and management level	
Nature of components	Arrangement of components			
Agrisilviculture (crops and trees incl. shrubs/trees and trees)	<i>In space</i> (spatial) Mixed dense (e.g., homegarden)	<i>Productive function</i> Food Fodder	<i>Systems in/for</i> Lowland humid tropics Highland humid tropics (above 1,200 m a.s.l., Malaysia)	<i>Based on level of technology input</i> Low input (marginal) Medium input
Silvopastoral (pasture/animals and trees)	Mixed sparse (e.g. most systems of trees in pastures)	Fuelwood Other woods Other products	Lowland subhumid tropics (e.g. savanna zone of Africa, Cerrado of South America)	High input <i>Based on cost/benefit relations</i>
Agrosilvopastoral (crops, pasture/animal: and trees)	Strip (width of strip to be more than one tree)	<i>Protective function</i> Windbreak		Commercial Intermediate
Others (multipurpose tree lots, apiculture with trees, aquaculture with trees, etc.)	Boundary (trees on edges of plots/fields) <i>In time</i> (temporal) * Coincident * Concomitant * Overlapping * Sequential (separate) * Interpolated	Shelterbelt Soil conservation Moisture conservation Soil improvement Shade (for crop, animal and man)	Highland subhumid tropics (tropical highlands) (e.g. in Kenya, Ethiopia)	Subsistence

* See Figure 3.2. (on p. 27) for explanation of these terms

Source: Nair (1985a).

ANNEXE 12 : TYPOLOGIE DES SAF (NAIR, 1985a)

ANNEXE 13 : NOMS VERANCUAIRES ET SCIENTIFIQUES DES PLANTES RENCONTREES

Nom(s) malagasy(s)	Nom français	Nom scientifique
<i>Afofrankora</i>	/	<i>Didymeles perrieri</i>
<i>ahi pissaka, ahipisaka</i>	gazon	<i>Stenotaphrum dimidiatum</i> (L.)
<i>akondro batavia, akondro betavia hiva</i>	bananier betavia	<i>Musa acuminata</i>
<i>akondro handatra, akondro anditra</i>	banane figue-pomme	<i>Musa acuminata</i>
<i>akondro ponga, akondro paonga</i>	bananier paonga	<i>Musa acuminata</i>
<i>akondro voantsiroko, akondro voantsiroko</i>	bananier plantain	<i>Musa paradisiaca</i>
<i>albizia, lalbizia</i>	albizia	<i>Albizia stipulata</i>
<i>ampalibe</i>	jacquier	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
<i>ampaly</i>	/	<i>Streblus mauritianus</i> (Jacq.)
<i>anana</i>	brede	<i>Anana_mg</i>
<i>andrarezona, andrarezina</i>	/	<i>Trema orientalis</i>
<i>arakaratelo, arakaratiloho, karakarantilo</i>	/	<i>Lygodium lanceolatum</i> (Desv.)
<i>bonara</i>	bonara	<i>Albizzia lebeck</i>
<i>bonaram bazaha, bonara n'bazaha</i>	gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>
<i>cafe</i>	caféier robuste	<i>Coffea robusta</i>
<i>cerisier</i>	cerisier	<i>Cerisier_mg</i>
<i>coco voany, voany</i>	cocotier	<i>Cocos nucifera</i>
<i>dindemo, ndindemo</i>	/	<i>Anthocleista longifolia</i> (Lam.)
<i>dingadingana, arina, iary</i>	/	<i>Psiadia altissima</i> (DC.Drake)
<i>fandrana, fanjana</i>	/	<i>Pandanus_genre</i>
<i>fary</i>	canne à sucre	<i>Saccharum officinarum</i>
<i>fisika, felanambrona</i>	/	<i>Fisika_mg</i>
<i>gavoka</i>	avocat	<i>Persea americana</i> (Mill)
<i>goavy be, goavy gasy</i>	goyavier	<i>Psidium guajava</i> (L.)
<i>goavy de chine, Goav de chine</i>	goyavier de Chine	<i>Psidium cattleianum</i> (Sabine)
<i>grevilia</i>	Grevillea	<i>Grevillea banksii</i> (R.Br.)
<i>haramy, ramy</i>	arbre de myrrhe de Madagascar, ramy	<i>Canarium madagascariensis</i>
<i>harongana</i>	bois harongue	<i>Harungana madagascariensis</i>
<i>hazo vola</i>	palissandre de Madagascar	<i>Dalbergia madagascariensis</i> (L.)
<i>hazoambo, hazo ambo</i>	/	<i>Xylopi buxifolia</i> (Bail.)
<i>jamblon</i>	Jamelonier	<i>Syzygium cumini</i> (L.)
<i>jirofo</i>	giroflier	<i>Syzygium aromaticum</i>
<i>kanel</i>	canelle	<i>Cinnamomum verum</i>
<i>kesikesika, kesokeso, sintavy, kiskisa, hasina</i>	bois de chandelle	<i>Dracaena reflexa</i> (Lam.)
<i>kinina</i>	eucalyptus	<i>Eucalyptus_sp</i>
<i>lambafo, lambafohala</i>	/	<i>Protorhus viguieri</i> (Perrier)
<i>letchim bazaha</i>	rambouthan	<i>Nephelium lappaceum</i>
<i>limba</i>	fraké	<i>Terminalia superba</i> (Engl. &

		Diels)
<i>lingoza, longoza</i>	/	<i>Aframomum angustifolium</i>
<i>litchi, litchi gasy</i>	litchi	<i>Litchi chinensis</i>
<i>makoba</i>	jamalac	<i>Syzygium samarangense</i> (Blume)
<i>manas, manasy</i>	ananas	<i>Ananas comosus</i>
<i>manga</i>	manguier	<i>Mangifera indica</i>
<i>mangahazo mena</i>	manioc	<i>Manihot utilissima</i>
<i>mankarana, mankarano</i>	/	<i>Dombeya spectabilis</i>
<i>mazambody</i>	/ (mélastomataceae)	<i>Clidemia hirta</i> (L.)
<i>menahy</i>	/	<i>Erythroxylum nitidulum</i>
<i>ovi mena, ofika, ovala, hofika</i>	igname violet	<i>Dioscorea heteropoda</i>
<i>oignon, tongolo</i>	oignon	<i>Allium_genre</i>
<i>ovi be, ovi fotsy</i>	igname	<i>Dioscorea alata</i>
<i>ovotra, ovotra, ohotra, ravenanla</i>	arbre du voyageur	<i>Ravenala madagascariensis</i>
<i>papay, napaza, voadaza</i>	papayer	<i>Carica papaya</i> (L.)
<i>pecher, paiso</i>	pécher	<i>Prunus persica</i>
<i>pibasy</i>	néflier du japon	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb)
<i>pistasy be, pistache be</i>	châtaignier de Guyane	<i>Pachira aquatica</i> (Aubl.)
<i>poaceas fatakama</i>	/	<i>Poacea_fam</i>
<i>poivre</i>	poivrier noir	<i>Piper nigrum</i>
<i>radriaka, Latanier</i>	latanier	<i>Lantana camara</i> (L.)
<i>ranomintina, ranomainty</i>	litsée glutineuse	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.)
<i>sakay</i>	piment	<i>Sakay_mg</i>
<i>sakoana, sakoangna, sakoan</i>	marula	<i>Sclerocarya_sp</i>
<i>soanambo, sahognambo</i>	arbre à pin	<i>Artocarpus altilis</i>
<i>taro, soany, soanjo</i>	taro	<i>Colocasia esculenta</i>
<i>tegnigny, tenina</i>	impératrice cylindrique	<i>Imperata cylindrica</i> (L.)
<i>tongoboraona</i>	/	<i>Tongoboraona_mg</i>
<i>tsakotsako, katsaka</i>	maïs	<i>Zea mays</i>
<i>tsiperifery, voantsiperifery</i>	poivrier sauvage	<i>Piper borbonense</i> (Miq.)
<i>tsomanga, vomanga</i>	patate douce	<i>Ipomoea batatas</i>
<i>tsopatika, tsipatika</i>	/	<i>Pachytrope dimepate</i> (Bureau)
<i>vanil</i>	vanillier	<i>Vanilla planifolia</i>
<i>voangy ala, voangiata</i>	citron sauvage	<i>Citrus limonium</i> (L.)
<i>voangy greffe, voahangy greffe</i>	/	<i>Voangy greffe_mg</i>
<i>voangy, voahangy</i>	oranger	<i>Citrus aurantium</i>
<i>voara</i>	/	<i>Ficus_sp</i>
<i>voarantsidy, voharantsidy</i>	/	<i>Voharanga</i> <i>madagascariensis</i> (Cost et bois)
<i>volomaintso, volo maitso</i>	bambou	<i>Volo_mg</i>
<i>zarina</i>	palmier à huile	<i>Elaeis guineensis</i>

ANNEXE 14 : NOMS VERANCUAIRES ET SCIENTIFIQUES DES PLANTES LIGNEUSES RENCONTREES

noms malagasy	Noms français	Nom scientifique
<i>afotrankora</i>	/	<i>Didymeles perrieri</i>
<i>ampaly</i>	/	<i>Streblus mauritianus</i>
<i>dindemo, ndindemo</i>	/	<i>Anthocleista longifolia</i>
<i>dingadingana, arina, iary</i>	/	<i>Psiadia altissima</i>
<i>fandrana, fanjana</i>	/	<i>Pandanus</i>
<i>fisika, felanambrona</i>	/	/
<i>grevilia</i>	Grevilleas	<i>Grevillea banksii</i>
<i>haramy, ramy</i>	arbre de myrrhre de Madagascar, ramy	<i>Canarium madagascariensis</i>
<i>harongana</i>	bois harongue	<i>Harungana madagascariensis</i>
<i>hazo vola</i>	palissandre de Madagascar	<i>Dalbergia madagascariensis</i>
<i>hazoambo, hazo ambo</i>	/	<i>Xylopia buxifolia (Bail.)</i>
<i>kesikesika, kesokeso, sintavy, kiskisa, hasina</i>	bois de chandelle	<i>Dracaena reflexa</i>
<i>kinina</i>	eucalyptus	<i>Eucalyptus</i>
<i>lambafo, lambafohala</i>	/	<i>Protorhus viguieri (Perrier)</i>
<i>limba</i>	fraké	<i>Terminalia superba (Engl. & Diels)</i>
<i>mankarana, mankarano</i>	/	<i>Dombeya spectabilis</i>
<i>pistasy be, pistache be</i>	Châtaignier de Guyane	<i>Pachira aquatica (Aubl.)</i>
<i>ranomintina, ranomainty</i>	litsée glutineuse	<i>Litsea glutinosa</i>
<i>tsopatika, tsipatika</i>	/	<i>Pachytrophe dimepate (Bureau)</i>
<i>voangy greffe, voahangy</i>	/	/
<i>greffe</i>	/	/
<i>voara</i>	/	/
<i>albizia, lalbizia</i>	albizia	<i>Albizia stipulata</i>
<i>andrarezona, andrarezina</i>	/	<i>Trema orientalis</i>
<i>bonara</i>	bonara	<i>Albizia lebeck</i>
<i>bonaram bazaha, bonara n'bazaha</i>	gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>
<i>akondro batavia, akondro betavia hiva</i>	bananier betavia	<i>Musa acuminata</i>
<i>akondro handatra, akondro anditra</i>	banane figue-pomme	<i>Musa acuminata</i>
<i>akondro ponga, akondro paonga</i>	bananier paonga	<i>Musa acuminata</i>
<i>akondro voantsiroko, akondro voantsiroko</i>	bananier plantain	<i>Musa paradisiaca</i>
<i>ampalibe</i>	jacquier	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
<i>cerisier</i>	cerisier	<i>Cerisier_mg</i>
<i>coco voany, voany</i>	cocotier	<i>Cocos nucifera</i>
<i>gavoka</i>	avocat	<i>Persea americana (Mill)</i>
<i>goavy be, goavy gasy</i>	goyavier	<i>Psidium guajava (L.)</i>
<i>goavy de chine, Goav de chine</i>	goyavier de Chine	<i>Psidium cattleianum (Sabine)</i>
<i>jamblon</i>	Jamelonier	<i>Syzygium cumini (L.)</i>

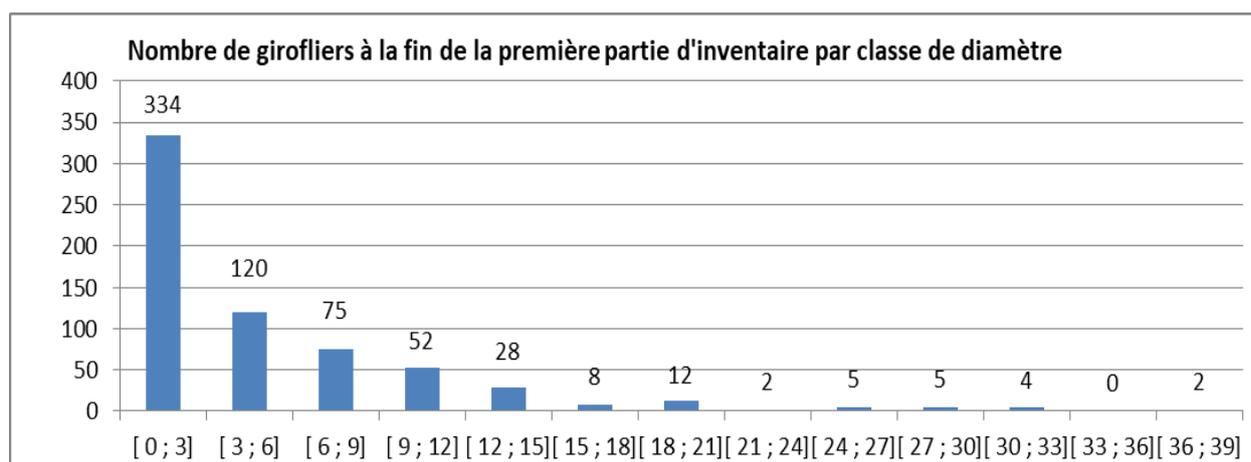
<i>letchim bazaha</i>	rambouthan	<i>Nephelium lappaceum</i>
<i>makoba</i>	Jamalac	<i>Syzygium samarangense</i> (Blume)
<i>manga</i>	manguier	<i>Mangifera indica</i>
<i>papay, napaza, voadaza</i>	papayer	<i>Carica papaya</i>
<i>pecher, paiso</i>	pecher	<i>Prunus persica</i>
<i>pibasy</i>	néflier du japon	<i>Eriobotrya japonica</i>
<i>sakoana, sakoangna, sakoan</i>	marula	<i>Sclerocarya_sp</i>
<i>soanambo, sahognambo</i>	arbre à pin	<i>Artocarpus altilis</i>
<i>voangy ala, voangiala</i>	citron sauvage	<i>Citrus limonium</i>
<i>voangy, voahangy</i>	oranger	<i>Citrus aurantium</i>
<i>zarina</i>	palmier à huile	<i>Elaeis guineensis</i>
<i>cafe</i>	caféier robusta	<i>Coffea robusta</i>
<i>jirofo</i>	girofler	<i>Syzygium aromaticum</i>
<i>kanel</i>	cannelle	<i>Cinnamomum verum</i>
<i>litchi, litchi gasy</i>	litchi	<i>Litchi chinensis</i>
<i>poivre</i>	poivrier noir	<i>Piper nigrum</i>
<i>tsiperifery, voantsiperifery</i>	poivrier sauvage	<i>Piper borbonense</i> (Miq.)

ANNEXE 15 : LISTE DES ESPECES PAR CARACTERISTIQUE

noms malgaches	nom français	nom scientifique	caractéristiques
<i>anana</i>	brede	/	consommable
<i>fary</i>	canne à sucre	<i>Saccharum officinarum</i>	consommable
<i>mangahazo mena</i>	manioc	<i>Manihot utilissima</i>	consommable
<i>ofika, oviala, hofika, oviala mena, ovi mena</i>	igname violet	<i>Dioscorea heteropoda</i>	consommable
<i>oignon, tongolo</i>	oignon	<i>Allium</i>	consommable
<i>ovi be, ovi fotsy</i>	igname	<i>Dioscorea alata</i>	consommable
<i>sakay</i>	piment	/	consommable
<i>taro, soany</i>	soanjo	<i>Arum esculentum</i>	consommable
<i>tsakotsako, katsaka</i>	maïs	<i>Zea mays</i>	consommable
<i>tsomanga, vomanga</i>	patate douce	<i>Ipomoea batatas</i>	consommable
<i>albizia, lalbizia</i>	albizia	<i>Albizia stipulata</i>	fixe_N
<i>andrarezona, andrarezina</i>	/	<i>Trema orientalis</i>	fixe_N
<i>bonara</i>	bonara	<i>Albizia lebbek</i>	fixe_N
<i>bonaram bazaha, bonara n'bazaha</i>	gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>	fixe_N
<i>manas, manasy</i>	ananas	<i>Ananas comosus</i>	fruitier
<i>akondro batavia, akondro betavia hiva</i>	bananier betavia	<i>Musa acuminata</i>	fruitier
<i>akondro handatra, akondro anditra</i>	banane figue-pomme	<i>Musa acuminata</i>	fruitier
<i>akondro ponga, akondro paonga</i>	bananier paonga	<i>Musa acuminata</i>	fruitier
<i>akondro voantsiroko, akondro voantsiroko</i>	bananier plantain	<i>Musa paradisiaca</i>	fruitier
<i>ampalibe</i>	jacquier	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	fruitier
<i>cerisier</i>	cerisier	/	fruitier
<i>coco voany, voany</i>	cocotier	<i>Cocos nucifera</i>	fruitier
<i>gavoka</i>	avocat	<i>Persea americana</i> (Mill)	fruitier
<i>goavy be, goavy gasy</i>	goyavier	<i>Psidium guajava</i> (L.)	fruitier
<i>goavy de chine, Goav de chine</i>	goyavier de Chine	<i>Psidium cattleianum</i> (Sabine)	fruitier
<i>jamblon</i>	Jamelonier	<i>Syzygium cumini</i> (L.)	fruitier
<i>letchim bazaha</i>	rambouthan	<i>Nephelium lappaceum</i>	fruitier
<i>makoba</i>	Jamalac	<i>Syzygium samarangense</i> (Blume)	fruitier
<i>manga</i>	manguier	<i>Mangifera indica</i>	fruitier
<i>papay, napaza, voadaza</i>	papayer	<i>Carica papaya</i>	fruitier
<i>pecher, paiso</i>	pecher	<i>Prunus persica</i>	fruitier
<i>pibasy</i>	néflier du japon	<i>Eriobotrya japonica</i>	fruitier
<i>sakoana, sakoangna, sakoan</i>	marula	<i>Sclerocarya</i>	fruitier
<i>soanambo, sahognambo</i>	arbre à pin	<i>Artocarpus altilis</i>	fruitier
<i>voangy ala, voangiala</i>	citron sauvage	<i>Citrus limonium</i>	fruitier
<i>voangy, voahangy</i>	oranger	<i>Citrus aurantium</i>	fruitier
<i>zarina</i>	palmier à huile	<i>Elaeis guineensis</i>	fruitier
<i>vanil</i>	vanillier	<i>Vanilla planifolia</i>	rente
<i>cafe</i>	caféier robusta	<i>Coffea robusta</i>	rente
<i>jirofo</i>	giroflier	<i>Syzygium aromaticum</i>	rente
<i>kanel</i>	cannelle	<i>Cinnamomum verum</i>	rente
<i>litchi, litchi gasy</i>	litchi	<i>Litchi chinensis</i>	rente
<i>poivre</i>	poivrier noir	<i>Piper nigrum</i>	rente
<i>tsiperifery, voantsiperifery</i>	poivrier sauvage	<i>Piper borbonense</i> (Miq.)	rente

ANNEXE 16 : TRADUCTION DES MOTS MALAGASY

Mots français	Mots malagasy betsimisaraka
Collant	<i>Dity</i>
Fertile	<i>Lonaka</i>
Forêt de girofle	<i>Analanjirofo</i>
Forêt de manioc	<i>Analanmangahazo</i>
Froid	<i>Mangatsiaka</i>
Humide	<i>Mangatsiatsiaka</i> (atténuation de <i>Mangatsiaka</i>)
Mou	<i>Malimy</i>
Noir	<i>Mainty</i>
Parcelle de riz irrigué	<i>Horaka</i>
Parcelles agroforestières	<i>Tsabo</i>
Rouge	<i>Mena</i>
S'effrite	<i>Miparitaka</i>
S'éparpille	<i>Mavoraboraka</i>
Culture sur brulis	<i>Tavy</i>



ANNEXE 17 : NOMBRE DE GIROFLIERS PAR CLASSE DE DIAMETRE A LA FIN DE LA PREMIERE PARTIE D'INVENTAIRE

ANNEXE 18 : NOMBRE DE MICRO-ZONES EN FONCTION DE LA DENSITE D'ESPECES LIGNEUSES

Densité ligneuse (individus par hectare)	[0 ;500[	[500 ;1000[	[1000 ;1500[	[1500 ;2000[	Total
Nombre de micro-zones	5	10	7	2	24
Pourcentage des micro-zones	21%	42%	29%	8%	100%

ANNEXE 19 : NOMBRE DE MICRO-ZONES EN FONCTION DE LA DENSITE D'ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVEES

Densité non-ligneuse cultivée (individus par hectare)	0 individu	]0 ;500[	[500 ;1000[	[1000 ;2000[	[2000 ;3000[	Total
Nombre de micro-zones	6	3	8	3	4	24
Pourcentage des micro-zones	25%	12%	33%	13%	17%	100%

ANNEXE 20 : NOMBRE DE MICRO-ZONES EN FONCTION DU NOMBRE D'ESPECES LIGNEUSES

Nombre d'espèces ligneuses	[0 ; 3[	[3 ; 6 [	[6 ; 9[	[9 ; 12 [	Total
Nombre de micro-zones	2	12	8	2	24
Pourcentage des micro-zones	8%	50%	33%	8%	100%

ANNEXE 21 : NOMBRE DE MICRO-ZONES EN FONCTION DU NOMBRE D'ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVEES

Nombre d'espèces non-ligneuses cultivées	[0 ; 1[	[1 ; 2 [	[2 ; 3]	Total
Nombre de micro-zones	6	14	4	24
Pourcentage des micro-zones	25%	58%	17%	100%

ANNEXE 22 : NOMBRE DE MICRO-ZONES EN FONCTION DE L'AGE DES GIROFLIERS

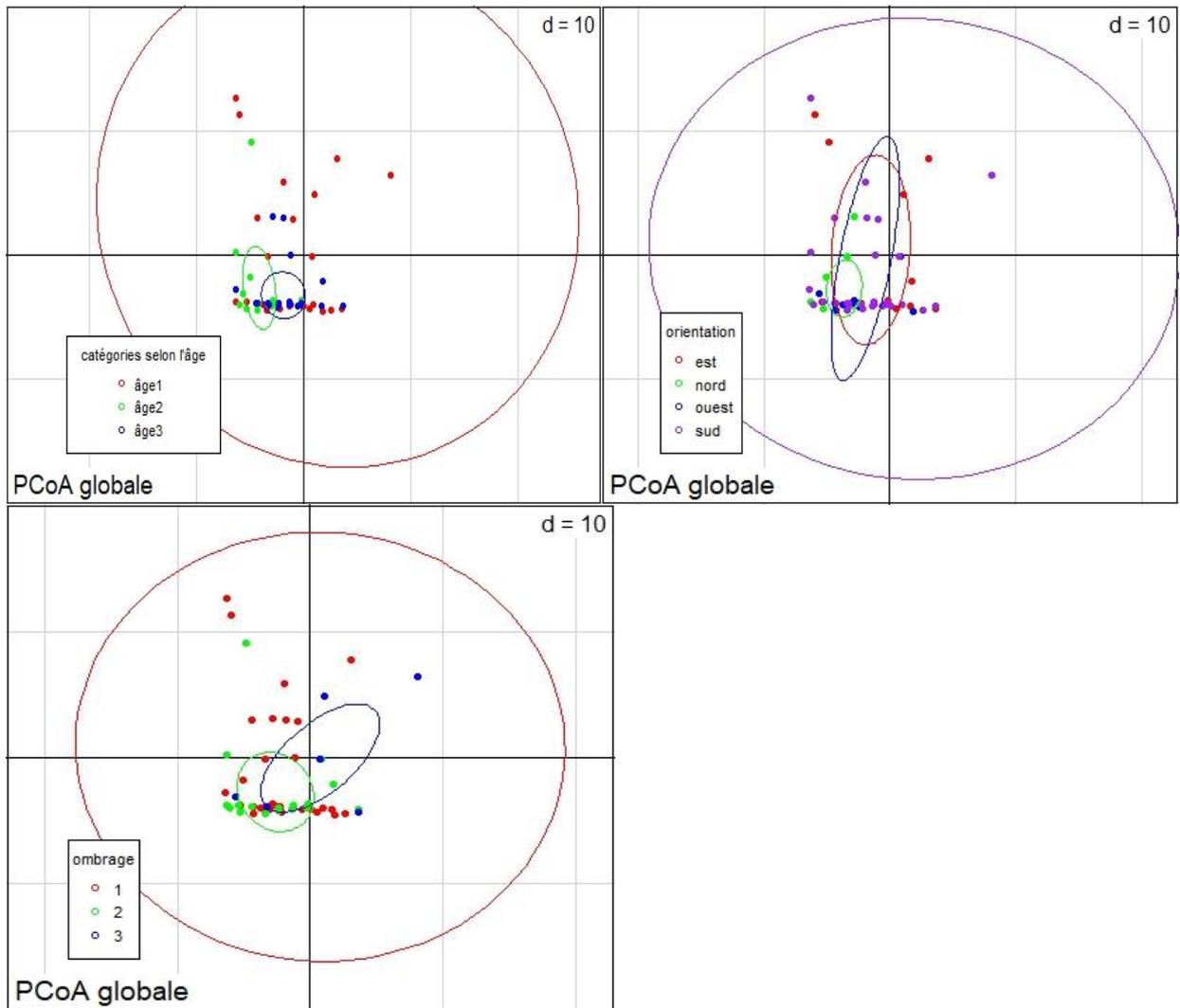
Ages moyens de girofliers	[0;10[	[10;20 [	[20;30]	[30;40]	[40;50]	[50;60]	[60;70]	Total
Nombre de micro-zones	8	2	5	3	2	1	3	
Pourcentage des micro-zones	33%	8%	21%	12%	8%	4%	13%	100%

ANNEXE 23 : IDENTIFIANTS DES MICRO-ZONES ET TYPES DE SAF

IDMZ	IDR	Type de SAF
baka_armel_t1_mz1	1	Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)
bira_ernest_t1_mz1	2	Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)
bruno_t1_mz1	3	Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)
bruno_t1_mz2	4	Girofliers Très Âgés (GTA)
bruno_t2_mz1	5	Girofliers Très Âgés (GTA)
charles_t1_mz1	6	Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)
claudes_t1_mz1	7	Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)
evariste_t1_mz1	8	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
fernand_t1_mz1	9	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
fernand_t1_mz2	10	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
fernand_t2_mz1	11	Girofliers Très Âgés (GTA)
indalana_t1_mz1	12	Girofliers Très Âgés (GTA)
jems_t1_mz1	13	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
jose_t1_mz1	14	Girofliers Âgés (GA)
jose_t1_mz2	15	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
mamani_junette_t1_mz1	16	Girofliers Âgés (GA)
michel_t1_mz1	17	Girofliers Âgés (GA)
michel_t2_mz1	18	Girofliers Très Âgés (GTA)
rabemahefa_t1_mz1	19	Giroflier Jeune avec densité ligneuse moyenne (GJ_LI_MOY)
rabemahefa_t1_mz2	20	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
richard_t1_mz1	21	Girofliers Âgés (GA)
richard_t1_mz2	22	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)
serge_t1_mz1	23	Girofliers Très Âgés (GTA)
veleson_t1_mz1	24	Girofliers jeunes, densité ligneuse forte (GJ_LI_FORTE)

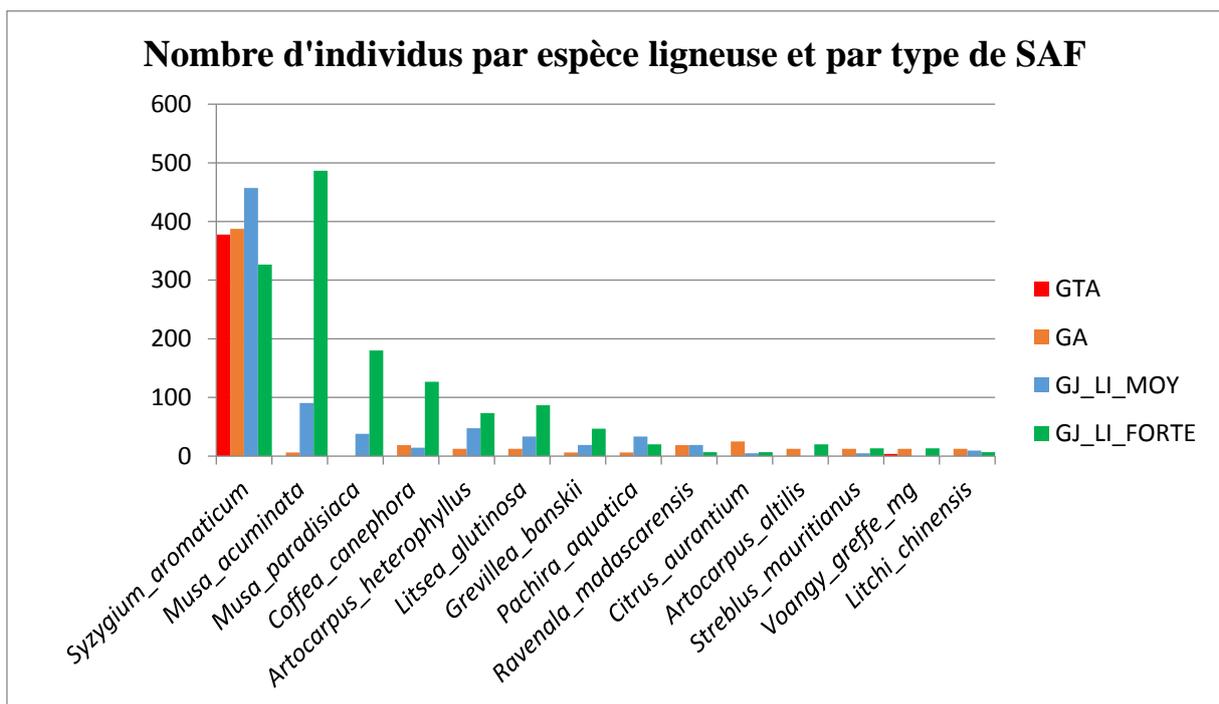
ANNEXE 24 : CARACTERISTIQUES STRUCTURALES DES TYPES DE MICRO-ZONES

Type de micro-zone	Micro-zones	Statistique	Age des girofliers (année)	Densité ligneux (individu/ha)	Densité non-ligneuse cultivée	Nombre d'espèces ligneuses	Nombre d'espèces non-ligneuses cultivées
GTA	4, 5, 11, 12, 18 et 23	Minimum	33	200	0	1	0
		Moyenne	54	363	764	3	1
		Médiane	56	360	42	3	1
		Maximum	65	529	2800	5	1
		Ecart-type	12	132	1203	1	1
GA	14, 16, 17 et 21	Minimum	24	500	33	3	1
		Moyenne	32	615	586	4	1
		Médiane	30	588	680	4	2
		Maximum	44	733	950	5	2
		Ecart-type	9	84	395	1	0
GJ_LI_MOY	1, 2, 3, 6, 7 et 19	Minimum	8	767	567	4	1
		Moyenne	16	876	834	6	1
		Médiane	14	842	833	6	1
		Maximum	29	1033	1225	6	2
		Ecart-type	9	95	266	1	0
GJ_LI_FO RTE	8, 9, 10, 13,15, 20, 22, 24	Minimum	7	1000	0	4	0
		Moyenne	13	1448	1077	7	1
		Médiane	8	1300	575	7	2
		Maximum	31	2700	2633	11	3
		Ecart-type	10	546	1223	2	1
Total	/	Minimum	7	0	0	0	0
		Moyenne	27	1546	1377	4	3
		Médiane	24	990	700	4	2
		Maximum	65	6800	6800	12	12
		Ecart-type	20	1455	1523	3	3

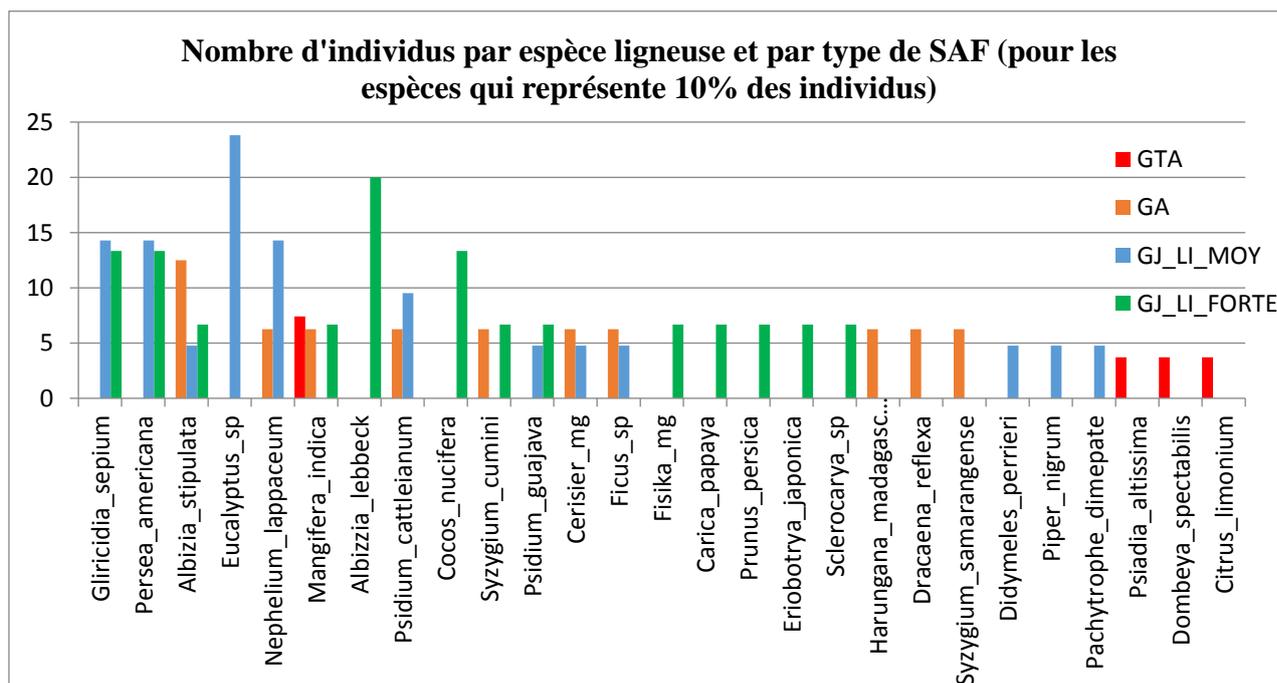
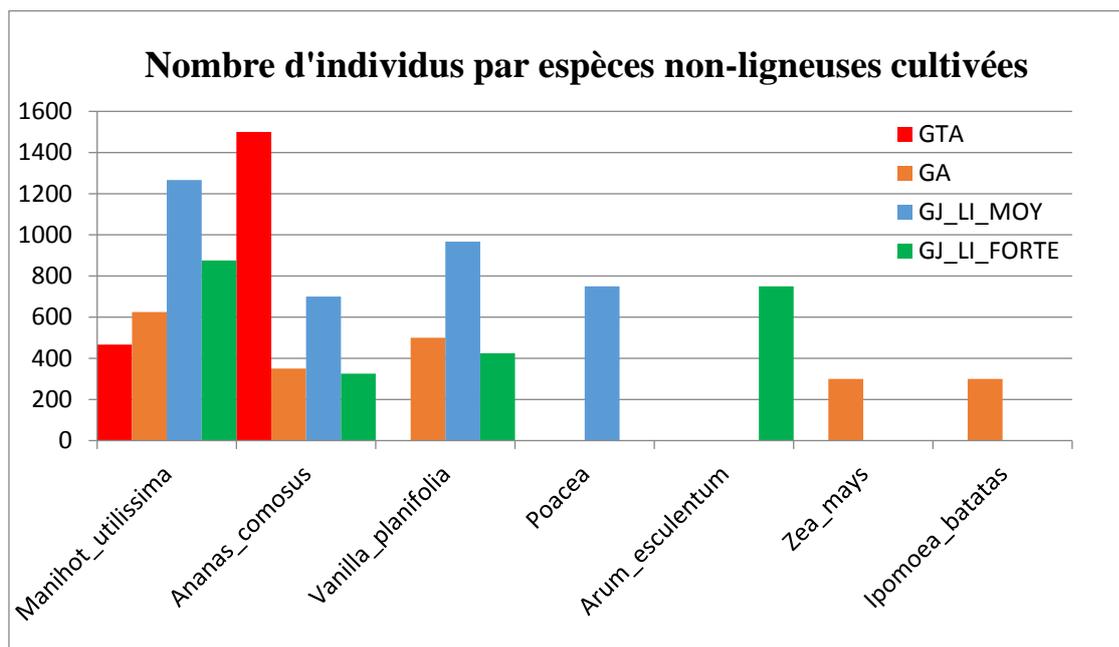


ANNEXE 25 : RESULTATS DES PCOA BASEES SUR LES VARIABLES D'ESPECES

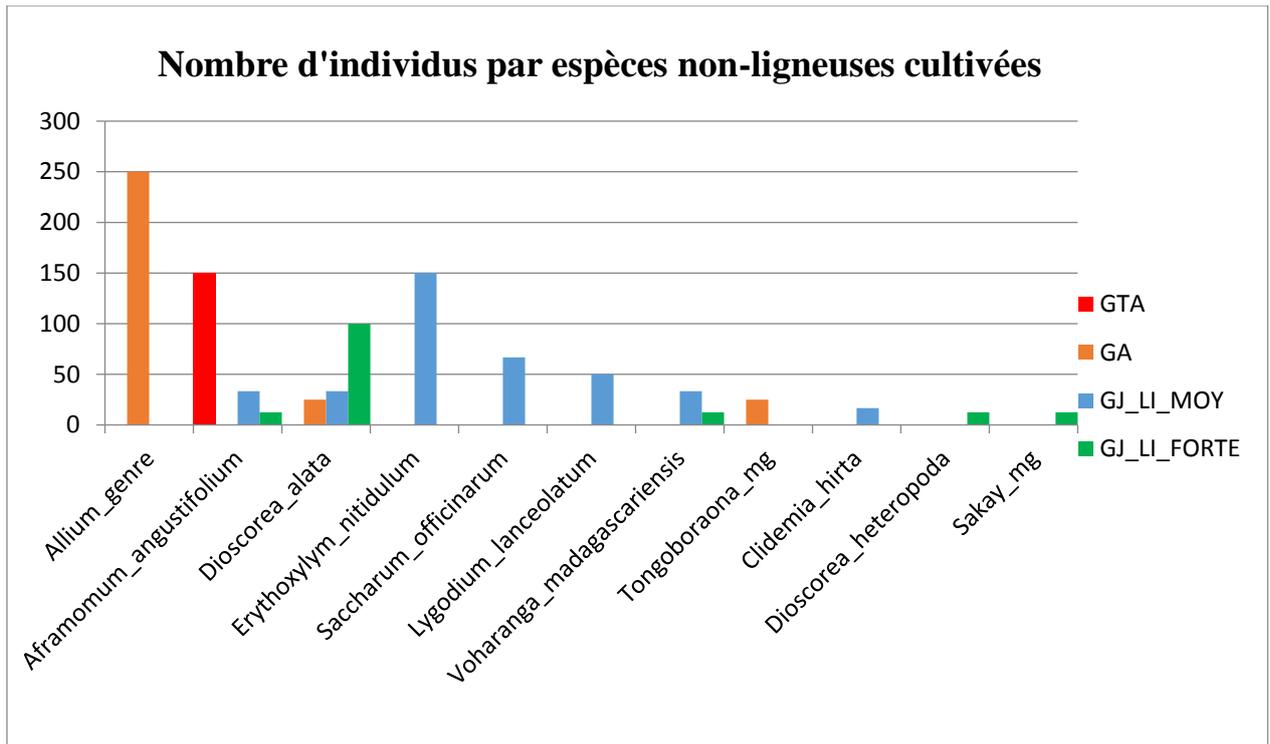
ANNEXE 26 : NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ESPECES LIGNEUSES DONT LES INDIVIDUS REPRESENTENT PLUS DE 90% DES INDIVIDUS LIGNEUX TOTAUX



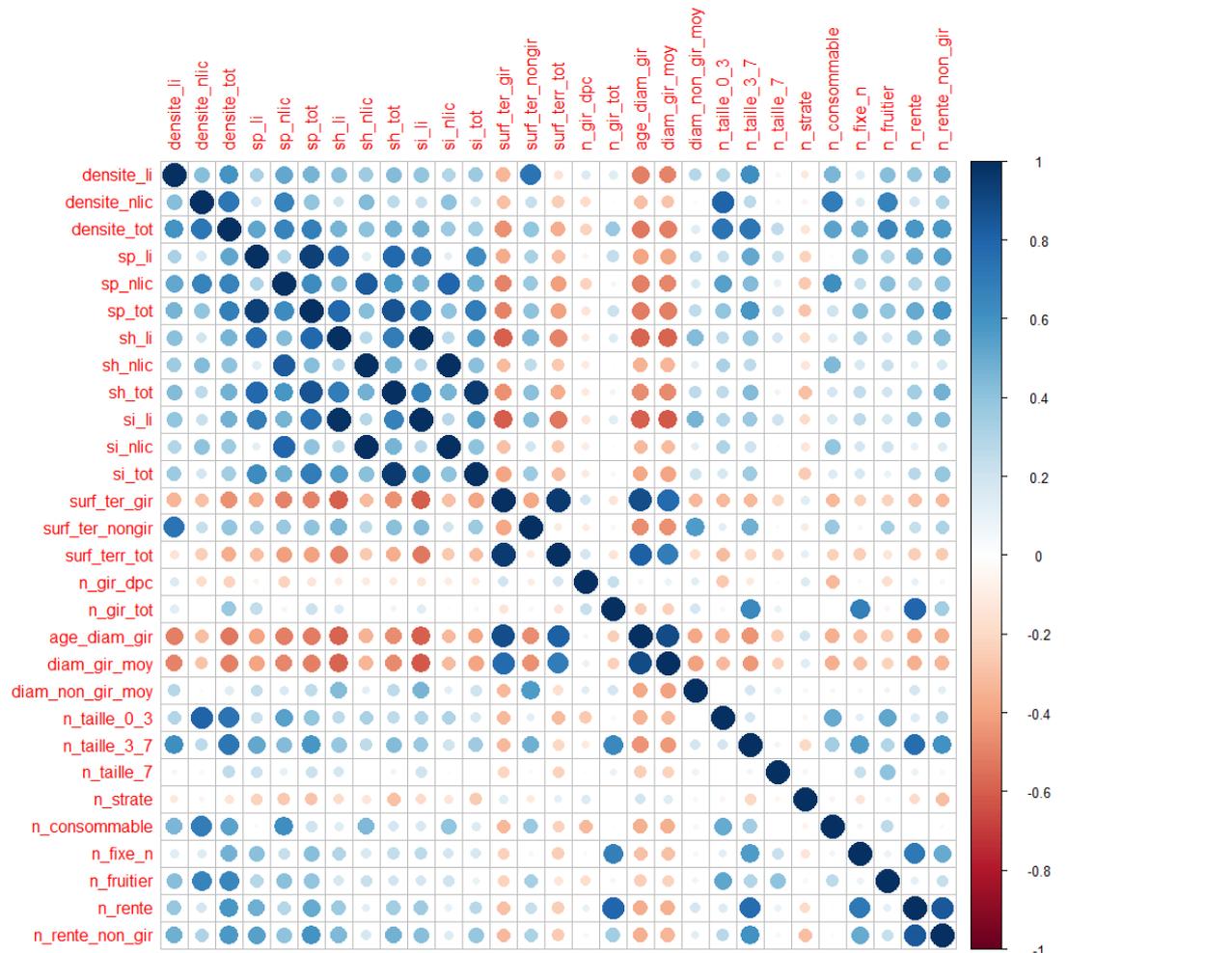
ANNEXE 27 : NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVEES DONT LES INDIVIDUS REPRESENTENT PLUS DE 90% DES INDIVIDUS NON-LIGNEUX CULTIVES TOTAUX



ANNEXE 28 : NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ESPECES LIGNEUSES DONT LES INDIVIDUS REPRESENTENT 10% DES INDIVIDUS TOTAUX



ANNEXE 29 : NOMBRE D'INDIVIDUS PAR ESPECES NON-LIGNEUSES CULTIVES DONT LES INDIVIDUS REPRESENTENT 10% DES INDIVIDUS TOTAUX



ANNEXE 30 : CARTE DE CORRELATION (HEAT-MAP) DE L'ENSEMBLE DE NOS VARIABLES DESCRIPTIVES DES INVENTAIRES

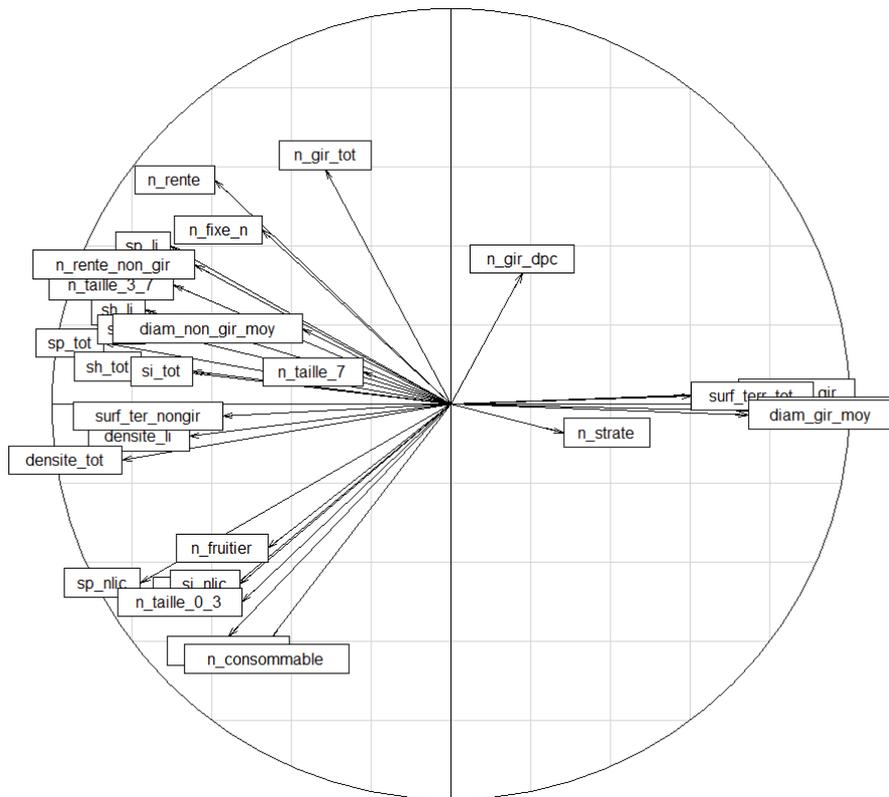
TABLEAU 32 : DESCRIPTION DES VARIABLES EXOGENES SELON LE TYPE DE SAF

Type	Statistique	Altitude	Orientation	Pente	Age début production
GTA	Minimum	207	122	7	5
	Moyenne	243	184	32	5
	Médiane	224	190	32	5
	Maximum	330	250	45	6
	Ecart-type	45	32	8	0,4
GA	Minimum	155	45	5	5
	Moyenne	178	227	28	8
	Médiane	164	238	33	10
	Maximum	255	360	53	10
	Ecart-type	38	111	14	3
GJ_LI_MOY	Minimum	181	65	15	2
	Moyenne	242	147	31	5
	Médiane	231	135	30	6
	Maximum	305	249	50	7
	Ecart-type	50	48	9	2
GJ_LI_FORTE	Minimum	161	4	8	2
	Moyenne	245	146	29	5
	Médiane	224	145	32	4
	Maximum	325	280	45	10
	Ecart-type	48	88	12	3
Total	Minimum	155	4	5	2
	Moyenne	230	176	30	6
	Médiane	224	170	32	5
	Maximum	330	360	53	10
	Ecart-type	52	75	11	2

TABLEAU 33: VARIABLES EXOGENES (SUITE) PAR TYPE

Type	Topographie			Couleur superficielle		Type de taille			Perception du sol			
	Bas-fond	Sommet	Versant	Clair	Sombre	a	b	abs	Très Fertile	Noir	Mou	Moyennement fertile
GTA	4%	19%	77%	7%	93%	85%	15%	0%	19%	26%	52%	0%
GA	0%	38%	62%	13%	87%	10%	0%	0%	38%	0%	31%	31%
GJ_LI_MOY	0%	5%	95%	5%	95%	71%	29%	0%	24%	33%	0%	29%
GJ_LI_FORTE	0%	7%	93%	7%	93%	20%	13%	67%	0%	0%	80%	7%
Total	1%	17%	82%	8%	92%	72%	15%	13%	20%	18%	39%	15%

15.3 RESULTATS DES TESTS STATISTIQUES



ANNEXE 31 : ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE REALISEE AVEC TOUTES LES VARIABLES D'INVENTAIRE

ANNEXE 32 : STATISTIQUE DES VARIABLES D'INVENTAIRES CONSERVEES

	Minimum	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Maximum
Densité ligneuse (individus par hectare)	200	833	895	539	2700
Densité non-ligneuse cultivée (individus par hectare)	0	650	856	915	2800
Nombre d'espèces ligneuses	1	4,7	5,2	2,3	11
Nombre d'espèces non-ligneuses cultivées	0	1	1,14	0,84	3
âges moyens de girofliers	7	24	27	20	35

Fin du mémoire