

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Restauration de la fertilité et
limitation de l'érosion des sols :
conception d'essais expérimentaux
par une méthode de co-
développement - Cas du GVA
d'Acoua (Mayotte)

Camille Moreau
Option APVE
(Agronomie, Productions Végétales et Environnement)
Année 2016



« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

Remerciements

Je remercie particulièrement Anthoumani Abou, animateur du GVA d'Acoua, qui m'a beaucoup aidée et soutenue tout au long de cette expérience. Je n'oublierai pas sa constante bonne humeur et ses qualités humaines qui ont rendu ce travail fort agréable.

Je remercie le bureau du GVA de m'avoir accueillie au sein de l'association.

Un grand merci à Michel Gaspérin qui m'a proposé ce stage et m'a accompagnée jusqu'à Mayotte, sur le terrain. Son aide a été précieuse jusqu'à la fin de ce travail.

Je remercie également le Bio Institut qui a financé le stage.

Je remercie Joël Huat et Stéphane Ravelojaona pour leur encadrement, l'aide qu'ils m'ont apportée, leur disponibilité et leur sympathie.

J'adresse également mes remerciements aux équipes du BRGM, du Cirad, de la Capam, à Dominique Didelot, Patrick Légier, Nathalie Dejour, Véronique Genevois, Nathalie Vassal, Jean-Marie Lopez, Juliette Soulezelle, Thierry Lescot et le Lycée du Nord pour le matériel, les documents et les conseils utiles pour mon travail.

Un remerciement à ma tutrice pédagogique, Eve Balard, qui m'a suivie et conseillée tout au long de mon stage.

Je remercie tous les agriculteurs du projet qui m'ont accueillie chaleureusement et qui par un sourire, ont égayé mes journées.

Un dernier remerciement à Raphaël, qui m'a supportée dans des moments difficiles, m'a offert son aide et sans qui, tout cela n'aurait de sens.

Résumé

Suite aux dégradations des sols et aux baisses de rendements des cultures observées par les adhérents du GVA d'Acoua, l'association d'agriculteurs, située au Nord-Ouest de Mayotte, m'a confié la mission de trouver des solutions aux problématiques de ses membres en lien avec la fertilité des sols et l'érosion. Des expérimentations seront alors mises en place en milieu paysan pour tester différents facteurs d'amélioration.

Afin d'impliquer les agriculteurs dans cette démarche de changement et de rompre avec le modèle diffusionniste inefficace des actions de développement, c'est une méthode participative de co-développement inspirée de la « méthode Gerdal » qui a été utilisée pour trouver les solutions aux problématiques des agriculteurs et concevoir ensuite les essais expérimentaux.

Le résultat est positif puisque à l'issue de ce travail, neuf des treize agriculteurs faisant partie du projet se sont engagés à mettre en place des expérimentations au sein de leurs parcelles. Des essais d'irrigation, de fertilisation par amendements organiques et d'utilisation de plantes de couverture seront testés sur les deux cultures principales de l'île, la banane et le manioc. Ces essais, unifactoriels, seront poursuivis pendant au moins cinq ans, en intégrant une amélioration continue des protocoles.

Cette expérience, concrète et formatrice, a été bénéfique aux agriculteurs. Cependant, les résultats auraient pu être meilleurs dans une situation culturelle différente. La méthode utilisée n'est pas adaptée à un contexte où les participants ne parlent pas tous la même langue. De plus, une thématique plus importante pour les agriculteurs aurait favorisé leur motivation.

Mots clés : Mayotte, sol, fertilité des sols, érosion des sols, méthode Gerdal, co-développement

Abstract

Following the degradation of soil and crop yield decreases observed by members of the GVA of Acoua, the farmers' association, located in the northwest of Mayotte, I was given the task of finding solutions to the problems of its members in relation to soil fertility and erosion. Experiments will be then implemented on-farm to test different factors of improvement.

In order to involve the farmers in this process of change and break with the inefficient diffusionist model of development actions, is a participatory method of co-development inspired by the "Gerdal method" that was used to find the solutions to problems of farmers and then to design the experimental trials.

The result is positive since after this work, nine of the thirteen farmers involved in the project have committed to implement experiments in their plots. Trials of irrigation, organic fertilizing and using cover crops will be tested on the two main cultures of the island, banana and cassava. These unifactorial tests will continue for at least five years, integrating continuous improvement of protocols.

This experience, practical and formative, has been beneficial to the farmers. However, the results could have been better in a different cultural situation. The method used is not appropriate to a context where participants do not all speak the same language. In addition, a more important topic for farmers would have increased their motivation.

Key words: Mayotte, soil, soil fertility, soil erosion, Gerdal method, codevelopment

Remerciements

Résumé

Abstract

Table des matières

Table des figures

Table des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
Partie 1 : Contexte et problématique	1
A. Le contexte	1
1. Erosion et fertilité : le contexte mondial et national	1
2. Mayotte : un territoire français en marge de la métropole	2
2. 1. Contexte environnemental.....	2
2. 1. 1. Localisation géographique de l'île	2
2. 1. 2. Le climat tropical humide insulaire	2
2. 1. 3. Géologie et pédologie	2
a) Une île formée par l'activité volcanique d'un point chaud	3
b) Les principaux matériaux actuels à l'origine des sols de l'île	3
c) Les principaux sols mahorais.....	3
2. 1. 4. Topographie de Mayotte.....	4
2. 2. Un contexte sociétal en mutation	4
2. 3. L'agriculture mahoraise	5
B. Etat de l'art	6
1. Fertilité des sols	6
1. 1. Définition.....	6
1. 2. Les enjeux de la fertilité des sols à Mayotte : processus et leviers d'action pour les agriculteurs.....	6
1. 2. 1. Une fertilité chimique contrainte par le manque d'eau	6
a) Le contexte mahorais	6
b) Les leviers d'actions	6
1. 2. 2. Epuisement chimique des sols	7
a) Le contexte mahorais et les processus en jeu	7
b) Leviers d'actions.....	8
Fertilisation : engrais et amendements	8
Les avantages de l'implantation de légumineuses	9
1. 2. 3. Acidification des sols.....	9

a)	Les hypothèses de l'acidification des sols à Mayotte	9
b)	Comment augmenter le pH du sol ?	10
1. 2. 4.	La structure du sol	10
a)	Structure des sols à Mayotte	10
b)	Travail du sol : entre labour et agriculture de conservation	10
1 ^{er}	pilier : réduction du travail du sol	10
2 ^e	pilier : successions culturales	11
3 ^e	pilier : couverts végétaux	12
2.	Erosion des sols.....	12
2. 1.	Définition.....	12
2. 2.	Les différentes étapes de l'érosion	12
2. 2. 1.	Désagrégation et ablation	12
2. 2. 2.	Transport.....	12
2. 2. 3.	Sédimentation	12
2. 3.	Les facteurs d'érosion et les leviers d'action pour les agriculteurs.....	13
2. 3. 1.	La pluviométrie.....	13
a)	Influence de la pluviométrie sur l'érosion	13
b)	Une érosion potentielle élevée à Mayotte.....	13
2. 3. 2.	La topographie	14
a)	Influence de la topographie sur l'érosion	14
b)	Comment limiter l'effet des pentes ?.....	14
2. 3. 3.	L'érosion est fonction des propriétés intrinsèques des sols.....	14
a)	Influence des sols sur l'érosion.....	14
b)	Sensibilité des sols mahorais à l'érosion	15
c)	Comment améliorer les sols pour diminuer leur sensibilité à l'érosion ?.....	15
2. 3. 4.	La couverture du sol	15
a)	Influence du couvert végétal sur l'érosion.....	15
b)	Les pratiques culturales mahoraises influencent la couverture des sols.....	15
c)	Une couverture du sol dense pour lutter contre l'érosion.....	16
2. 4.	Les conséquences de l'érosion	17
2. 4. 1.	Conséquences agronomiques.....	17
2. 4. 2.	Conséquences sur la qualité de l'eau à l'échelle régionale	17
C.	Objectifs et problématique du stage	17
1.	Le rôle du GVA d'Acoua.....	17
2.	Objectifs et résultats attendus	18
	Partie 2 : Matériel et méthode	19
A.	Démarche globale.....	19
1.	Choix et limites fixés	19
2.	Les étapes de la démarche globale.....	19

3. Calendrier de travail.....	19
B. Matériel : un réseau de 13 fermes de références	20
C. Méthodologie.....	20
1. Caractérisation des fermes de références	20
1. 1. Fonctionnement global des fermes.....	20
1. 2. Caractérisation des sols et des pentes des parcelles des agriculteurs	20
1. 3. Typologie des fermes du groupe	21
2. Une méthode participative : la méthode Gerdal.....	21
2. 1. Pourquoi utiliser une méthode participative ?.....	21
2. 2. Les différentes étapes de la méthode Gerdal.....	22
2. 2. 1. Etape 1 : Le recueil de la parole des agriculteurs	22
2. 2. 2. Etape 2 : La transformation des paroles recueillies en problématiques traitables	22
2. 2. 3. Etape 3 : La recherche co-active de solutions	22
3. Des recherches bibliographiques	23
4. La mise en œuvre par les agriculteurs.....	23
Partie 3 : Résultats.....	23
A. Caractérisation des fermes de référence	23
1. Une agriculture traditionnellement vivrière.....	23
2. Des sols ferrallitiques sur fortes pentes.....	25
3. Typologie des fermes de référence	26
B. Résultats des étapes de la méthode Gerdal	27
1. Etape 1 : Les paroles des agriculteurs, un constat général de baisse de rendement.....	27
2. Etape 2 : Transformer les difficultés exprimées en problématiques traitables	28
3. Etape 3 : Les solutions possibles.....	28
3. 1. Les solutions trouvées par et pour les agriculteurs.....	28
3. 2. ... enrichies par une démonstration d'applications concrètes	28
3. 3. ... et par des recherches bibliographiques.....	29
C. Les essais expérimentaux à mettre en place	29
1. Différents essais répartis sur le réseau de fermes de référence.....	29
1. 1. Agriculteurs participant aux essais.....	29
1. 2. Plantes cultivées	29
1. 3. Plan d'expérience	30
1. 3. 1. Un plan d'essai en bloc.....	30
1. 3. 2. Taille des unités expérimentales.....	30
1. 4. Les scénarios techniques retenus.....	30
1. 4. 1. Itinéraire technique	30
1. 4. 2. Facteurs testés.....	30
a) Irrigation	31

b) Fertilisation	31
c) Plantes de couverture	33
2. Analyse d'expérience : suivi de l'évolution de la fertilité et de l'érosion des sols.....	34
2. 1. Les indicateurs utilisés : nature et références	34
2. 2. Analyse des résultats	34
2. 2. 1. Le facteur testé a-t-il une incidence sur la fertilité et l'érosion des sols ? Comparaison des résultats entre les parcelles témoins et les parcelles tests.....	35
2. 2. 2. Quel facteur testé donne les meilleurs résultats ? Comparaison des résultats entre les agriculteurs	35
2. 2. 3. Durée des essais et évolution au cours du temps.....	35
D. Valorisation des résultats et perspectives	36
1. Valorisation des résultats du stage	36
2. Valorisation des résultats des expérimentations	36
3. Perspectives.....	37
Partie 4 : Evaluation et limites	37
A. Evaluation du travail réalisé	37
1. Investissement des agriculteurs pendant le projet.....	37
2. Questionnaire d'évaluation : bilan des agriculteurs.....	37
B. Les limites de l'étude.....	38
1. Limites méthodologiques	38
2. Limites économiques et temporelles.....	39
3. Prise en compte de la réalité ethno-sociologique.....	39
C. Retour sur l'expérience et apports personnels	39
Conclusion.....	40

Bibliographie

Annexes

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	1
Figure 2 : Normales mensuelles de cumul de précipitations et de températures moyenne, maximum et minimum enregistrées entre 1981 et 2010 à la station de Mtzamboro	1
Figure 3 : Normales des cumuls de précipitations annuelles (en mm d'eau/an) entre 1981 et 2010...2	
Figure 4 : Schéma conceptuel des formations superficielles autochtones recouvertes par les formations superficielles allochtones.....	2
Figure 5 : Principaux horizons des profils d'altération de Mayotte sur substratum basaltique	3
Figure 6 : Carte géologique de la zone Nord-Ouest de l'île	3
Figure 7 : Padzas à Chirongui (Sud de Mayotte)	4
Figure 8 : Carte topographique de Mayotte	4
Figure 9 : Répartition des pentes à Mayotte	5
Figure 10 : Confort hydrique d'un bananier idéal et de la variété Cavendish	6
Figure 11 : Mouvements d'eau par rapport au sol.....	6
Figure 12 : Cycle du phosphore	7
Figure 13 : Classement des matières organiques en fonction des caractéristiques de minéralisation à court terme (3 à 6 mois) de l'azote et du carbone.....	8
Figure 14 : Diagramme classique de Hjülstrom : ablation, transport et sédimentation des particules en fonction de la vitesse d'écoulement (cas d'érosion hydrique par ruissellement).....	12
Figure 15 : Erodibilité d'un sol en fonction du diamètre moyen des particules	14
Figure 16 : Influence des taux de cailloux (en poids dans les 5 cm supérieurs) et de MO sur l'érodibilité (K_{USA}) de sols tunisiens.....	14
Figure 17 : Facteurs qui influent sur le processus d'érosion des sols	17
Figure 18 : Représentation schématique de la démarche globale	18
Figure 19 : Calendrier réalisé des travaux effectués au cours du stage	19
Figure 20 : Carte des sites des parcelles visités	20
Figure 21 : Pyramide des solutions	22
Figure 22 : Exemple de pyramide de solutions.....	23
Figure 23 : « Elargir la surface du problème » en formulant la question autrement	23
Figure 24 : Carte des types de sol des sondages tarière réalisés	25
Figure 25 : Typologie des 13 fermes du projet	26
Figure 26 : Visite d'une ferme à Mtsangamouji	28
Figure 27 : Plan d'un essai en bloc testant deux traitements	30
Figure 28 : Plan d'une parcelle de taille idéale contenant 10 pieds.....	30
Figure 29 : Plan des parcelles expérimentales cultivés en association	33
Figure 30 : Localisation des piquets d'érosion sur une parcelle expérimentale	35
Figure 31 : Graphique de synthèse type obtenu sur R : comparaison des résultats pour un agriculteur	36
Figure 32 : Graphique de synthèse type obtenu sur R : comparaison des résultats entre les agriculteurs.....	36

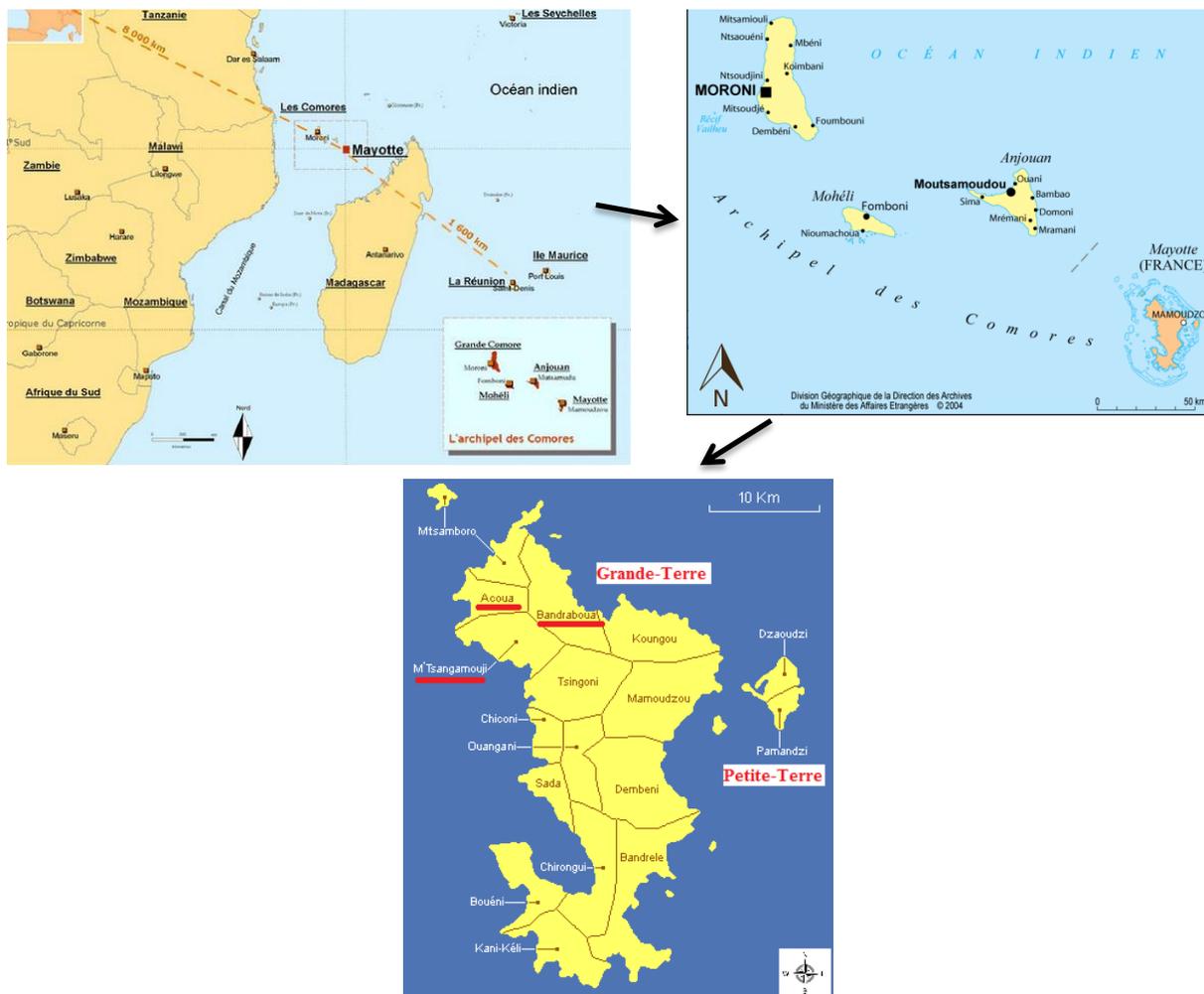
Table des tableaux

Tableau 1 : Effet des fertilisants sur le pH du sol : coefficients d'équivalence en chaux.....	9
Tableau 2 : Principales légumineuses à Mayotte	9
Tableau 3 : Des associations bénéfiques ou néfastes à Mayotte.....	11
Tableau 4 : Synthèse des effets positifs potentiels des piliers de l'agriculture de conservation	12
Tableau 5 : Importance de l'érosion en fonction de l'inclinaison de la pente	13
Tableau 6 : Importance de l'érosion en fonction de l'inclinaison de la pente	13
Tableau 7 : Erosion (t/ha) sur sol nu, sous ananas en fonction de la pente et des techniques d'utilisation des résidus de culture, Adiopodoumé.....	15
Tableau 8 : Taux d'érosion dans quelques pays selon la couverture du sol (t/ha/an).....	15
Tableau 9 : Plantes de couverture efficaces à Mayotte.....	16
Tableau 10 : Densités de plantation qui limitent l'érosion jusqu'à 13 % de pente pour les principales cultures à Mayotte.....	16
Tableau 11 : Espèces cultivées par le groupe, tous agriculteurs confondus	24
Tableau 12 : Répartition des animaux d'élevage dans le groupe.....	24
Tableau 13 : Répartition des pentes des sites visités	25
Tableau 14 : Les problématiques traitables associées à quelques expressions d'agriculteurs.....	27
Tableau 15 : Vidéos de solutions mises en place par d'autres agriculteurs dans le Monde	28
Tableau 16 : Agriculteurs qui participent aux expérimentations et localisation des parcelles concernées.....	28
Tableau 17 : Caractéristiques principales du bananier et du manioc	29
Tableau 18 : Variétés de banane et manioc cultivées	29
Tableau 19 : Taille des parcelles et de l'ensemble de l'essai pour chaque culture et agriculteur avec une disposition en parcelles alignées	31
Tableau 20 : Récupération d'eau de pluie : la quantité d'eau récoltée est-elle suffisante pour combler les besoins des cultures ? Différence entre la quantité d'eau stockée et les besoins en eau des cultures.....	31
Tableau 21 : Quantité de fertilisant à apporter en une année selon les cultures et les agriculteurs ...	32
Tableau 22 : Comparaison de la production de fumier de poulet de chair chez l'agriculteur 1 aux ressources nécessaires pour l'essai	32
Tableau 23 : Principales caractéristiques des plantes de couverture	33
Tableau 24 : Natures, références et dates de prises d'informations des indicateurs de fertilité et d'érosion.....	34
Tableau 25 : Tableau type de résultats à utiliser avec R.....	35

Liste des abréviations

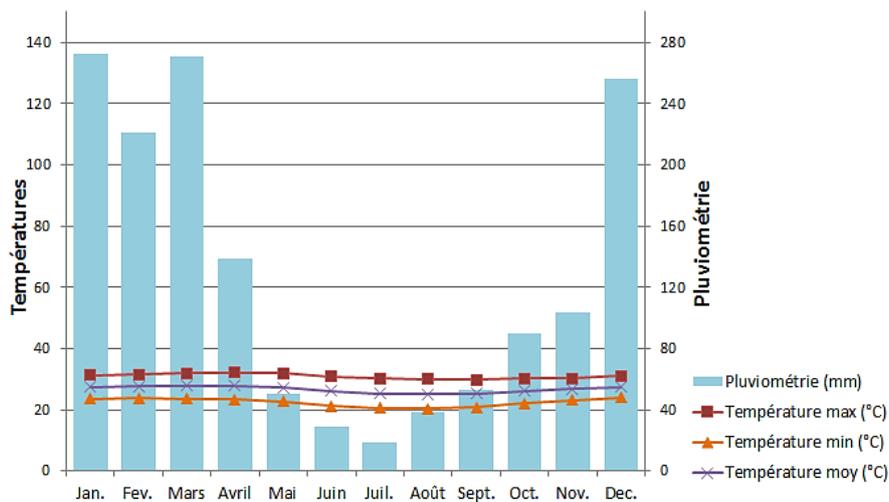
ACP : analyse en composantes principales
Anova : analyse de la variance (*analysis of variance*)
Bioferm : gestion conservatoire des biomasses, des nutriments et de la fertilité des sols dans les petites exploitations familiales de Mayotte
BRGM : bureau de recherches géologiques et minières
CAH : complexe argilo-humique
CAH : classification ascendante hiérarchique
Capam : chambre d'agriculture, de la pêche et de l'aquaculture de Mayotte
CEC : capacité d'échange cationique
Cfppa : centre de formation professionnelle et de promotion agricole
Cirad : centre de coopération international en recherche agronomique pour le développement
Coopac : coopérative des agriculteurs du centre
DAAF : direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
FAO : organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Gerdal : groupe d'études et de recherches pour un développement agricole local
GVA : groupement de vulgarisation agricole
Insee : institut national de la statistique et des études économiques
IRD : institut de recherche pour le développement
Leselam : lutte contre l'érosion des sols et l'envasement du lagon à Mayotte
MAAF : ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt
MEEM : ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer
MO : matière organique
ONG : organisation non gouvernementale
PAC : politique agricole commune
RITA : réseau d'innovation et de transfert agricole
RUP : région ultrapériphérique
Safer : société d'aménagement foncier et d'établissement rural
SAU : surface agricole utile
SCV : système de culture sur couverture végétale
TCL : théorème central limite
TCS : techniques culturales simplifiées
TCSL : techniques culturales sans labour
WP : sous-projet (*work package*)

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (les communes concernées sont soulignées en rouge)



(De Susanne, s.d.; Ministère des Affaires étrangères et du Développement international, 2016; Statistiques Mondiales, s.d.)

Figure 2 : Normales mensuelles de cumul de précipitations et de températures moyenne, maximum et minimum enregistrées entre 1981 et 2010 à la station de Mtzamboro (25 m d'altitude ; distance d'Acoua : 3 km ; les températures moyennes ont été calculées à partir des deux autres températures ; la pluviométrie de décembre, valeur manquante dans les données, a été estimée à partir des données mensuelles des années 2003 à 2005)



(Météo France, 2016)

Le sol est un élément indispensable pour l'agriculture puisqu'il constitue le support vivant de nos cultures. Or, la surface des terres arables est limitée et doit donc être préservée pour répondre à la demande croissante de nourriture. Aujourd'hui, les sols sont menacés, notamment par l'érosion. Plus largement, la fertilité des sols doit être maintenue pour que les agriculteurs produisent suffisamment afin d'alimenter les populations.

Mayotte n'échappe pas aux dégradations à l'origine de la baisse de fertilité des sols (Barthès, 2003; Michellon, 2003; Ruellan, 1993). Au contraire, beaucoup de sols tropicaux sont très sensibles à l'érosion et peu fertiles (Tiessen et al., 1994).

Le groupement de vulgarisation agricole (GVA) d'Acoua, association de producteurs à Mayotte, tente de développer l'agriculture du Nord-Ouest de l'île par divers moyens : vente des produits agricoles sur le marché du village, formations, organisation de rencontres internationales entre agriculteurs, conseil et construction d'infrastructures, entre autres. Le marché, qui constitue une source de revenu pour le GVA, reste peu fréquenté. Peu de produits sont proposés, en diversité et en quantité. Les objectifs du GVA à moyen terme ont pour but de développer le marché : l'association souhaite obtenir des produits diversifiés de manière plus régulière et en plus importante quantité. Hors, une baisse générale des rendements a été observée par les agriculteurs. La baisse de fertilité des sols et l'érosion seraient, d'après eux en partie responsables de cette diminution.

C'est dans ce contexte que le GVA m'a confié une mission : contribuer à l'amélioration du rendement des agriculteurs en agissant sur la fertilité et l'érosion des sols. Est-il possible d'agir pour éviter une plus grande dégradation des sols ? Comment les agriculteurs peuvent lutter contre ces menaces ? Il s'agit de comprendre les causes de l'érosion et de baisse de fertilité des sols et de trouver des techniques accessibles aux adhérents permettant de les limiter. Ces techniques seront testées en milieu paysan par les agriculteurs des fermes de références.

Après avoir, dans un premier temps, présenté le contexte et la problématique du stage, puis, dans un second temps, les fermes de références et la méthodologie utilisée pour la conception des essais, nous verrons quelles expérimentations seront mis en place dès la saison prochaine et comment elles seront valorisées. Enfin, nous terminerons par présenter les limites de ce travail, un bilan du stage et un retour sur expérience.

Partie 1 : Contexte et problématique

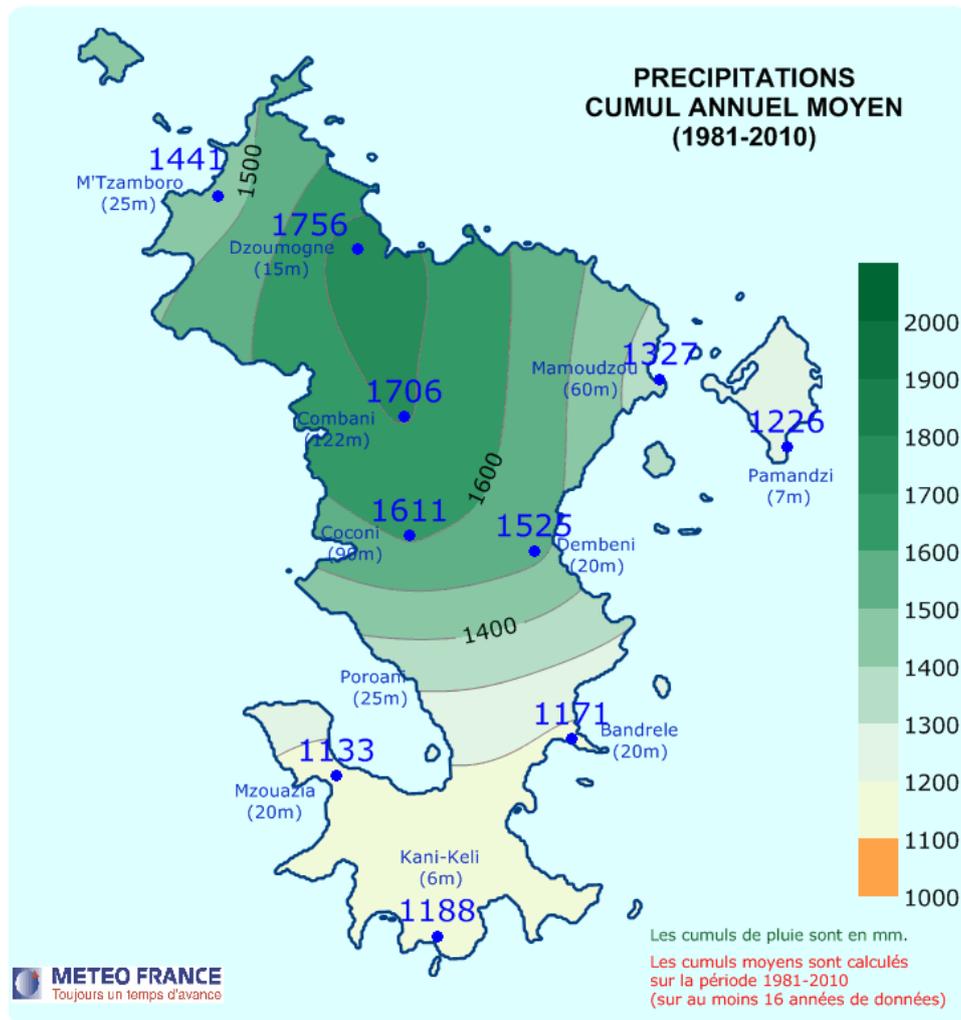
A. Le contexte

Cette première partie présentera le contexte du travail réalisé, afin de mieux connaître l'environnement dans lequel il a été produit. Il nous permettra également d'apporter des informations nécessaires qui seront utilisées par la suite dans la compréhension des processus liées à la fertilité des sols et à l'érosion sur le territoire.

1. Erosion et fertilité : le contexte mondial et national

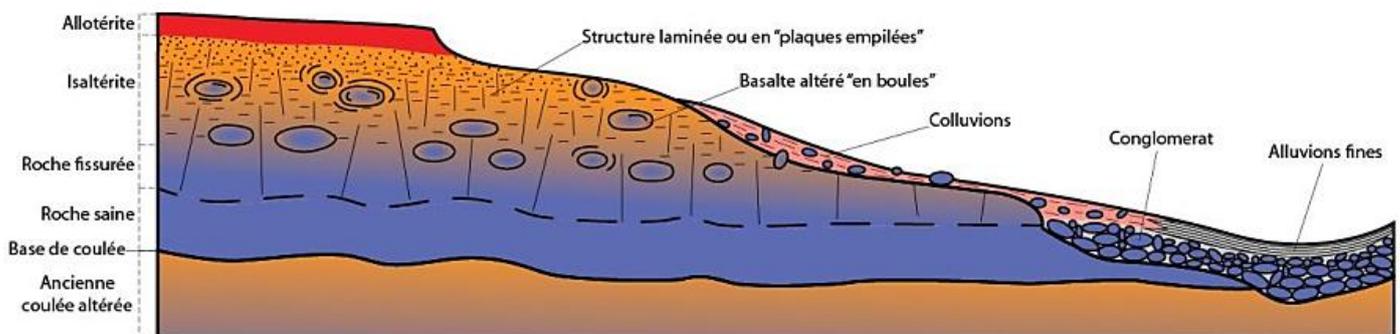
Dès les années 30, aux Etats-Unis, les agriculteurs ont essuyé de graves problèmes d'érosion des sols. Sécheresse, pluies et vents violents ont eu des conséquences désastreuses : le « Dust Bowl » (bassin de poussière) (Mollier, 2013). Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 552 millions d'ha ont été érodés dans le Monde entre 1945 et 1990. « L'érosion des sols touche particulièrement les pays en développement, mais [...] la perte de la fertilité des sols s'aggrave dans tous les pays », conclue déjà la Déclaration de Rio en 1992 (Consoglobe, s.d.). Désormais, l'érosion est prise au sérieux : elle serait une des menaces les plus importantes pour les sols, selon la Commission Européenne (Commission européenne, 2011). En France métropolitaine, 35% des surfaces sont concernées par des pertes en terre de plus de 0,5 t/ha/an par érosion hydrique (MEEM, 2014). Au-delà de l'érosion, de nombreuses menaces pèsent sur la fertilité des sols. Selon le dernier rapport publié par l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) sur l'état des ressources en sols dans le Monde, les sols sont en danger et leur fertilité diminue. Les dégradations observées sur les sols sont de différentes natures : perte de nutriments et

Figure 3 : Normales des cumuls de précipitations annuelles (en mm d'eau/an) entre 1981 et 2010



(Météo France, 2016)

Figure 4 : Schéma conceptuel des formations superficielles autochtones recouvertes par les formations superficielles allochtones



(Nehlig et al., 2013)

de carbone organique, imperméabilisation, salinisation, compactage, engorgement, acidification, perte de biodiversité ou encore pollution chimique. Ces dégâts sont principalement dus à la présence de l'Homme : croissances démographique et économique, urbanisation, industrialisation et changement climatique sont les principales sources de la baisse de fertilité des sols. Cependant, la FAO déclare que ces processus ne sont pas irréversibles : une gestion durable des sols doit être développée (FAO, 2015).

Il n'existe cependant aucune loi règlementant la protection des sols en France. En 2012, Stéphane Le Foll présente tout de même un projet agroécologique appelé « Produire autrement » qui entend encourager la protection des sols (MAAF, 2015). Le travail mené à Mayotte s'inscrit dans cette démarche. Présentons maintenant le contexte global de cette étude sur l'île.

2. Mayotte : un territoire français en marge de la métropole

2.1. Contexte environnemental

2.1.1. Localisation géographique de l'île

Mayotte est un Département-Région d'Outre-Mer français situé dans l'archipel des Comores, lui-même localisé dans le Canal du Mozambique et l'Océan Indien, entre l'Afrique de l'Est (à 400 km) et le Nord de Madagascar (à 300 km). Mayotte, d'une superficie de 374 km², est constituée de deux îles principales, Grande-Terre et Petite-Terre, et de nombreux petits îlots. Son chef-lieu est Mamoudzou. Mayotte est entourée d'une barrière récifale de 160 km de long qui délimite ainsi un très large lagon d'une superficie de 1100 km² (Nehlig et al., 2013).

Le projet est mis en œuvre avec une association d'Acoua, commune située au Nord-Ouest de Mayotte. Le projet s'étend sur la zone d'Acoua et des communes voisines (Mtsangamouji et Brandaboua) (Figure 1, p 1).

2.1.2. Le climat tropical humide insulaire

Le climat, de type tropical humide insulaire, est caractérisé par des faibles variations de températures journalières et annuelles (21 à 28°C au cours de l'année en moyenne sur l'île) et des précipitations importantes (plus de 1500 mm d'eau/an en moyenne). Ce climat est largement modifié par le relief (vent, altitude, exposition, ...). La température a tendance à diminuer de 0,8°C par tranche de 100 m. Il existe deux grandes saisons marquées (Météo France, 2016; Raunet, 1992).

A la saison des pluies (été austral ou « kashkasini »), chaude et pluvieuse, de novembre à mai, le vent Nord à Nord-Ouest est chargé d'humidité qui est déposée sous forme de pluies orographiques¹ (Météo France, 2016). A la saison sèche (hiver austral ou « kussini »), fraîche et sèche, de mai à novembre, les alizés provenant du Sud-Est dessèche les zones côtières de l'Est et du Sud (Météo France, 2016; Raunet, 1992). L'humidité en saison des pluies et la sécheresse hivernale sont très inégalement réparties. La partie Nord de l'île est la plus humide et la partie Sud la plus sèche (Figure 3).

Dans la partie Nord de l'île, qui nous intéresse, les relevés météorologiques de la station la plus proche d'Acoua ont permis de réaliser un diagramme ombro-thermique présenté Figure 2 (p 1). L'échelle des axes a été fixée de manière à pouvoir comparer les variables. Lorsque les barres de l'histogramme de pluviométrie dépassent la courbe de températures moyennes, les cultures ne souffrent pas de stress hydrique : la quantité d'eau est suffisante des mois de septembre à avril.

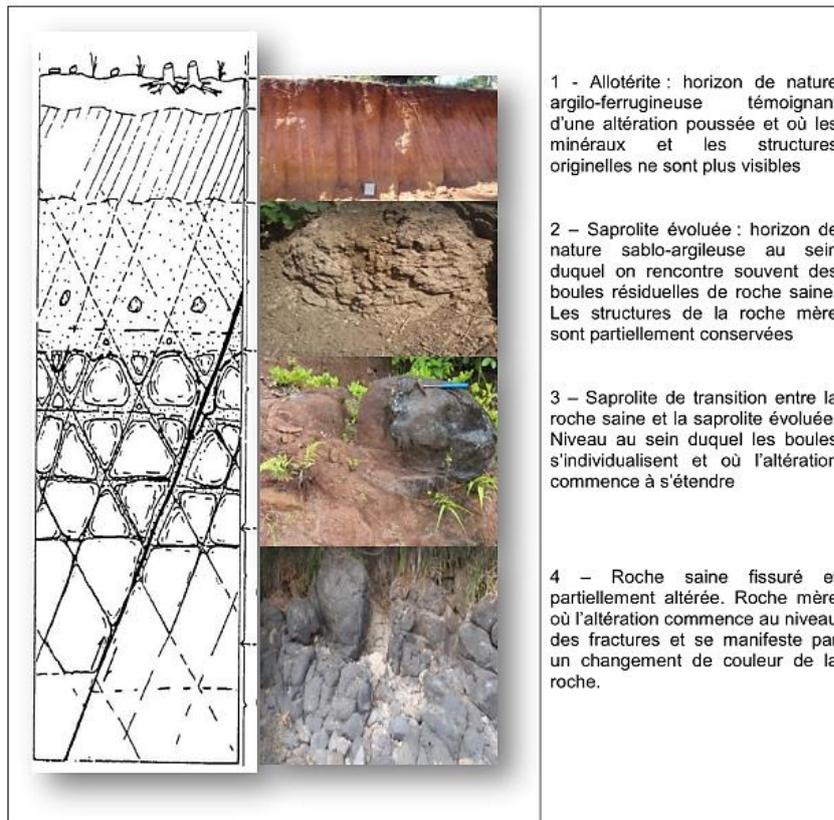
Les détails concernant la hauteur des pluies, leur intensité et leur répartition au cours de l'année seront explicités plus loin.

2.1.3. Géologie et pédologie

Il est indispensable de s'intéresser au passé géologique de l'île et des matériaux (sol et sous-sol) qui la composent actuellement pour comprendre les processus en jeu liées aux thématiques de fertilité et d'érosion des sols. La morphopédologie actuelle de Mayotte est à la fois le reflet d'un passé volcanique et de processus de remaniements plus récents.

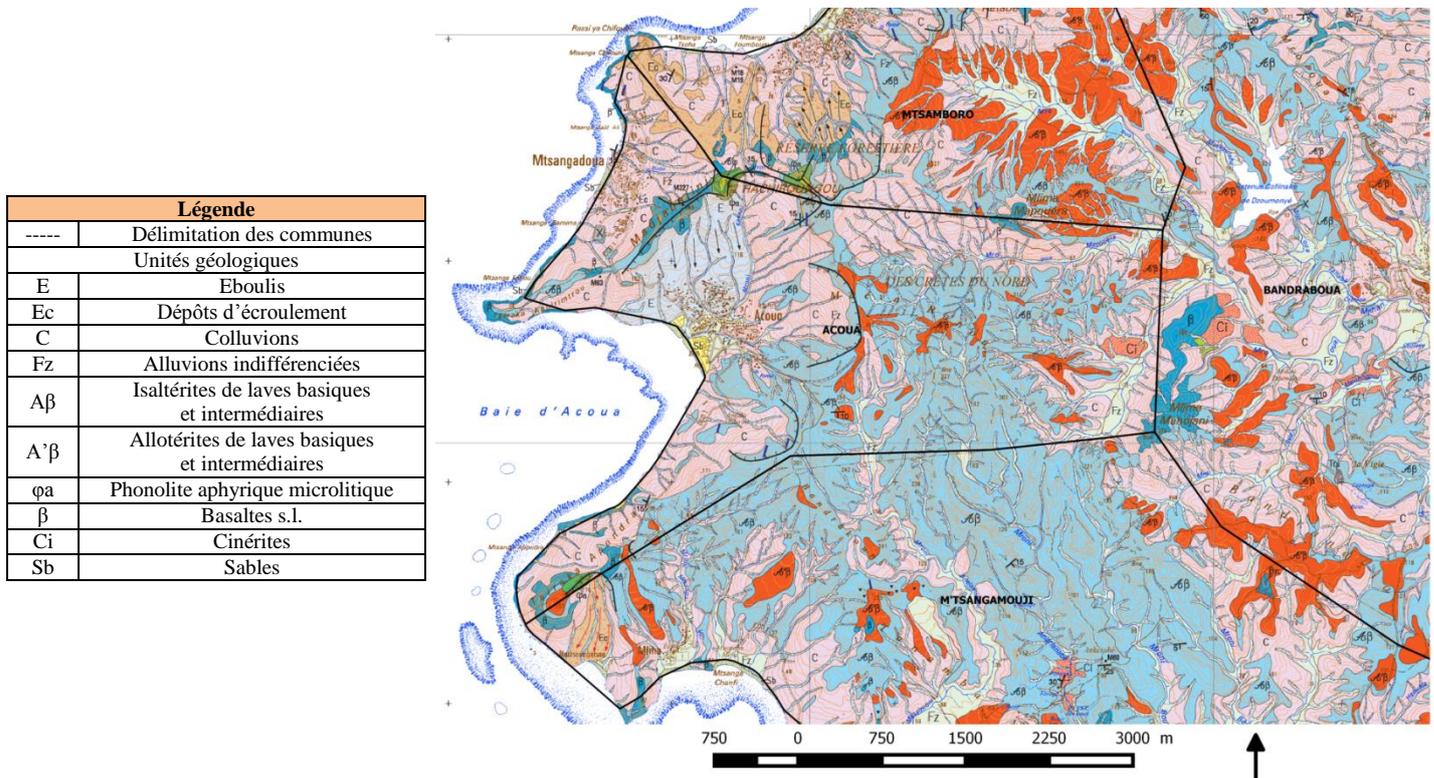
¹ Orographique : qui varie selon les reliefs terrestres.

Figure 5 : Principaux horizons des profils d'altération de Mayotte sur substratum basaltique



(Nehlig et al., 2013)

Figure 6 : Carte géologique de la zone Nord-Ouest de l'île



(BRGM, 2013)

a) Une île formée par l'activité volcanique d'un point chaud

L'archipel des Comores s'est formé par l'activité d'un point chaud qui s'est déplacé de l'île de Mayotte (plus ancien) jusqu'à l'île de Grande Comores (plus récent). Le Nord-Ouest de l'île est constitué des restes extrêmement érodés des laves anciennes basiques de nature basaltique et basanites². De nombreux processus géomorphologiques (effondrement, glissement, fracturation, érosion, ...) qui se sont déroulés simultanément ou successivement aux constructions volcaniques, ont conditionné l'évolution de la morphologie de l'île (Raunet, 1992).

La totalité des matériaux de Mayotte (hormis ceux de Petite-Terre principalement, issus du volcanisme récent) ont subi une ferrallitisation³. Les roches ont été affectées par une épaisse altération hydrolytique, qui peut atteindre jusqu'à 30 m d'épaisseur (ibid).

b) Les principaux matériaux actuels à l'origine des sols de l'île

On distingue à Mayotte deux types de matériaux principaux : les formations superficielles autochtones et allochtones.

Les formations superficielles autochtones proviennent de l'altération latéritique des roches d'origine. La majeure partie des faciès latéritiques montrent la même tendance évolutive de la base vers le sommet (Figure 4 (p 2) et 5). On distingue de la surface à la roche mère (Nehlig et al., 2013; Raunet, 1992) : l'allotérite (où le sommet du manteau d'altération a été argilifié, kaolinisé⁴ et rubéfié⁵ par libération d'oxydes de fer), la saprolite évoluée, la saprolite de transition et la roche saine fissurée. Les sols sont issus de divers types de remaniement de la séquence latéritique décrite dans le chapitre précédent.

Les formations autochtones forment (Raunet, 1992) :

- Les sols ferrallitiques non remaniés: ces sols sont issus de l'allotérite non remaniée. Ils ont une texture très argileuse. Ses couleurs varient du brun/rouge au rouge sombre. Les minéraux primaires sont absents. Ces sols ont une forte perméabilité.
- Les sols ferrallitiques remaniés par déplacement latéral : ils résultent des mouvements de masse (glissement) de la couche argileuse précédemment décrite, à l'état humide.

Les formations superficielles allochtones sont issues des dépôts sédimentaires transportés par l'eau et la gravité. On en distingue deux grands types (Nehlig et al., 2013; Raunet, 1992):

- Les matériaux de transit de pente sont des colluvions de nature variable peu épaisses.
- Les matériaux de remblais alluviaux et colluviaux.

Ces différents types de sols sont représentés sur la carte morphopédologique de l'île (Annexe 1).

Le complexe volcanique du Nord affiche une morphologie assez récente marquée par des reliefs escarpés (crêtes et ravines). Cela est mis en évidence sur la carte géologique de la zone d'étude (Figure 6), sur laquelle on peut distinguer les différents types de couches de formations autochtones et allochtones décrits auparavant.

c) Les principaux sols mahorais

Les principaux sols de l'île sont des sols ferrallitiques, à texture fine (argileux ou limoneux) et perméables, des padzas⁶ (Figure 7, p 4), issus d'altérites et des sols colluviaux-alluviaux épais et argileux (Raunet, 1992). La texture des sols de Mayotte est globalement homogène. Les sols sont en effet issus d'un même type de roches, dominé par les basaltes qui s'altèrent en donnant des argiles, essentiellement kaoliniques. Les sols sont glissants à l'état humide et sous forme de poudre à l'état

² Basalte et basanite : deux roches volcaniques microlitiques à olivine et/ou pyroxène. Les basaltes, contrairement aux basanites, contiennent des microlites de plagioclases dans la mésostase.

³ Ferrallitisation (ou latérisation) : décomposition totale des roches alumino-silicatées et ferrifères qui donne naissance aux sols ferrallitiques sous climat tropical humide.

⁴ Kaolinisation : transformation des roches en kaolinite, silicate d'aluminium hydraté.

⁵ Rubéfaction : processus de coloration en rouge du sol par altération des minéraux primitifs de la roche mère qui libère d'importantes quantités d'oxydes de fer.

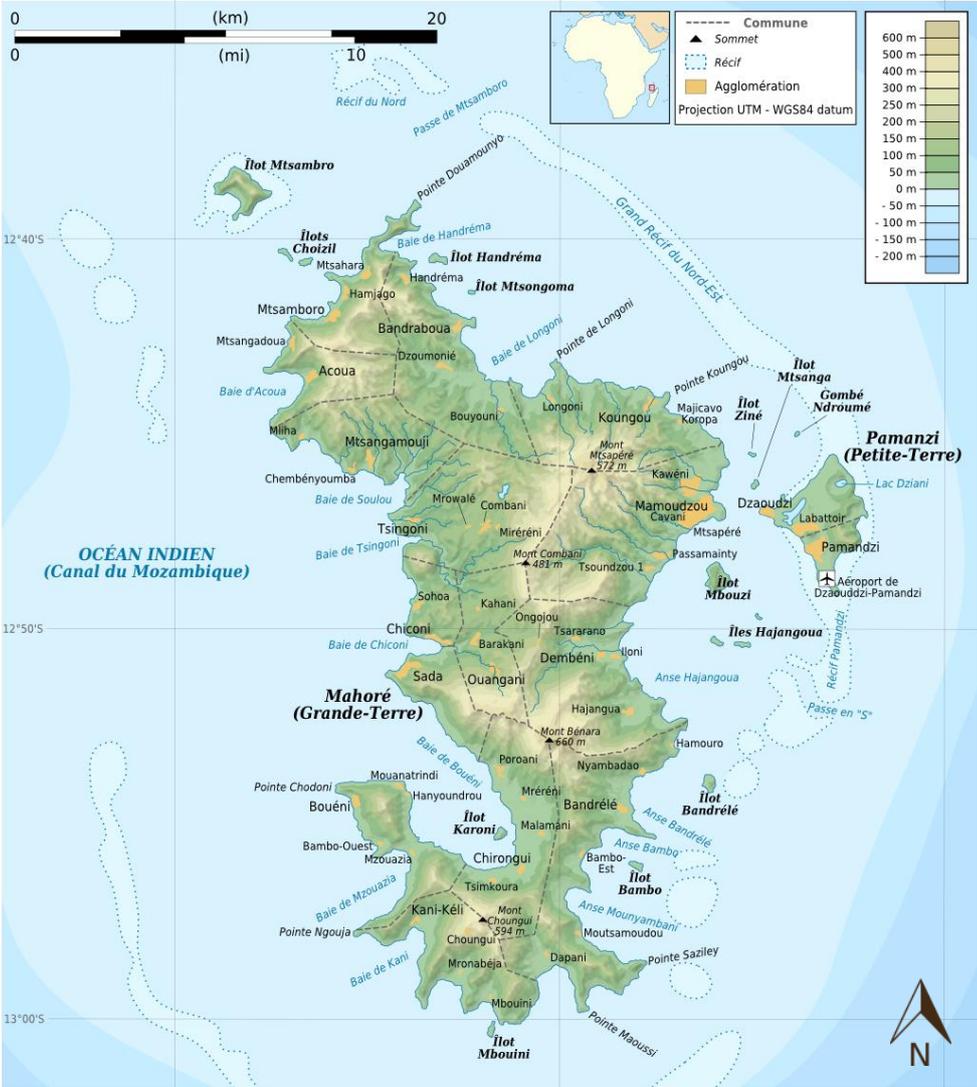
⁶ Padza : « bad land » en mahorais ; sol rougeâtre dénudé, non propice aux cultures et au relief accidenté ; ces sols sont le résultat d'une érosion intense sur les altérites en position de crêtes.

Figure 7 : Padzas à Chirongui (Sud de Mayotte)



(Rey, 2012)

Figure 8 : Carte topographique de Mayotte



(Anon., 2012)

sec (Nehlig et al., 2013; Pariaud, 2003) et ils présentent une faible cohésion structurale (Lopez et al., 2015). Chabalière (2006) rajoute que la structure des sols se dégrade et est souvent mauvaise en profondeur. Les sols sont souvent bruns à rouges, perméables et très fragiles. Sur l'île, l'épaisseur de sol utilisable varie entre 30 cm (sols peu profonds de versants décapés) et plus de 2 m (sols profonds de plaines littorales et fonds de vallées) (Nehlig et al., 2013; Pariaud, 2003).

Latrille (1981a) apporte des indications sur la fertilité des sols de Mayotte : certains sols sont compacts, la pierrosité de surface est variable et parfois excessive (présence de blocs rocheux), les sols sont acides à neutres et certains sols sont sensibles à la sécheresse. D'après lui, les sols ont globalement une fertilité chimique forte en surface mais faible en profondeur : des carences sont à prévoir en cas d'utilisation intensive des terres si les jachères ne deviennent pas plus longues et s'il n'y a pas d'apport de fertilisant. Le risque de carence le plus élevé concerne le phosphore. D'autres éléments comme le potassium, le calcium et le magnésium pourraient limiter le développement des cultures, en moindre mesure. Quelques analyses de sol réalisées par le centre de coopération international en recherche agronomique pour le développement (Cirad) de La Réunion confirment les observations de Latrille : les sols analysés sont riches en matière organique (MO) en surface mais pauvres en profondeur, très acides à neutres et assez pauvres en phosphore (46 mg de phosphore assimilable / kg de sol sec en moyenne à une profondeur de 10-15 cm). Ces résultats sont à relativiser car ils ne sont pas représentatifs des sols de l'île.

Le passé volcanique, à l'origine des sols de l'île, a aussi façonné ses paysages.

2. 1. 4. Topographie de Mayotte

Le relief est un élément important à prendre en compte dans la démarche de travail. Il sera utile à la compréhension des phénomènes d'érosion et de la formation des sols notamment. La Figure 8 présente la topographie de Mayotte.

Le relief de Grande-Terre est organisé par quatre barrières montagneuses. La côte est fortement découpée et présente de nombreuses baies, presqu'îles et pointes (Nehlig et al., 2013). Mayotte est caractérisée par des pentes fortes, surtout au voisinage des crêtes et par une altitude maximale assez faible mais relativement élevée pour sa taille. Grande-Terre culmine à 660 m d'altitude au mont Bénara et Petite-Terre à 203 m au lieu-dit « La Vigie » (ibid).

Le relief est escarpé : la Figure 9 (p 5) met en évidence que les pentes supérieures à 20 % couvrent la moitié du territoire et les pentes supérieures à 40 %, 27 % de l'île (Soquet, 2003). A Mayotte, la très grande majorité des terrains cultivés présente donc des pentes très supérieures à 5 % (Lopez et al., 2015). La topographie de la zone d'étude sera présentée ultérieurement.

Maintenant que nous avons présenté le contexte naturel de l'île, il est important de définir le contexte sociétal, très éloigné du métropolitain. Le projet s'inscrit dans une société originale qui se doit d'être brièvement explicitée pour mieux comprendre certains éléments du projet.

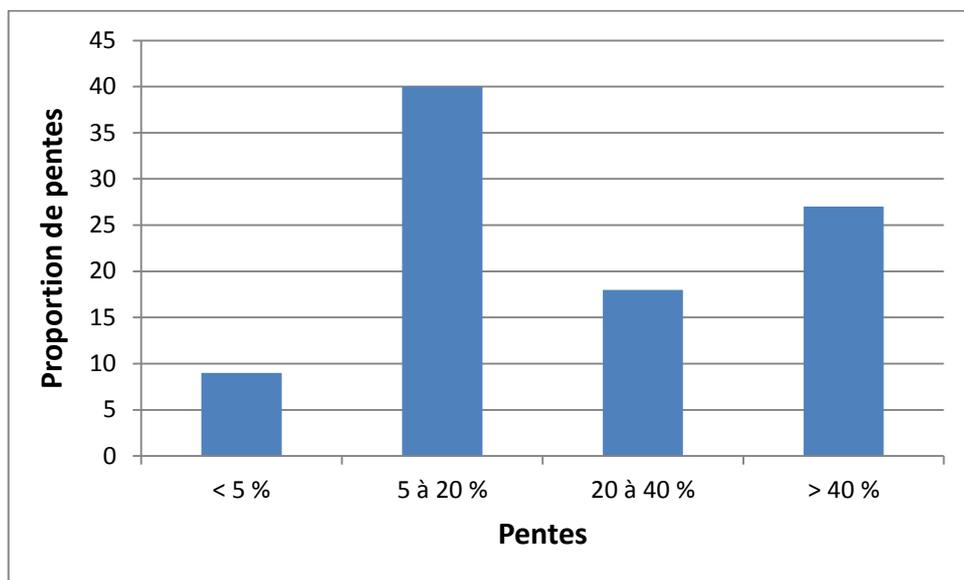
2. 2. Un contexte sociétal en mutation

Ancienne collectivité d'Outre-Mer, Mayotte devient le 101^e département français en 2011, à la suite d'un référendum local. La départementalisation de Mayotte à de nombreuses fois été remise en cause car le système législatif imposé mais aussi la manière de pensée française rompent avec les habitudes mahoraises. En 2014, Mayotte intègre l'Union Européenne en tant que région ultrapériphérique (RUP). La société mahoraise traditionnelle présente des aspects différents de la société française classique qui ont cependant tendance à évoluer : religion musulmane dominante, matriarcat (matrilinéarité⁷ et matrilocalité⁸), polygamie, prédominance du groupe sur l'individu (Ministère des Outre-Mer, s.d.). La densité de population est très élevée car Mayotte est victime d'une forte immigration clandestine en provenance principalement des Comores voisines et l'indice de fécondité est très élevé (4,1 enfants par femme). Le département est aussi le plus jeune de France. Une partie de la population ne parle pas français, le niveau scolaire et de qualification est

⁷ Matrilinéarité : filiation définie dans la lignée maternelle.

⁸ Matrilocalité : résidence de la famille chez la mère.

Figure 9 : Répartition des pentes à Mayotte



(Soquet, 2003)

faible et l'accès à l'emploi difficile (36 % de chômage) (Balicchi et al., s.d.). Depuis quelques années, l'île essuie de nombreux mouvements de contestations et de revendications sociales. La délinquance est récurrente ce qui provoque un fort sentiment d'insécurité (Insee Mayotte, 2007). Cette année, le climat social a été très tendu : les mahorais commencent à expulser de manière sauvage les immigrés clandestins accusés des actes de délinquance commis sur l'île et une longue période de grèves a eu lieu (Le Parisien, 2016).

Finalement, ce territoire est encore en pleine transition, entre « Europe moderne » et « Afrique traditionnelle », ce qui est aussi marqué dans le domaine de l'agriculture.

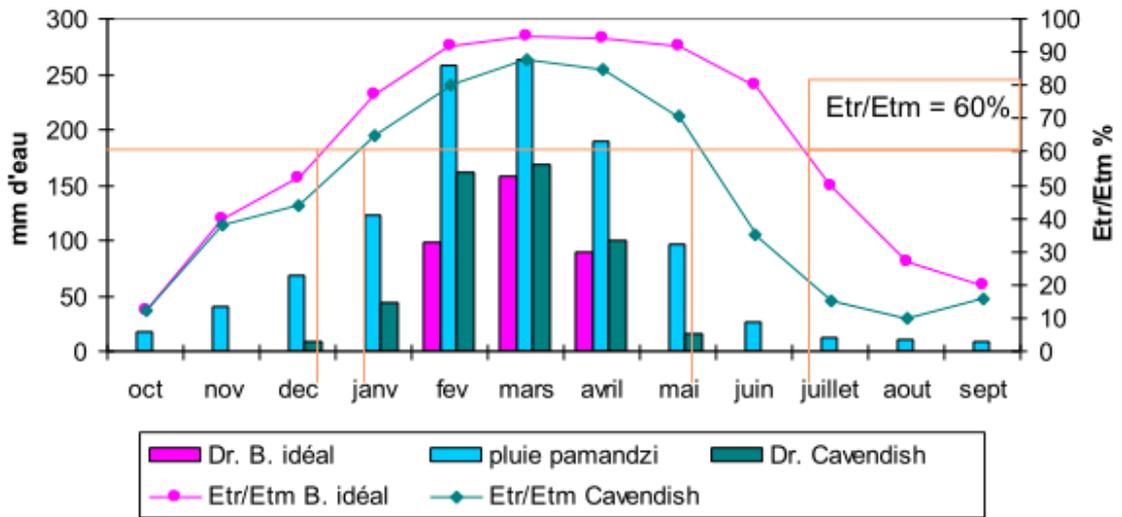
2.3. L'agriculture mahoraise

D'après le recensement agricole de 2010, l'agriculture représente un secteur économique très important : elle fait vivre environ 60 000 personnes, soit un quart de la population. Il existe 16 000 exploitations sur l'île mais seulement la moitié des chefs d'exploitation sont agriculteurs à titre principal : la pluriactivité est très courante. Seulement un tiers de la surface cultivable (55 % du territoire) est utilisé car l'accès aux parcelles est difficile, ce qui oblige les agriculteurs à cultiver près des villages. La plupart des systèmes agricoles sont traditionnels et essentiellement agroforestiers (jardin mahorais) sur de très petites surfaces (surface agricole utile (SAU) de 0,45 ha en moyenne). Les surfaces dédiées aux productions végétales sont réparties de la manière suivante : 92 % de cultures vivrières (manioc, banane, ambrevade⁹, autres), 2 % de cultures fruitières (fruits tropicaux), 1,9% de maraichage, 2,4 % de cultures de rente (vanille et ylang-ylang) et 1,5 % de cultures fourragères. L'agriculture à Mayotte est donc principalement vivrière. Un tiers des agriculteurs sont également éleveurs. Les élevages bovins, caprins et avicoles sont caractérisés par un faible effectif d'animaux par ferme (bovins : 4,8 en moyenne ; caprins : 6) et une gestion de troupeau traditionnelle avec peu de compléments alimentaires et de traitements sanitaires. L'abattage des bêtes est réalisé par les éleveurs eux-mêmes ou les clients du fait de l'absence d'abattoir sur l'île. L'agriculture mahoraise familiale est perçue comme peu développée : très faibles équipements (1 % des exploitations possède du matériel agricole motorisé, les bâtiments d'élevage sont rares) et appui extérieur (formation, conseil, suivi, subventions). Elle fournit une grande partie de l'alimentation de base de la population mais la demande de légumes et de viande frais, produits rémunérateurs sur l'île, est supérieure à l'offre : une montée en puissance des filières maraichage et élevage est à prévoir (DAAF Mayotte, 2011a). L'agriculture mahoraise se dirige vers la professionnalisation des agriculteurs et l'intensification de la production. En effet, l'enseignement agricole est présent au Lycée agricole de Coconi que depuis 1974. L'établissement a évolué depuis 1994 vers un statut d'établissement public national (Alim'agri, 2011). Le centre de formation professionnelle et de promotion agricole (Cfppa) de Mayotte y est associé. D'autres structures qui concourent à la professionnalisation des agriculteurs existent depuis quelques années : la direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DAAF) depuis 2011 (Sarkozy, 2011) ou encore la chambre d'agriculture, de la pêche et de l'aquaculture de Mayotte (Capam) depuis 2006 (Communication personnelle).

Cependant, de nombreuses difficultés freinent le développement agricole. Une étude menée en 2014 par le Bio Institut, qui avait seulement pour objectif la formation à la méthode du groupe d'études et de recherches pour un développement agricole local (Gerdal), met en évidence les principales thématiques qui posent problème aux agriculteurs du Nord-Ouest de l'île : aspects techniques (pratiques agricoles à améliorer, complexité des règles administratives, ...), organisation collective (manque d'infrastructures et de moyens de transport, gestion difficile du foncier, manque de main d'œuvre) et évolutions sociétales (transmission des fermes, pluriactivité, perte des savoir-faire, insécurité, vieillesse,...) (Gaspérin, 2014). Parmi celles-ci, les agriculteurs ont évoqués une baisse du rendement des cultures. D'après eux, cette diminution s'expliquerait par la baisse de fertilité du sol, l'érosion et le changement climatique principalement. Intéressons-nous de plus près aux thématiques de fertilité et d'érosion des sols.

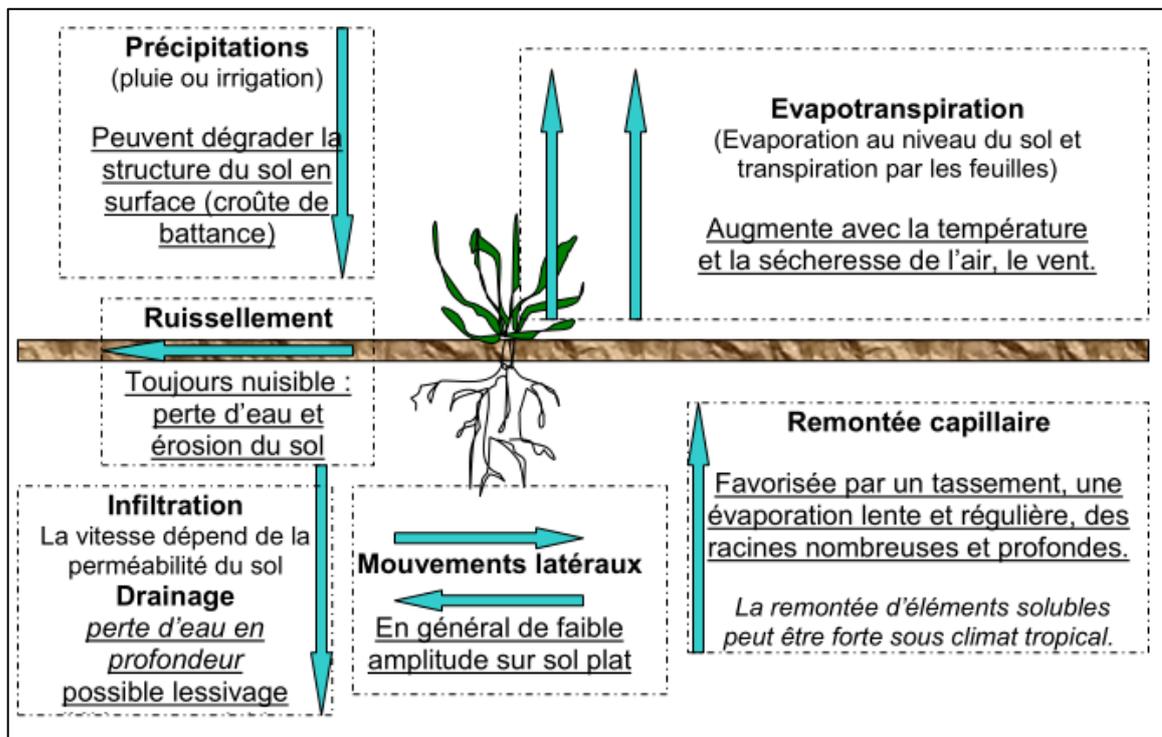
⁹ Ambrevade (ou pois d'Angole ; *Cajanus cajan*) : Arbuste vivace des régions tropicales de la famille des Fabacées.

Figure 10 : Confort hydrique d'un bananier idéal et de la variété Cavendish (Dr. : drainage ; B. : bananier ; Etm : évapotranspiration maximale¹⁰ ; Etr : évapotranspiration réelle¹¹ ; si Etr/Etm > 60 % : bonne croissance végétative du bananier)



(Pariaud, 2003)

Figure 11 : Mouvements d'eau par rapport au sol



(Pariaud, 2003)

¹⁰ Evapotranspiration maximale : quantité d'eau évaporée par le couvert végétal et le sol sans contrainte hydrique.

¹¹ Evapotranspiration réelle : quantité d'eau évaporée par le couvert végétal et le sol en réalité, avec contrainte hydrique.

B. Etat de l'art

L'érosion et la baisse de fertilité des sols constituent des enjeux importants. Est-il possible d'agir pour éviter une plus grande dégradation des sols ? Comment les agriculteurs peuvent lutter contre ces menaces ? Cette partie permet de mieux comprendre les processus associés à la fertilité et à l'érosion des sols à Mayotte.

1. Fertilité des sols

1.1. Définition

La fertilité d'un sol désigne son aptitude à produire. Elle dépend d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques au sol (physiques, chimiques et biologiques), dues principalement au climat et à l'histoire géologique, mais aussi des pratiques culturales qui lui sont appliquées puisqu'elles influent sur les propriétés des sols. La fertilité d'un sol se mesure le plus souvent par les rendements obtenus.

La fertilité physique du sol influence la circulation de l'air, la circulation et rétention de l'eau et l'érodibilité¹². La fertilité chimique du sol correspond à l'accès des plantes aux éléments nutritifs du sol. La fertilité biologique d'un sol est liée aux organismes qui y vivent et qui assurent différents services agrosystémiques.

On propose d'étudier principalement les problèmes de fertilité dans le contexte de l'île, les processus en jeu et les moyens qui permettraient de les diminuer.

1.2. Les enjeux de la fertilité des sols à Mayotte : processus et leviers d'action pour les agriculteurs

1.2.1. Une fertilité chimique contrainte par le manque d'eau

a) Le contexte mahorais

D'après Pariaud (2003), les agriculteurs de l'île se plaignent d'un important manque d'eau en saison sèche depuis une quinzaine d'années ce qui peut avoir des conséquences sur la fertilité chimique des sols, bien qu'il ne s'agisse pas directement de la « fertilité du sol ». C'est pourquoi cette thématique est ici développée.

Nous tentons de comprendre si les baisses de rendement peuvent être associées à un changement climatique. Les études réalisées par Pariaud (2003) sur les cumuls annuels des pluies des stations les plus anciennes de l'île mettent en évidence une diminution peu marquée de la pluviométrie totale entre 1949 et 2001. Les résultats de l'analyse de la pluviométrie fractionnée au cours de l'année montrent cependant que le déséquilibre des précipitations entre les deux saisons est de plus en plus marqué, avec une diminution de la durée de la saison humide. La saison des pluies a tendance à commencer plus tard aujourd'hui (déjà jusqu'à trois mois de retard dans les années 90) et à se terminer au même moment qu'avant. Cette évolution climatique, si elle a persistée, pourrait être à l'origine de l'impression des mahorais d'une sécheresse renforcée.

Or, la concentration des pluies dans un laps de temps plus court est néfaste pour l'agriculture. Les faibles pluies en saison sèche risquent de ne pas permettre aux cultures de satisfaire leur besoin en eau mais aussi en éléments nutritifs. De trop fortes pluies en saison humide exposent les cultures à des excès d'eau et une érosion plus importante.

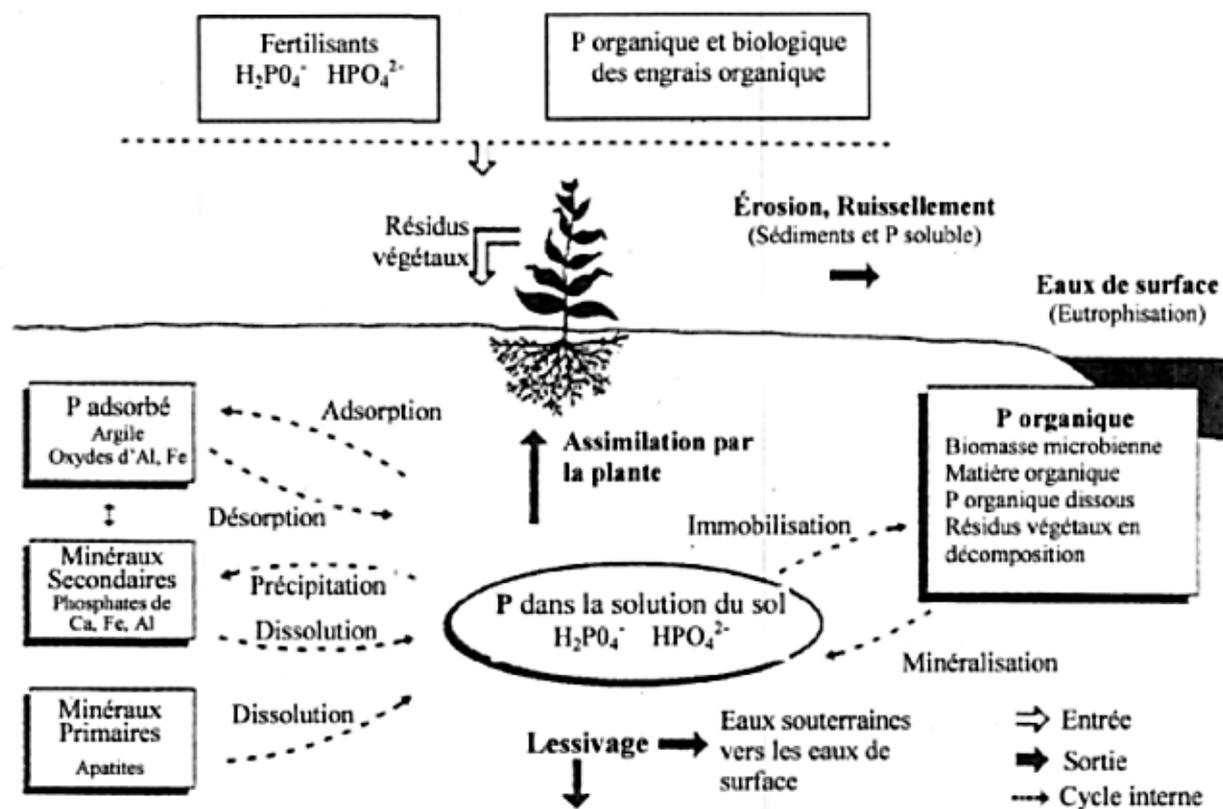
b) Les leviers d'actions

Il existe de nombreux moyens de limiter la contrainte du manque d'eau pour les cultures afin de favoriser l'absorption des éléments nutritifs du sol. Deux voies d'amélioration sont envisageables.

Premièrement, il est possible de cultiver des variétés ou espèces qui ont une meilleure capacité d'extraction de l'eau du sol. Pour la banane par exemple, espèce très gourmande en eau, des estimations de bilans hydriques ont permis de comparer la variété Cavendish (très utilisée à Mayotte), qui ne développe pas de racines profondes et a des difficultés à extraire l'eau du sol, à une variété « idéale » hypothétique au système racinaire développé. Le bananier de type Cavendish

¹² Erodibilité : facilité avec laquelle un sol est érodé (une érodibilité forte traduit une forte sensibilité à l'érosion).

Figure 12 : Cycle du phosphore



(Demers, 2008)

a accès à une ressource suffisante en eau durant 4,5 mois/an dans les conditions météorologiques de Pamandzi (Figure 10, p 6). Pour le bananier idéal, cette période s'allonge de deux mois (Pariaud, 2003). L'eau est donc bien un facteur limitant du rendement pour les bananiers. Mais il est possible d'utiliser des variétés plus adaptées aux conditions climatiques locales pour mieux valoriser la ressource en eau. Il existe une variété qui se rapproche de l'« idéal » à Mayotte mais elle est rarement utilisée pour des raisons de goût.

Une autre méthode consiste à faire tendre le compartiment « sol » de stockage d'eau, la réserve utile, vers un optimum, c'est-à-dire se rapprocher du taux d'humidité à la capacité au champ.

Pour stocker plus d'eau dans le sol en saison sèche, il faut favoriser les entrées d'eau (infiltration de l'eau de pluie, irrigation, remontées capillaires) et défavoriser les sorties (drainage, ruissellement, évaporation) (Figure 11 p 6). L'infiltration de l'eau de pluie, le ruissellement et l'utilisation d'un couvert végétal pour diminuer l'évaporation seront développés par la suite. La technique la plus efficace est sans doute l'irrigation. L'excès d'eau en saison des pluies pourrait être stocké puis utilisé en saison sèche.

Finalement, les baisses de rendements pourraient aussi être causées en partie par l'appauvrissement chimique des sols.

1. 2. 2. Epuisement chimique des sols

a) Le contexte mahorais et les processus en jeu

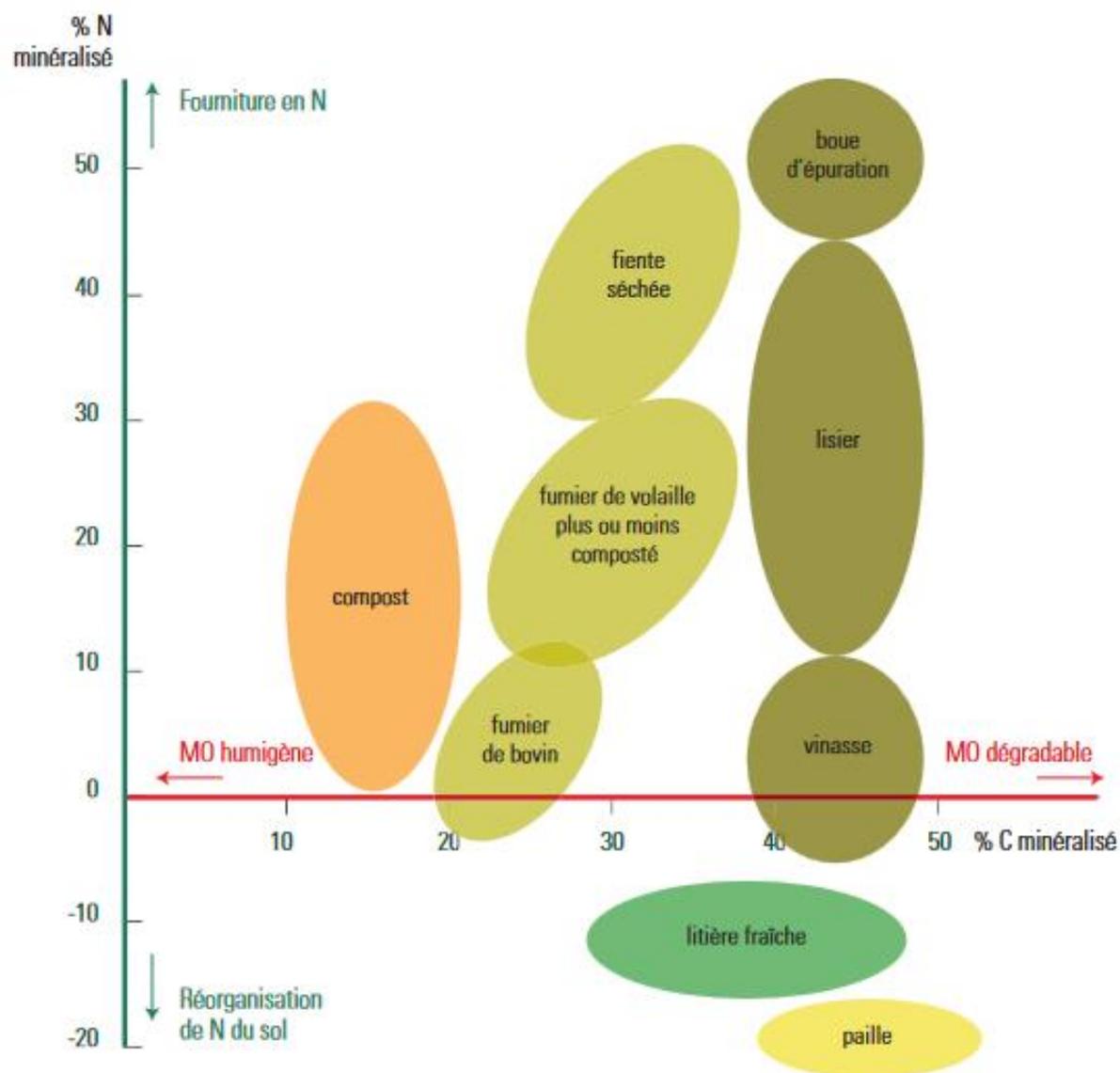
Comme l'a mis en évidence Latrille (1981a), les sols de l'île semblent assez riches en nutriments mais risquent de s'épuiser par la sur-utilisation des terres. Traditionnellement, les agriculteurs mahorais pratiquaient l'abattis-brûlis en alternant des périodes de culture courtes avec des périodes de jachère longues. Les parcelles en jachère aboutissent à une végétation arborée au bout de quelques années. Face à la croissance exponentielle de la population et au manque d'accès au foncier, la durée de la jachère a tendance à diminuer à Mayotte. En 1930, la jachère a une longueur moyenne de 10 ans. En 1992, elle ne dure plus que deux ans en moyenne (Raunet, 1992). Aujourd'hui, certains agriculteurs ne peuvent même plus faire de jachère. De plus, les parcelles sont cultivées depuis des dizaines d'années et l'apport de fertilisants reste très limité. En 2010, seulement 5 % des exploitations apportaient des amendements organiques et 3 % des engrais chimiques (DAAF Mayotte, 2011b). D'après les agriculteurs, les effets de l'épuisement des sols se font déjà sentir car les rendements de banane et manioc, les deux cultures principales de l'île, chutent depuis plus de 20 ans (Chabalier, 2006).

Prenons par exemple le cas du phosphore, élément dont les risques de carences sont les plus élevés à Mayotte : son cycle est présenté Figure 12.

Dans le sol, le phosphore est contenu dans trois compartiments sous forme organique ou minérale (dans la solution du sol ou non). Le réservoir de la solution du sol se présente principalement sous forme d'orthophosphates H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} . Ce phosphore est le seul directement accessible aux plantes. Cependant, en raison de la charge négative portée par ces ions, ils sont naturellement peu retenus par les colloïdes du sol. Le réservoir minéral non solubilisé, plus important, est composé de trois compartiments : le phosphore des minéraux primaires, des minéraux secondaires et le phosphore adsorbé (sur les argiles, oxydes métalliques, carbonates de calcium). Le réservoir organique, souvent le plus important, est constitué par les résidus végétaux et la biomasse microbienne. Sa disponibilité pour les plantes dépend de sa minéralisation et donc de la qualité des résidus végétaux en décomposition (C/N). Les compartiments bactériens et fongiques jouent un rôle important dans l'hydrolyse des minéraux riche en phosphore (Marschner et Rengel, 2007).

Dans le cas de Mayotte, sur des sols acides et chargés en oxydes de fer et d'aluminium, la teneur en phosphore total est élevée mais la fraction assimilable est faible car le phosphore a facilement tendance à être fixé par les oxydes (Latrille, 1981a). L'argile, en quantité importante, produit un phénomène comparable. Les sols ferrallitiques non remaniés sont dépourvus de minéraux primaires ce qui diminue encore les possibles stocks de phosphore. De plus, le manque d'eau en saison sèche (souvent évoqué par les agriculteurs), et donc d'humidité défavorise l'activité bactérienne et fongique qui est une source notable de phosphore pour les plantes. La minéralisation est plus

Figure 13 : Classement des matières organiques en fonction des caractéristiques de minéralisation à court terme (3 à 6 mois) de l'azote et du carbone (MO : matière organique ; N : azote total ; C : carbone total)



(Chabalier et al., 2006)

importante en saison des pluies mais la perte par lixiviation également. L'intensification de l'utilisation des terres provoque une augmentation des exportations de phosphore par les récoltes et les apports exogènes sont presque inexistantes. Ainsi, la forte perte de phosphore des sols pendant la saison des pluies (érosion, lixiviation) conjuguée aux exportations des récoltes conduit à une diminution des ressources en phosphore sur l'île. Comme le phosphore, d'autres éléments risquent de provoquer des carences dans le contexte mahorais.

b) Leviers d'actions

Fertilisation : engrais et amendements

La fourniture du sol est dans la majorité des cas insuffisante pour couvrir les exportations des cultures : il faut fertiliser les parcelles pour obtenir des rendements corrects. Les fertilisants pourraient être utilisés comme substituts à la jachère (Chabalier, 2006).

D'après des études sur l'impact des engrais minéraux azotés et phosphatés sur les sols labourés, les engrais utilisés seuls provoqueraient une augmentation plus ou moins forte de la MO du sol mais, contrairement à ce qui pourrait être attendu, une détérioration de la stabilité des agrégats. Sans labour, les résultats sont les mêmes mais l'agrégation s'améliore près de la surface du sol (Blanco-Canqui et al., 2014; Blanco-Canqui et Schlegel, 2013). Au contraire, l'apport de fumier augmente le stockage de carbone mais améliore aussi les caractéristiques physiques du sol (porosité, stabilité des agrégats, teneur en eau disponible) (Hati et al., 2006; Zhou et al., 2016). De plus, en région tropicale, la minéralisation est très active du fait du climat humide et chaud (Roose et Sarrailh, 1990). Les éléments minéraux risquent d'être rapidement lixiviés en raison des fortes pluies en saison humide. Il semble donc pertinent d'enrichir le pool d'humus qui constituera un stock en éléments nutritifs pour les cultures, peu à peu mobilisé par minéralisation. Il faut donc favoriser l'apport de matériel organique dont le rendement en MO stable est élevé et éviter l'application d'engrais rapidement lixiviables.

Le rapport C/N est souvent utilisé pour prédire la stabilité des résidus de cultures dans le sol mais est moins pertinent pour les apports de composts et fumiers. Une MO à faible C/N (4 à 12) sera rapidement minéralisée et fournira beaucoup d'azote minéral. La dégradation d'une MO à fort C/N (15 à 20) va à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote du sol (Chabalier et al., 2006). L'efficacité de l'humification est estimée par le coefficient isohumique k_1 . Il varie de 0 à 1 : les matières qui subissent un compostage sont à favoriser car elles présentent un rendement en humus fort (k_1 élevé) alors que les effluents d'élevage les plus liquides ont un rendement faible (k_1 faible) (ibid). La Figure 13 représente les grands types de MO selon la minéralisation du carbone et de l'azote. Les matières à fort pouvoir humigène, à privilégier pour augmenter la teneur en humus du sol, ont des valeurs de %C minéralisé faibles (compost et fumier de bovin).

Les amendements organiques n'apportent pas tous les mêmes quantités d'éléments nutritifs : on pourra choisir le fertilisant apporté selon l'élément dont on veut enrichir le sol. L'Annexe 2 indique la richesse en matière sèche et en principaux éléments nutritifs des matières organiques potentiellement utilisables à Acoua.

Certains apports organiques permettent de remonter le pH du sol. D'autres ont plutôt tendance à le diminuer (Chabalier et al., 2006). Les études de Šimek et al. (1999) montrent en effet que l'apport d'engrais (N, P et K) et de fumier de bovin a un effet acidifiant sur le sol. Il observe aussi que la fertilisation augmente la taille des communautés microbiennes sauf quand la baisse de pH qu'elle induit est forte. L'activité microbienne est inhibée par un trop fort apport de fertilisants, effet accru en absence de chaulage. La gestion de l'acidité des sols doit donc prendre en compte la fertilisation.

L'effet alcalinisant ou acidifiant d'un fertilisant dépend de la composition chimique de la MO apportée et des réactions chimiques qui ont lieu dans le sol. Cet effet est mesuré en « équivalent chaux » (équivalent CaO en kg/ha CaO) qui indique la quantité de chaux qu'il faudrait apporter pour neutraliser le changement de pH induit par apport de fertilisant. La valeur de l'équivalent CaO est positive quand le fertilisant est alcalinisant et négatif s'il acidifie le sol. Le Tableau 1 (p 9)

Tableau 1 : Effet des fertilisants sur le pH du sol : coefficients d'équivalence en chaux

Effet sur le sol		Doses recommandées de produit brut (pour 150 à 200 kg/ha N)	Equivalent chaux (kg/ha CaO) pour les doses recommandées*
Alcalinisant	Fiente de volaille pondeuse	5 t/ha	+ (50 et plus)
	Fumier d'ovin	20 t/ha	+ (70 et plus)
	Compost de fumier de porc	10 t/ha	+ (50 et plus)
Acidifiant	Ammonitrate à 28 % N (pour 196 kg/ha N)	700 kg/ha	- (231 et plus)
	Urée (pour 180 kg/ha N)	400 kg/ha	- (184 et plus)
	Fumier de poulet de chair	5 t/ha	- (130 et plus)
	Fumier de porc	20 t/ha	- (130 et plus)
	Fumier mou de bovin	20 t/ha	- (50 et plus)
Neutre	Fumier de bovin compact, compost de fumier de bovin	10 t/ha	0
	Lisier de porc, lisier de bovin	20 m ³ /ha	0
	Fumier de porc sur litière accumulée	20 t/ha	0

* : en l'absence de volatilisation de l'ammoniac

(Chabalier et al., 2006)

Tableau 2 : Principales légumineuses à Mayotte

Type	Espèces
Espèces destinées à l'alimentation humaine	ambrevade (<i>Cajanus cajan</i>), pois du cap (<i>Phaseolus lunatus</i>), moringa (<i>Moringa oleifera</i>), tamarin (<i>Tamarindus indica</i>), niébé (<i>Vigna unguiculata</i>), dolique (<i>Dolichos lablab</i>), haricot riz (<i>Vigna umbellata</i>), haricot vert (<i>Phaseolus vulgaris</i>), ambérique (<i>Phaseolus mungo</i>)
Espèces fourragères	pois mascate (<i>Mucuna pruriens</i>), siratro (<i>Macroptilium atropurpureum</i>), puéraria faux-haricot (<i>Pueraria phaseoloides</i>), luzerne tropicale (<i>Stylosanthes guianensis</i>), arachide pérenne (<i>Arachis pintoi</i>)
Espèces forestières spontanées	bois noir (<i>Albizia lebeck</i>), arbre de charan (<i>Gliricidia sepium</i>), <i>Acacia mangium</i> , faux mimosa (<i>Leucaena leucocephala</i>)
Espèces couvrantes non consommées	mucuna (<i>Mucuna cochenchinesis</i>)

(Amann et al., 2008; Communications personnelles)

présente ces valeurs pour différents types de fertilisant. Les MO issues de l'élevage sont généralement beaucoup moins acidifiantes que des engrais minéraux azotés (Chabalier et al., 2006).

Les avantages de l'implantation de légumineuses

Les cultures qui occupent les parcelles peuvent aussi influencer sur la fertilité des sols par les plantes dites « de service ».

La famille des légumineuses est particulièrement intéressante pour la nutrition azotée. Le potentiel de fixation de l'azote par les légumineuses dépend de l'espèce cultivée : elles peuvent fixer entre 0 et 300 kg d'azote/ha soit 0 à 95% de leur besoins en azote. Les quantités d'azote fixé sont très variables d'une espèce à l'autre et pour une même espèce car l'activité symbiotique est influencée par les souches bactériennes, l'espèce végétale et les facteurs du milieu (Peoples et al., 1995; Wani et al., 1995).

Planter des légumineuses permet donc d'enrichir le sol en azote disponible pour les cultures et constitue ainsi une alternative pour améliorer la nutrition azotée. Les principales légumineuses de Mayotte sont listées sur le Tableau 2.

1. 2. 3. Acidification des sols

a) Les hypothèses de l'acidification des sols à Mayotte

L'acidité mesurée par analyse chimique est liée au déficit de saturation du complexe adsorbant des sols par des cations basiques alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ou alcalins (Na^+ , K^+). Plus le sol est acide et contient des protons H^+ et Al^{3+} , moins il y a de place pour les cations basiques échangeables sur les sites disponibles du complexe argilo-humique (CAH). Les cations basiques se retrouvent alors dans la solution du sol et peuvent être lixiviés par drainage des eaux de pluies. Mis à part les problèmes de carence, l'acidité du sol peut favoriser des phénomènes de toxicité en provoquant la libération à l'état soluble d'éléments comme le manganèse ou l'aluminium, parfois même le fer en milieu réducteur (Dabin, 1985).

D'après les observations de Latrille (1981a) et des analyses chimiques du Cirad, les sols mahorais ont plutôt tendance à être acides. Etudions les processus qui influenceraient le pH des sols de l'île, selon les études de Dabin (1985) sur sols tropicaux.

L'acidification des sols peut être notamment liée aux processus de pédogenèse. Par exemple, les sols ferrallitiques des zones tropicales, très présents à Mayotte, sont généralement naturellement acides. Les roches basiques, comme le basalte qui est à l'origine des sols de l'île, produisent des sols riches en ions alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ce qui favorise un état basique des sols. Cependant, dans les zones très humides (>1700 mm eau/an) où les roches sont profondément altérées, la roche mère influe peu sur la saturation en cations basiques quelle que soit la nature du matériau d'origine. La lixiviation des cations basiques et l'intensité de l'altération de la roche mère pourraient expliquer l'acidité des sols de l'île où la pluviométrie annuelle est la plus élevée (ibid).

En milieu tropical, la végétation enrichit les horizons supérieurs des sols en cations basiques en absorbant ces éléments en profondeur et en les restituant en surface (décomposition rapide des débris végétaux). Ces « remontées biologiques » sont cependant faibles quand l'horizon d'altération des roches est profond, ce qui est souvent le cas à Mayotte (ibid).

Lorsque les argiles sont de type kaoliniques (capacité d'échange cationique (CEC): 3 à 15 mé/100g), la capacité d'adsorption du CAH est moindre qu'avec d'autres types d'argiles comme les vermiculites (CEC : 100 à 150 mé/100g). Cependant, les sols argileux fixent mieux la MO que les sols sableux, ce qui augmente la CEC. A titre de comparaison, l'humus a une CEC comprise entre 100 et 500 mé/100g (Baize, 2000).

Le défrichement par abattis-brûlis, pratique courante sur l'île, peut relever le pH jusqu'à deux unités et augmente la quantité de cations basiques en surface (3 à 6 fois plus) par un fort apport de cendres (quelques centaines de kilos à plusieurs tonnes/ha). Cependant, les cations basiques sont rapidement lixiviés en profondeur ou emportées par ruissellement si le sol est soumis à l'érosion. C'est le cas des sols de l'île. L'effet bénéfique d'un brûlis peut être annulé en 2 ou 3 ans, si le sol n'est pas protégé (Dabin, 1985).

De plus, sous culture, un appauvrissement progressif de cations basiques par exportations des récoltes diminue le pH du sol. Dans une région à climat alterné sur sol ferrallitique, l'auteur indique que le pH du sol peut diminuer de 0,15 à 0,20 unités/an après défrichage.

Ces différents processus, plus actifs en milieu tropical, peuvent expliquer l'acidité des sols de l'île.

b) Comment augmenter le pH du sol ?

Généralement, les amendements calciques et magnésiens sont utilisés pour augmenter le pH des sols acides. D'autres produits tels que les coquillages et sables coralliens broyés, riches en carbonate de calcium, constituent une source d'amendement calcaire peu coûteuse et facilement disponible sur l'île (Harter, 2007).

En milieu tropical, les plantes se sont souvent adaptées au bas pH des sols (ex : riz, manioc, mangouier, noix de cajou, agrumes, ananas, niébé) (FAO, s.d.). Il convient donc d'éviter d'appliquer les doses selon les références des pays tempérés (Dabin, 1985). Le pH cible ne doit pas dépasser 6,0, avec une cible idéale comprise entre 5,0 et 5,5, pH assez élevé pour empêcher la toxicité de l'aluminium et lever les risques de carence en minéraux pour les cultures. En milieu tropical, les effets d'un surchauffage peuvent être conséquents, notamment sur la structure du sol. Le calcium contenu dans les amendements peut briser les agrégats stabilisés par les oxydes de fer et d'aluminium ce qui modifie la structure du sol et cause une perméabilité réduite et un drainage insuffisant. En saison des pluies, les effets de ruissellement peuvent alors s'accroître et les sols risquent de se gorger d'eau (Harter, 2007).

Mis à part le chaulage, la gestion des sols acides passe par une approche intégrée : utilisation d'espèces tolérantes à l'acidité, diversification des cultures et enrichissement du sol en MO (FAO, s.d.). Par exemple, une forte teneur du sol en humus limite la toxicité de l'aluminium en sol acide car celui-ci se lie aux molécules organiques complexes pour former une fraction non toxique (Alleoni et al., 2010).

1. 2. 4. La structure du sol

a) Structure des sols à Mayotte

Il est difficile d'évaluer si la structure des sols de l'île est favorable aux cultures, cela dépend des contextes locaux. Nous avons vu que les sols mahorais présentent souvent une faible cohésion structurale. La structure des sols, mauvaise en profondeur, a tendance à se dégrader. Certains sols sont compacts. Pour améliorer la structure, il est notamment possible de réaliser un travail du sol.

b) Travail du sol : entre labour et agriculture de conservation

Le travail du sol mais surtout le labour, a été particulièrement remis en question suite à de nombreuses études. Face aux problèmes rencontrés avec cette pratique, de nouvelles techniques culturales ont été développées, les techniques culturales simplifiées (TCS). L'agriculture de conservation entend maintenir et favoriser le potentiel agronomique du sol en se basant sur ces trois piliers : réduction voire suppression du travail du sol, successions culturales¹³ longues et diversifiées et utilisation de couverts améliorants voire semis direct sous couvert.

1^{er} pilier : réduction du travail du sol

Les agriculteurs de Mayotte sont très peu équipés et utilisent le plus souvent quelques outils manuels simples et polyvalents, principalement le chombo et la machette. Le travail du sol se limite généralement à une trouaison précédant la plantation des cultures. Sur certaines cultures, comme le manioc, les sols sont sarclés pour détruire les adventices qui favoriseraient la présence de rongeurs. Le sol n'a donc aucun risque de subir de tassement par le passage de machines agricoles. Le

¹³ Le terme de « succession » est préféré à celui de « rotation ». La rotation se définit par une succession culturale reproduite à l'identique par cycles réguliers sur une parcelle. La succession correspond seulement à l'ordre d'introduction des cultures sur un temps fixe et intègre la possibilité d'une variabilité selon les choix de l'agriculteur.

Tableau 3 : Des associations bénéfiques ou néfastes à Mayotte (Ces données viennent des observations paysannes et n'ont pas été vérifiées : les agriculteurs ne savent pas toujours les causes du bénéfice ou du maléfice des interactions entre les cultures.)

Associations bénéfiques	Associations néfastes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ cultures - arbres (intérêt multiple de l'agroforesterie) ➤ ananas - banane ➤ papaye - ananas/agrume ➤ banane - vanille (la banane constitue un support pour la vanille) ➤ banane - aubergine - piment - brède (pissenlit) ➤ riz - banane ➤ manioc - patate douce (la patate douce agit comme une plante de couverture) ➤ haricot - maïs (le maïs constitue un support pour le haricot) ➤ poivron - laitue 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ manioc - banane (la banane rend les maniocs amers) ➤ citrouille - manioc ➤ ambrevade - banane ➤ ambrevade - manioc ➤ pastèque - citrouille - melon blanc (compétitivité pour l'espace car espèces rampantes)

(Création personnelle d'après les savoirs paysans)

premier pilier est déjà respecté sur l'île. Cependant, lorsque la structure est compacte, un travail du sol plus important pourrait être envisagé.

Par manque de moyens financiers, il n'est pas concevable à court terme de prévoir l'utilisation d'instruments aratoires mécanisés : le matériel potentiellement utilisable par les agriculteurs se limite à des outils à mains. On cherche donc principalement à savoir quel type de travail du sol est à privilégier pour améliorer sa structure. Deux facteurs principaux nous intéressent : la profondeur de l'intervention (superficielle/profonde) et le type de travail (retournement ou non du sol).

Le travail du sol peut causer des dégradations en favorisant l'érosion, la battance, la réduction des taux de matières organiques et en diminuant la présence des organismes vivants du sol (Lefevre, 2013). Il a trois effets principaux : effets directs du passage de l'outil sur les organismes et les propriétés structurales du sol, changements du milieu (teneur en eau, porosité, température,...) et modifications de concentration et de distribution spatiale des éléments minéraux du sol.

Le labour, travail profond qui retourne la terre, déstabilise l'écosystème du sol en brassant la MO et les organismes du sol (Wang et al., 2016) : la plupart des taxons présents dans le sol ont une abondance, une biomasse et une diversité moindre dans les sols labourés (Kladivko, 2001). La pratique du labour, en homogénéisant la couche de sol travaillée, détruit le gradient décroissant de MO de la surface vers les horizons profonds. Sur la comparaison du taux total de MO du sol en labour ou techniques culturales sans labour (TCSL), les auteurs ne sont pas d'accord : il est toutefois reconnu que les TCSL seules ne permettent pas un enrichissement du sol en MO (Kladivko, 2001).

Gómez et al. (1999) montrent que l'infiltration d'eau dans un sol labouré depuis 15 ans (130 mm eau/1,5h) est plus forte que dans le sol non labouré (85 mm eau/1,5h), présentant toutefois une bonne infiltration grâce à la restructuration naturelle du sol. Les sols labourés auraient cependant une mauvaise capacité à restituer l'eau aux cultures au cours des années sèches : ce phénomène s'expliquerait par une plus forte évaporation lorsque le sol est nu que couvert (Van Donk et Klocke, 2012). Ces différentes études mettent en évidence les conséquences plutôt négatives du labour, qui semblent être principalement causées par le fait que le sol soit retourné.

Les outils qui ameublissent la terre sans la retourner semblent plus adéquats pour préserver la fertilité des sols. C'est le cas par exemple de la grelinette, un outil privilégié en agriculture biologique, qui pourrait facilement être utilisé par les agriculteurs mahorais (Anon., 2015a).

2^e pilier : successions culturales

Le deuxième pilier concerne la gestion d'une succession culturale diversifiée en espèces cultivées et l'intégration d'associations de cultures.

Par exemple, une succession culturale associant des plantes ayant des enracinements différents (pivotant profond ou fasciculé plus ou moins superficiel) peut améliorer naturellement la structure du sol (Lefevre, 2013). D'après des travaux du Cirad, certains couples utilisés en succession (ou en association) ont été suggérés : maïs (*Zea mays*)-dolique (*Dolichos lablab*), maïs-haricot riz (*Vigna umbellata*) sous la strate d'espèces pérennes (cocotier, agrume, bananier), maïs-ambrevade (*Cajanus cajan*), maïs-niébé (*Vigna unguiculata*), niébé-sorgho (*Sorghum bicolor*) ou encore maïs-ambérique (*Phaseolus mungo*). Ces cultures ont aussi l'avantage d'apporter une bonne quantité de biomasse par les résidus de récolte et la couverture du sol, de recycler des éléments nutritifs et d'apporter de l'azote par les légumineuses. Le manioc peut venir en succession avec ces systèmes (Lopez et Bozza, 2015).

Les associations de culture améliorent souvent l'utilisation des ressources du sol en les mobilisant de manière différente et à des profondeurs complémentaires par un processus d'adaptation à l'exclusion compétitive (Lefevre, 2013) mais elles peuvent aussi être néfastes en cas de non adaptation à la compétition ou d'allélopathie¹⁴ négative. Les associations les plus connues à Mayotte sont présentées sur le Tableau 3.

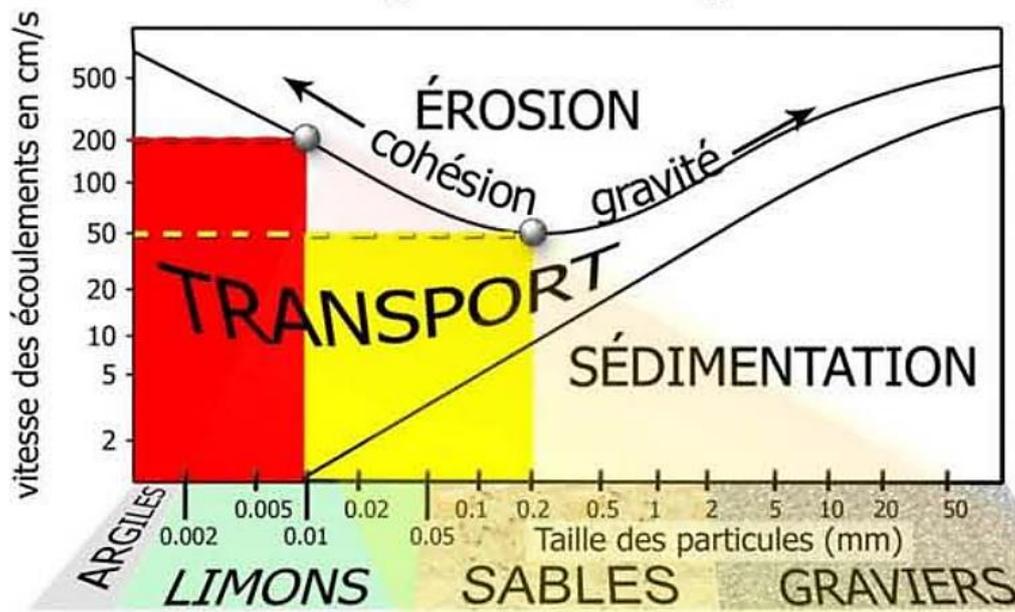
¹⁴ Allélopathie : effet direct ou indirect d'une plante sur un autre organisme par la libération de composés chimiques dans l'environnement.

Tableau 4 : Synthèse des effets positifs potentiels des piliers de l'agriculture de conservation

Composante du système de culture	Mulch ou couvert végétal	Techniques culturales sans labour (Hors semis direct)	Succession culturale diversifiée intégrant des légumineuses	Combinaison des trois composantes (ex : semis direct dans une succession diversifiée)
Réduire la perte par évaporation de l'humidité du sol	X	X		X
Réduire la perte en CO ₂ par oxydation de la Matière organique		X		X
Minimiser les fluctuations de températures à la surface	X			X
Minimiser la compaction liée aux engins et pluies fortes	X			X
Fournir de la matière organique à la faune et microflore du sol	X			X
Favoriser la porosité issue de l'activité biologique	X	X	X	X
Augmenter et maintenir la disponibilité en azote	X		X	X
Recycler les nutriments	X	X	X	X
Maximiser l'infiltration de l'eau	X	X		X
Limiter les ruissellements et la battance	X	X		X
Limiter l'érosion éolienne	X	X		X
Limiter la pression adventice	X		X	X
Réduire les pressions de ravageurs	X		X	X
Augmenter les biomasses produites	X		X	X
Limiter les charges de travail		X		X
Limiter la consommation de fuel		X		X

(Lefevre, 2013)

Figure 14 : Diagramme classique de Hjulstrom : ablation, transport et sédimentation des particules en fonction de la vitesse d'écoulement (cas d'érosion hydrique par ruissellement)



(Bozza et Chamssidine, 2008)

3^e pilier : couverts végétaux

Le troisième pilier concerne l'utilisation d'une protection physique de la surface du sol, tels qu'un mulch de résidus de cultures ou des couverts végétaux vivants. L'utilisation d'une couverture végétale a de nombreux avantages, qui seront plus détaillés ultérieurement. Elle entraîne une baisse de l'évaporation, permet d'abaisser la température du sol et de gérer l'enherbement et réduit la lixiviation de nutriments tels que les nitrates, entre autres (Lefevre, 2013; Rasmussen, 1999; Van Donk et Klocke, 2012).

Pour augmenter la fertilité d'un sol, il est conseillé de ne pas impliquer seulement un de ces piliers mais de les combiner pour en tirer un maximum de bénéfices comme le montre le Tableau 4.

La fertilité des sols, physique, chimique ou biologique fait intervenir de très nombreux processus, pas toujours connus. Bien qu'un sol présente des caractéristiques intrinsèques qui conditionnent sa fertilité, l'agriculteur peut intervenir par ses pratiques culturales pour améliorer cette dernière. Détaillons maintenant un des problèmes majeurs qui diminue la fertilité des sols de Mayotte : l'érosion.

2. Erosion des sols

2.1. Définition

Le terme « érosion » désigne un décapage des matériaux de la surface des sols et de la sub-surface. L'érosion des sols correspond à un processus d'ablation des particules du sol par l'action de processus physico-chimiques. Bien que le processus d'érosion soit naturel, l'action humaine l'a démultiplié (facteur 100). De nombreux pays sont victimes d'une forte perte de sol, spécifiquement les pays à climat humide, où l'érosion hydrique est la plus inquiétante (Miranda et al., 2015). C'est aussi le cas à Mayotte, où l'érosion hydrique est majoritaire. Seuls les padzas, non cultivés, sont victimes d'érosion éolienne. C'est pourquoi nous nous intéressons uniquement à l'érosion hydrique.

A Mayotte, l'érosion hydrique peut arracher jusqu'à plus de 100 t/ha/an à l'échelle d'une parcelle agricole sur sol nu, d'où l'importance du problème. A l'échelle de l'île, ce serait plus de 300 000 t/an de terre qui serait érodée (Lopez et al., 2015).

2.2. Les différentes étapes de l'érosion

2.2.1. Désagrégation et ablation

Le détachement des sédiments du sol est causé soit par l'impact des gouttes de pluie (désagrégation et ablation), soit par le ruissellement seul (ablation uniquement).

2.2.2. Transport

Le transport des sédiments détachés du sol peut se réaliser dans l'air (effet splash) ou dans l'eau (ruissellement). L'effet splash a une très faible capacité de transport en comparaison au ruissellement. Le transport par ruissellement dépend proportionnellement de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la granulométrie des particules, ce qui sera plus détaillé par la suite. Le ruissellement de l'eau de pluie, en parcourant des parcelles en pente à sol nu, détache les sédiments de surface et forme des rigoles et des ravines (Soquet, 2003).

2.2.3. Sédimentation

Après leur transport, les sédiments se déposent plus ou moins loin du lieu d'ablation (dans la même parcelle, un fossé, la mer, ...). Les éléments grossiers sont les premiers à être déposés quand la vitesse diminue (Soquet, 2003).

La Figure 14 présente les trois états (ablation, transport, sédimentation) des particules du sol selon leur taille et la vitesse des écoulements. Pour des sédiments de même taille, si la vitesse d'écoulement est supérieure à la vitesse d'érosion, les sédiments se détachent, si elle est inférieure à la vitesse de chute, les sédiments se déposent et si la vitesse est intermédiaire, les sédiments sont transportés. Le rectangle rouge représente les particules transportées pour une vitesse d'écoulement

Tableau 5 : Importance de l'érosion en fonction de l'inclinaison de la pente

Inclinaison de la pente (%)	Importance de l'érosion
0 - 1	ruissellement des eaux mais sans érosion
1 - 3	érosion diffuse et formation de rigoles
3 - 5	érosion forte avec ravinement
> 5	érosion très forte avec ravinement profond

(Lopez et al., 2015)

Tableau 6 : Importance de l'érosion en fonction de l'inclinaison de la pente

<i>Séfa</i> (Sénégal). Cultures sarclées de 1955 à 1962 Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions	pente 1,25 %	1,50 %	2 %
Erosion moyenne (t/ha/an)	5	8,6	12
Ruiss. moyen annuel (%)	16	22	30

(Roose et Lelong, 1976)

de 200 cm/s, les argiles et limons fins. Le rectangle jaune concerne les limons grossiers et sables fins transportés par un flux d'eau de 50 cm/s (Bozza et Chamssidine, 2008). La différence majeure entre ces deux types de particules relève de leur capacité à se déposer après leur transport : les argiles et limons fins (rectangle rouge) ne se redéposeront pas après avoir été arrachés contrairement aux limons grossiers et sables fins. D'après 95 analyses de sols à Mayotte, ce seraient donc 56 % des sols arrachés qui ne se déposent pas après ablation et atteignent l'Océan (ibid).

Finalement, les deux processus intervenant dans les trois étapes de l'érosion hydrique sont principalement l'effet splash et le ruissellement. Plusieurs facteurs interviennent au cours de ces étapes.

2. 3. Les facteurs d'érosion et les leviers d'action pour les agriculteurs

La pluie définit l'érosion potentielle d'un sol. Parmi les facteurs qui en modifient l'expression, le couvert végétal est de loin le plus important (variations 1 à 1000), puis la pente (1 à 50), le type de sol (1 à 10) et les pratiques anti-érosives (1 à 10) (Roose et Lelong, 1976). Bien que le phénomène d'érosion fasse intervenir des agents naturels, il est souvent amplifié par l'action humaine. Voyons les différents facteurs susceptibles d'influencer l'érosion des sols, les effets des pratiques culturales associées et leur application à Mayotte.

2. 3. 1. La pluviométrie

a) Influence de la pluviométrie sur l'érosion

Sur des pentes faibles à moyennes, l'effet splash que provoque la pluie est responsable de la destruction des agrégats et le ruissellement n'a qu'une fonction de transport. Sur des pentes plus fortes, le ruissellement devient abrasif et son énergie devient supérieure à celle de la pluie sur des pentes de plus de 15% (Roose et Lelong, 1976). Toutefois, la pluie provoque un ruissellement uniquement si la vitesse d'infiltration de l'eau de pluie est inférieure à la vitesse à laquelle l'eau arrive au sol (Miranda et al., 2015). On en déduit la formule suivante : $R = P - I$, en mm/h où R : ruissellement, P : hauteur de pluie, I : infiltration (tous en mm/h).

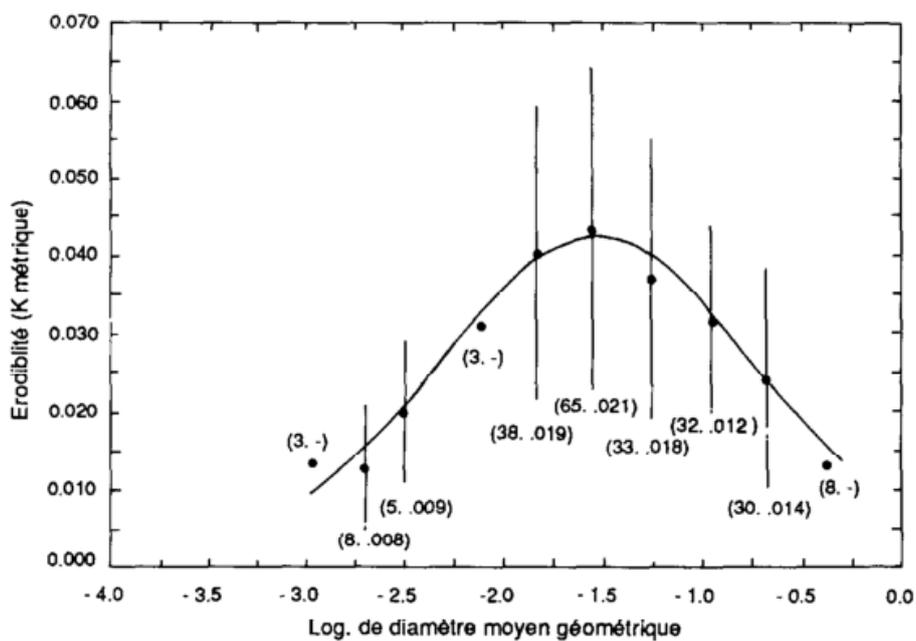
La majorité des pluies ne provoque pas d'érosion : c'est pourquoi, les événements d'érosion arrivent assez rarement dans une année. Au Sénégal par exemple, 68 % de la perte de sol annuelle est expliquée par seulement 10 événements érosifs par an (de 15 à 60 mm d'eau) (Roose et Lelong, 1976). Plusieurs paramètres peuvent l'expliquer. La hauteur de la pluie, en jouant sur l'ablation des particules du sol et la vitesse d'écoulement, influence l'érosion. Pour une même intensité, une pluie continue de 80 mm d'eau (par événement érosif) arrache environ deux fois plus de particules qu'une pluie de 40 mm d'eau. Il faut aussi prendre en compte l'intensité de la pluie, l'humidité du sol avant la pluie et la répartition saisonnière de la pluie. Des pluies violentes après une longue période de sécheresse peuvent provoquer une forte érosion car le sol est desséché et la végétation peu dense en début de saison pluvieuse ne peut pas protéger le sol (ibid). Ce cas peut se présenter à Mayotte où une saison chaude et pluvieuse (novembre à mai) suit une saison plus fraîche et sèche (mai à novembre).

b) Une érosion potentielle élevée à Mayotte

Le climat mahorais de type « tropical humide insulaire » caractérisé par des précipitations abondantes favorise l'érosion des sols. En effet, la hauteur annuelle moyenne des pluies est comprise entre 1000 mm et 2300 mm selon la situation géographique sur l'île. De plus, les pluies sont concentrées sur seulement 100 jours en moyenne dans l'année : 90 % des pluies annuelles tombent durant la saison des pluies. L'intensité journalière des pluies les plus fréquentes sont les suivantes : 1-10 mm/24h, 10-20 mm/24h et 20-50 mm/24h. Cependant, les fortes pluies ne s'étalent généralement pas sur une journée complète mais entre moins d'une heure à quelques heures (Raunet, 1992). L'intensité des pluies peut s'accroître en cas d'événements extrêmes : des intensités de 240 mm d'eau/j ou plus de 70 mm/h ont déjà été enregistrées (Lopez et al., 2015).

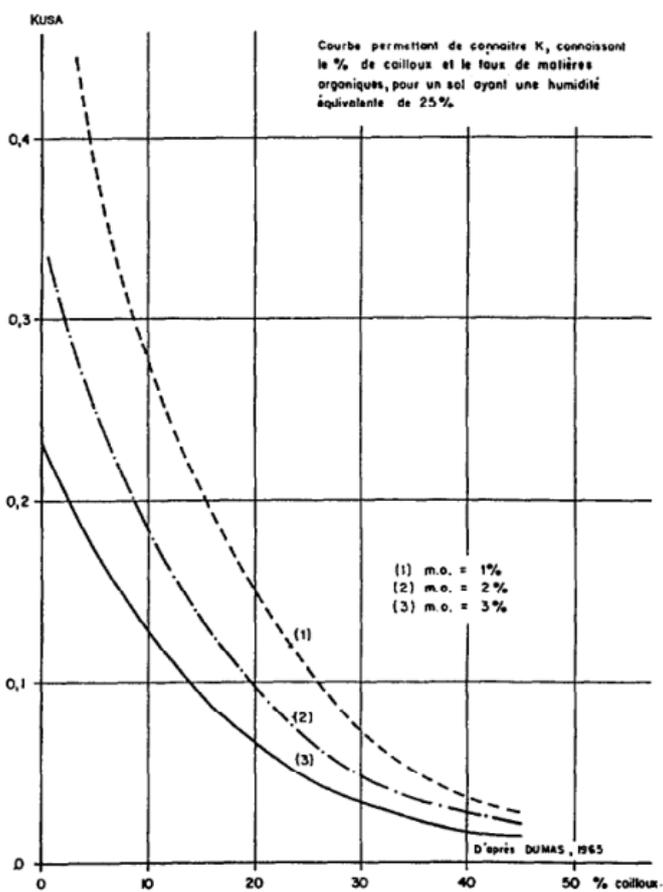
L'érosion potentielle à Mayotte est donc forte en raison de la hauteur des pluies, leur intensité et leur saisonnalité.

Figure 15 : Erodibilité d'un sol en fonction du diamètre moyen des particules



(Roose et Sarrailh, 1990)

Figure 16 : Influence des taux de cailloux (en poids dans les 5 cm supérieurs) et de MO sur l'érodibilité (K_{USA}) de sols tunisiens



(Roose et Sarrailh, 1990)

2. 3. 2. La topographie

a) Influence de la topographie sur l'érosion

L'inclinaison de la pente et sa longueur font partie des facteurs topographiques les plus importants qui influencent l'érosion, d'après de nombreuses études. D'après l'institut de recherche pour le développement (IRD), les risques d'érosion s'apprécient selon le Tableau 5 (p 13), à relativiser en fonction des autres facteurs (Lopez et al., 2015). Plus la pente est inclinée et longue, plus la quantité de terre perdue est élevée car la vitesse d'écoulement de l'eau augmente, ce qui favorise le pouvoir érosif du flux d'eau en surface (Prosdocimi et al., 2016). D'après des études réalisées en Afrique de l'Ouest (Tableau 6, p 13), l'érosion et le ruissellement augmentent plus que proportionnellement à la pente (Roose et Lelong, 1976).

A Mayotte, la topographie joue un rôle important : les fortes pentes favorisent l'érosion des sols cultivés.

b) Comment limiter l'effet des pentes ?

Pour diminuer le ruissellement, il est possible de travailler sur les pentes : installation de lignes d'arrêt pour diminuer la longueur des pentes (murets de pierre, andains, culture en buttes, bandes enherbées, haies, fossés) ou modification du relief pour diminuer l'inclinaison des pentes (nivellement, cultures en terrasses). L'installation de ces aménagements anti-érosifs sur les parcelles doit suivre des courbes de niveaux et être placés perpendiculairement à la pente pour être plus efficaces (Soquet, 2003). Il est aussi possible d'associer les aménagements physiques et biologiques pour une meilleure durabilité des installations (Cirad et al., 2002). Ces aménagements anti-érosifs sont préconisés à partir d'une pente de 12 % (Raunet, 1992).

2. 3. 3. L'érosion est fonction des propriétés intrinsèques des sols

a) Influence des sols sur l'érosion

Les sols sont plus ou moins sensibles à l'érosion, selon leur érodibilité qui dépend principalement de la stabilité structurale du sol, influencée par la texture et la teneur en MO. Si un sol a une bonne stabilité structurale, il résistera mieux à la désagrégation car les agrégats sont plus stables : l'ablation des sédiments sera moins forte (Avwunudiogba et Hudson, 2014).

La texture du sol influe sur deux processus : la résistance à l'ablation et la capacité d'infiltration de l'eau de pluie. Premièrement, d'après la Figure 14 (p 12), bien que les sols sableux soient très peu cohésifs et se détachent facilement, ils résistent au transport du fait de leur taille. Les sols limoneux, quant à eux, sont faciles à détacher et à transporter : ils sont très sensibles à l'érosion. Les sols argileux sont plus cohésifs : ils se transportent facilement mais leur ablation est difficile. Deuxièmement, un sol sableux poreux et meuble résistera mieux à l'érosion en favorisant l'infiltration de l'eau de pluie. Les sols limoneux et argileux ont une capacité plus faible d'infiltration du fait de la quantité moindre de pores. De plus, il peut se former sur les sols limoneux, sous l'impact des gouttes de pluie, une croûte sédimentaire peu perméable appelée couche de battance (Prosdocimi et al., 2016). Finalement, les sols argileux, bien structurés, sont assez résistants à l'érosion, de même que les sols sableux très perméables : les sols limoneux sont plus sensibles à l'érosion. La Figure 15 confirme ceci, en représentant l'érodibilité des sols selon le diamètre moyen des particules. Plus la roche mère est altérée, plus la granulométrie des particules est fine et la quantité d'argiles importante.

Un fort taux de MO favorise une bonne stabilité structurale et ainsi une érodibilité faible en favorisant la formation d'agrégats (Prosdocimi et al., 2016).

La présence de fragments de roches dans les horizons supérieurs du sol influence aussi l'érosion, comme le montre la Figure 16. 10 % de cailloux réduisent l'érodibilité de 23 %, 20 % de cailloux la réduisent de 40 %, 30 % de cailloux, de 52 % et 40 %, de 62 % (Roose et Sarrailh, 1990).

On considère généralement que les sols tropicaux sont plus sensibles à l'érosion que les sols tempérés mais, d'après les travaux du Cirad et de l'IRD, ce n'est pas le cas (Roose et Sarrailh, 1990).

Tableau 7 : Erosion (t/ha) sur sol nu, sous ananas en fonction de la pente et des techniques d'utilisation des résidus de culture, Adiopodoumé

PLUIE/16 mois H = 3 336 mm	Sol nu labouré	ANANAS + RESIDUS			MOYENNE pour chaque pente
		Brûlés	Enfouis	En surface	
Pentes 4 %	45	1.2	0.7	0.1	11.8
7 %	136	4.1	0.8	0	35.2
20 %	410	69	33.2	1	128.3
Moyenne pour chaque traitement	197	24.8	11.5	0.4	58.4

(Roose et Sarrailh, 1990)

Tableau 8 : Taux d'érosion dans quelques pays selon la couverture du sol (t/ha/an)

Country	Natural	Cultivated	Bare
China	0.1-2	150-200	280-360
USA	0.03-3	5-170	4-9
Australia	0.0-64	0.1-150	44-87
Costa	0.03-0.2	0.1-90	10-750
Nigeria	0.5-1	0.1-35	3-150
India	0.5-5	0.3-40	10-185
Ethiopia	1-5	8-42	5-70
Belgium	0.1-0.5	3-30	7-82
UK	0.1-0.5	0.1-20	100-200

(Miranda et al., 2015)

b) Sensibilité des sols mahorais à l'érosion

Comme nous l'avons vu plus tôt, les teneurs assez fortes en argile et MO des sols leur confèreraient une bonne stabilité structurale, en surface uniquement. D'après les études citées dans le paragraphe précédent, les sols de Mayotte, en soi, seraient peu sensibles à l'érosion. C'est l'agressivité des pluies qui augmente la sensibilité à l'érosion des sols car lorsque les sols ferrallitiques sont gorgés d'eau, ils peuvent glisser sur l'horizon de saprolite inférieur non argilifié, plus compact. Cependant, il existe de nombreux sols différents sur l'île et ces caractéristiques peuvent changer selon le contexte local.

c) Comment améliorer les sols pour diminuer leur sensibilité à l'érosion ?

Pour influencer la stabilité structurale d'un sol, il faut jouer sur le taux de MO du sol. Il faut favoriser la vie du sol par apport de résidus de culture et de MO exogène et favoriser son humification, au détriment de sa minéralisation. Si la biomasse végétale disponible sur les surfaces cultivées doit être utilisée dans le but d'enrichir le sol en MO, il est plus efficace de s'en servir comme un mulch plutôt que de le brûler ou de l'enfouir puisque c'est en surface que s'exercent l'effet splash et le ruissellement. Les résultats d'une étude à ce sujet sont présentés Tableau 7. Les mulchs de paille ou de pierres fonctionnent très bien pour limiter l'érosion d'un sol : 20 % de surface couverte réduisent l'érosion de 40 % (ibid).

Bien que l'apport de MO soit favorable à la structure du sol, son action est assez modérée : un gain de 1 % de MO au niveau de l'horizon labouré n'entraîne qu'une faible diminution de l'érosion : 2 % sur les sols sableux ou argileux (sols ferrallitiques) à 5 % sur les sols limoneux (ferrugineux) (Roose et Sarrailh, 1990).

On pourrait penser que le travail du sol ait un impact bénéfique sur l'érosion en augmentant la capacité d'infiltration du sol. Cependant, d'après plusieurs études, plus le sol est travaillé, plus il devient sensible à l'érosion (Roose et Lelong, 1976; Roose et Sarrailh, 1990). La technique du semis direct, avec un sol exclusivement travaillé à l'emplacement des semences est préférable à celle du travail du sol (sarclage et grattage) généralisé sur la totalité de la superficie parcellaire (Lopez et Bozza, 2015).

2.3.4. La couverture du sol

a) Influence du couvert végétal sur l'érosion

Le couvert végétal est de loin le facteur le plus influant sur l'érosion. Lorsque le sol est entièrement recouvert par une végétation naturelle, le ruissellement est très faible, malgré l'intensité des pluies tropicales et la forte inclinaison des pentes. Lorsque le sol est nu, les phénomènes d'érosion sont très forts : la perte de sol peut être multipliée par 1000 et le ruissellement par 20 à 50. Quand les sols sont cultivés, l'érosion est intermédiaire (Roose et Lelong, 1976). D'autres études réalisées sur plusieurs continents confirment ces chiffres (Tableau 8) (Miranda et al., 2015).

Sous culture, l'érosion varie selon les techniques culturales, le type de plante, la vitesse avec laquelle elle couvre le sol et son architecture. Les facteurs les plus importants sont la densité et la période de plantation.

b) Les pratiques culturales mahoraises influencent la couverture des sols

A Mayotte, les sols sont le plus souvent couverts, toute l'année, car les agriculteurs laissent les résidus de désherbage et de récolte au sol et les feuilles des arbres en tombant tapissent le sol. Les agriculteurs mettent généralement le sol à nu quand ils cultivent le manioc pour éviter la concurrence avec les adventices et la présence des rats qui se cachent dans les résidus végétaux au sol et se nourrissent des racines tubéreuses en-dessous. Il serait donc intéressant de pouvoir couvrir les zones de cultures de manioc en prenant en compte ces contraintes.

Les agriculteurs pratiquent tous le défrichement pour pouvoir planter des cultures. La pratique de l'abattis-brûlis, encore utilisée, supprime brutalement le couvert végétal et favorise l'érosion. Cependant, tous les agriculteurs ne défrichent pas entièrement les parcelles car cela représente un travail très difficile.

Tableau 9 : Plantes de couverture efficaces à Mayotte

Légumineuses	Céréales
- Mucuna (<i>Mucuna cocheninensis</i>) : espèce annuelle très envahissante - Siratro (<i>Macroptilium atropurpureum</i>) : espèce vivace fourragère volubile envahissante - Puéraria faux-haricot (<i>Pueraria phaseoloides</i>) : espèce vivace fourragère très envahissante - Luzerne tropicale (<i>Stylosanthes guianensis</i>) : espèce vivace fourragère, enracinement profond - Arachide pérenne (<i>Arachis pintoï</i>) : espèce vivace fourragère rampante	Graminées vivaces fourragères : - Brachiaria brizantha - Brachiaria ruziziensis - Pennisetum - Panicum : espèces annuelles et vivaces

(Lopez et Bozza, 2015)

Tableau 10 : Densités de plantation qui limitent l'érosion jusqu'à 13 % de pente pour les principales cultures à Mayotte

Correspondance : Densité de plantation et nombre de pieds/objets par m ²		
arbres	Densité par ha	Nb. de pieds/objets par m ²
agrumes	400	0.04
arbre à pain	100	0.01
bananier	1600	0.16
cocotier	150	0.015
goyavier	750	0.075
jacquier	150	0.015
manguier	200	0.02
papayer	1000 à 2500	0.1 à 0.25
Pomme cannelle	750	0.075
vivriers		
ambrevade	20000	2
maïs	20000 à 60000	2 à 6
manioc	6000 à 10000	0.6 à 1
niébé	50000	5
riz	250000	25
fourrage		
canne fourragère	10000 à 20000	1 à 2
Mixte vivrier/couverture ou mixte fourrage/couverture ou couverture simple		
Arachis pintoï (c)	40000	4
Brachiaria (f/c)	40000	4
Patate douce (v/c)	40000	4
Correspondance : Nb. de plant/objet par m ² et écartement entre plant/objet en mètre (m).		
Densité/m ²	Ecartement entre plant/objet	
1	1	
2	0.71	
4	0.50	
8	0.35	
10	0.32	
20	0.22	
40	0.16	
80	0.11	

(Bozza et Chamssidine, 2008)

c) Une couverture du sol dense pour lutter contre l'érosion

La végétation étant le premier facteur d'érosion des sols, il est très important de couvrir au maximum la surface du sol.

Les couvertures végétales augmentent les teneurs en eau et en MO dans la couche supérieure du sol, stabilisent les agrégats qui fournissent une meilleure protection du sol contre l'érosion et favorisent l'activité biologique en fournissant un habitat et une source trophique aux organismes du sol (Lefevre, 2013; Rasmussen, 1999; Van Donk et Klocke, 2012). Les plantes de couvertures protègent la surface du sol, améliorent sa structure par l'enracinement et favorisent l'infiltration de l'eau : elles limitent les risques d'érosion et de battance (Lefevre, 2013). La couverture du sol présente de multiples intérêts pour lutter contre l'érosion mais ces avantages s'étendent à de nombreux domaines de la fertilité des sols.

La densité du couvert n'est souvent pas efficace avant environ 40 à 50 % mais l'érosion est correctement maîtrisée à 90 % de couverture (Roose et Lelong, 1976). En protégeant le sol des gouttes de pluie, la végétation limite l'érosion mais augmente aussi le taux de MO du sol : elle a un double effet protecteur. Le sol doit être couvert le plus tôt possible en saison des pluies. Il faut donc planter les cultures très tôt, dès que les pluies peu intenses commencent, pour que le couvert végétal se développe rapidement avant d'essuyer de fortes pluies.

La présence d'un mulch minéral ou organique, ayant un fort effet anti-érosif, est préconisée par le Cirad (2002). Des essais réalisés à Mayotte dans les années 1990 (pentes inférieures à 25 %) indiquent que l'érosion hydrique est réduite (taux d'érosion inférieur à 0,66 t/ha/an contre plus de 1,33 t/ha/an) lorsqu'une couverture permanente est maintenue (gazon naturel), des bandes végétalisées présentes et un travail du sol réduit (pas de sarclage). Le Cirad a proposé à la même époque des systèmes de culture sur couvertures végétales¹⁵ (SCV) et a testé différentes plantes de service (couverture morte ou vivante) plantées en association avec les cultures ou en bandes intercalaires, avec un travail du sol minimum. Les résultats furent positifs : une diminution de 30 % de l'érosion sur de fortes pentes a été observée avec des graminées comme le *Panicum*, le *Brachiaria* ou le *Pennisetum* et des légumineuses comme le *Pueraria* et l'*Arachis pintoï* (Lopez and Bozza, 2015). Les plantes de couverture du Tableau 9, à utiliser en association avec les cultures, sont préconisées (Cirad et al., 2002; Lopez et Bozza, 2015). Le SCV serait « le seul procédé vraiment efficace et économique pour éviter l'érosion est la couverture du sol pendant toute la saison des pluies il sera toujours bien préférable aux "aménagements" (murets, cordons végétalisés) qui demandent à être bien faits et entretenus » (Bozza et Chamssidine, 2008).

D'après les préconisations de Latrille (1981a), les cultures associées sont recommandées pour des pentes inférieures à 13%. Les densités de plantation/semis qui permettent de contrôler l'érosion jusqu'à cette pente sont présentées sur le Tableau 10. Au-delà de 13 %, il faut utiliser le paillage et les SCV. On choisira préférentiellement d'associer des cultures aux systèmes racinaires complémentaires (céréales et légumineuses déjà vues précédemment).

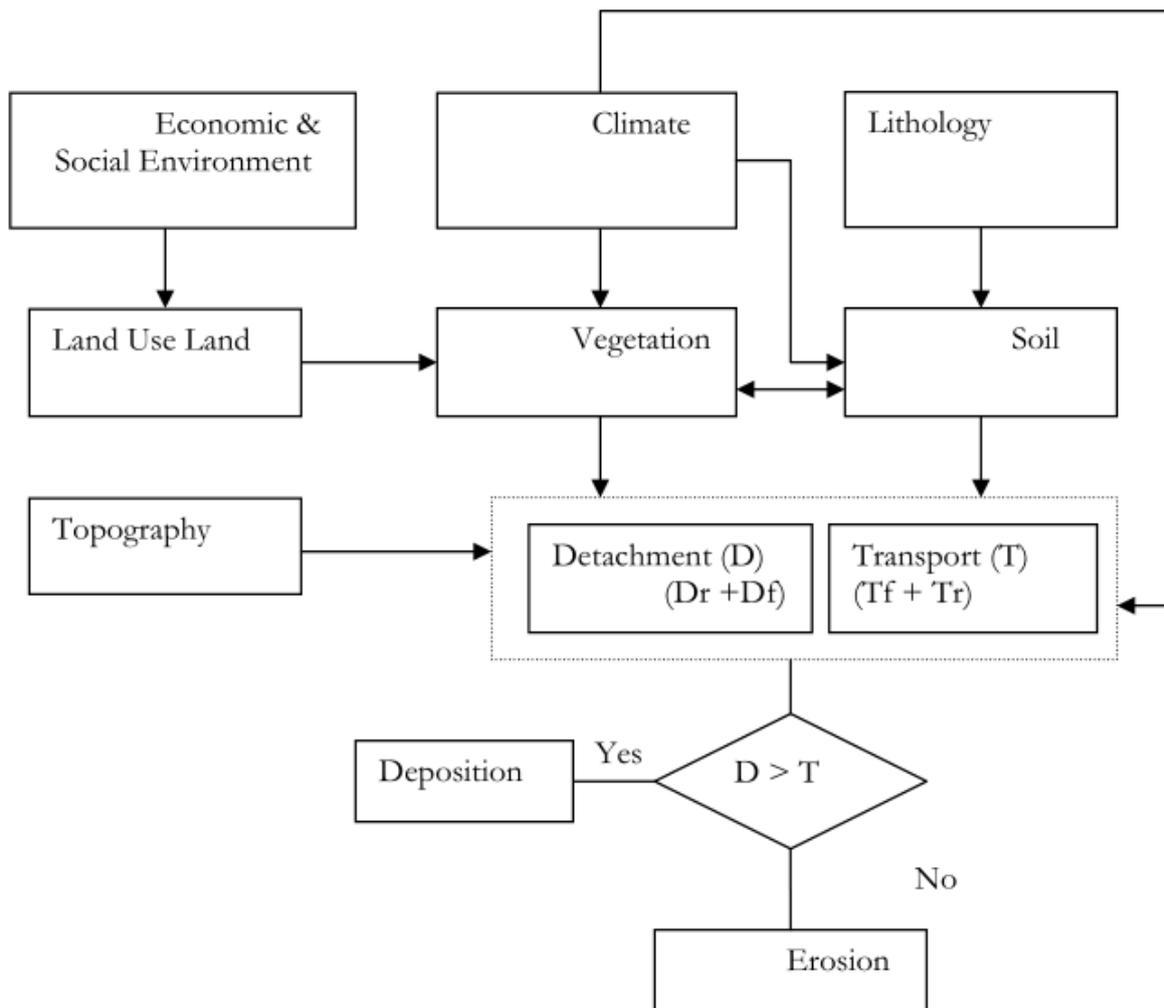
Par ailleurs, l'utilisation de bandes enherbées (graminée : *Chrysopogon zizanioides*) autour des parcelles et la végétalisation des ravines (arbres fruitiers) diminueraient légèrement l'érosion (Lopez et Bozza, 2015).

Il est conseillé de privilégier des jachères longues, lorsque l'accès au foncier est suffisant, de conserver le système agroforestier et de défricher de manière progressive en conservant au maximum les résidus et en laissant les racines en terre, ce qui implique de stopper la pratique d'abattis-brûlis.

L'érosion évolue selon différents facteurs, influencés par les pratiques agricoles. Ils sont résumés schématiquement sur la Figure 17 (p 17). A Mayotte, le risque d'érosion est particulièrement élevé notamment du fait de son climat, ses fortes pentes, les défrichements et l'artificialisation des terres (Audru et al., 2002).

¹⁵ SCV : sol toujours protégé, sans travail du sol, ni façons superficielles ; le semis de la culture est implanté directement (semis direct).

Figure 17 : Facteurs qui influent sur le processus d'érosion des sols (D_r = ablation par effet splash, D_f = ablation par ruissellement, T_r = transport par effet splash; T_f = transport par ruissellement) ; quand le taux d'ablation des sédiments (D) est supérieur à la capacité de transport de l'eau (T), les sédiments se déposent. Sinon, ils sont emportés.



(Avwunudiogba et Hudson, 2014)

2. 4. Les conséquences de l'érosion¹⁶

2. 4. 1. Conséquences agronomiques

L'érosion entraîne une perte de minéraux et une diminution du taux de MO dans les sols, surtout dans l'horizon supérieur, le plus fertile (Miranda et al., 2015) : la perte d'1 mm d'épaisseur de sol/ha/an correspond à arracher 12 à 14 t de terre fertile (argile, limon et MO) à la parcelle (Lopez et al., 2015). La perte de ces éléments provoque une réduction de la décomposition de la MO du sol, dont se nourrissent les microorganismes qui participent activement aux cycles biogéochimiques. La quantité d'éléments fertilisants que la parcelle contenait diminue et la dynamique de remplacement du carbone perdu est perturbée : la productivité de la parcelle s'affaiblit. Cette diminution de productivité s'explique également par la dégradation de la structure du sol et par la diminution de sa profondeur, impliquant une réserve utile en eau plus faible (Le Bissonnais et al., 2002; Quinton et al., 2010). L'appauvrissement extrême des sols par érosion peut mener à une désertification : c'est le cas des padzas à Mayotte où quelques rares espèces de graminées et de fougères peuvent encore s'y développer. L'érosion est un phénomène qui s'auto-amplifie : elle provoque une baisse de fertilité par diminution de la quantité de MO du sol, provoquant ainsi une diminution de la stabilité structurale qui favorise elle-même l'érosion.

La perte de sol provoque d'autres difficultés : mise à nu des racines et destruction des semis.

2. 4. 2. Conséquences sur la qualité de l'eau à l'échelle régionale

L'érosion des sols est un facteur de pollution des eaux. L'eau qui ruisselle est chargée de sédiments vecteurs de fertilisants (ex : phosphates) ou de produits phytosanitaires (Miranda et al., 2015). Les sédiments transportés provoquent une augmentation de la turbidité des cours d'eau (charge en particules terrigènes) et une possible eutrophisation causée par les nitrates ou les phosphates (Le Bissonnais et al., 2002).

Les conséquences de la sédimentation peuvent être importantes. A Mayotte, l'envasement du lagon s'accroît fortement depuis 1960. Le dépôt des sédiments transportés jusqu'à la mer provoque un enfouissement des coraux, ce qui entraîne leur mort. Tout l'écosystème corallien sera perturbé si l'érosion continue au même rythme (Soquet, 2003).

L'état de l'art réalisé nous a permis de mieux comprendre les grands enjeux liés à la fertilité et à l'érosion des sols à Mayotte et les processus en jeu. De nombreux facteurs participent à l'amélioration ou l'aggravation de ces paramètres. Parmi ces facteurs, les pratiques agricoles peuvent les faire évoluer dans le bon sens. C'est pourquoi le GVA d'Acoua, a proposé une mission que j'ai acceptée : la conception d'essais expérimentaux pour tester des techniques innovantes dans le but de restaurer la fertilité des sols et de lutter contre l'érosion.

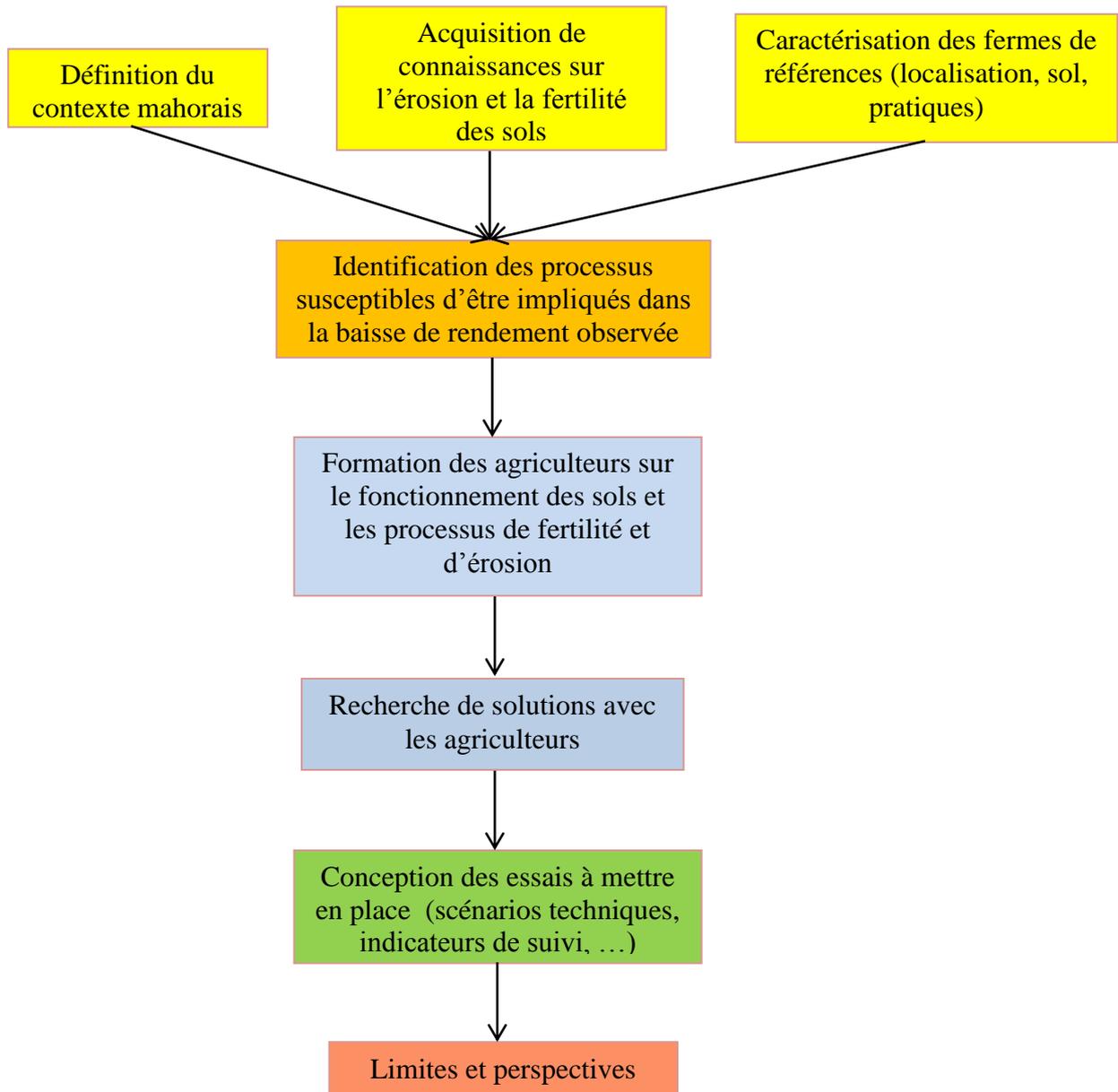
C. Objectifs et problématique du stage

1. Le rôle du GVA d'Acoua

Depuis 2007, le GVA, association régie par la loi 1901, s'organise pour maintenir et développer l'agriculture dans la commune d'Acoua. L'association a été créée par des agriculteurs soucieux de développer leurs activités et de provoquer les conditions pour rendre l'agriculture attractive pour les jeunes. Peu de projets sont alors engagés et le GVA ne porte qu'un rôle de représentant des agriculteurs d'Acoua auprès des différents acteurs agricoles de l'île. Il permet cependant de favoriser les contacts entre agriculteurs du même territoire par le biais de réunions. Depuis 2012/2013, lorsque le conseil d'administration et le bureau sont renouvelés par une équipe plus jeune et dynamique et que le GVA s'inscrit au répertoire des entreprises et sensibilise la population et les autorités sur ses projets, ses actions s'intensifient (Abou, 2015).

¹⁶ Les conséquences de l'érosion à l'échelle du paysage sont nombreuses. Nous nous intéressons particulièrement aux conséquences agronomiques et aux particularités de Mayotte.

Figure 18 : Représentation schématique de la démarche globale



(Création personnelle)

Le GVA compte actuellement 46 agriculteurs membres dont 27 femmes et 19 hommes, de 45 ans de moyenne d'âge et dont la plupart sont pluriactifs. L'agriculture pratiquée est essentiellement vivrière. La taille de la SAU varie de moins de 0,5 ha à 1,7 ha (0,45 ha en moyenne) (ibid).

L'association souhaite participer à la réduction de la précarité économique en milieu rural en professionnalisant les agriculteurs afin qu'ils puissent mieux vivre de leur métier. Pour ce faire, différents services ont été mis en place : la vente des produits agricoles au marché du village récemment rénové, l'organisation de formations, le conseil technique aux agriculteurs, l'aide à la demande de subventions, la construction d'infrastructures utiles aux agriculteurs (ex : centre de conditionnement, chambre froide, réseau d'irrigation et d'électricité) ou encore l'organisation d'échanges internationaux. Ses activités sont variées mais ne servent qu'un but : le développement agricole du nord-ouest de l'île (Communication personnelle).

2. Objectifs et résultats attendus

Les objectifs de l'association en ce qui concerne l'approvisionnement du marché par les agriculteurs adhérents peut se résumer par 3 termes : régularité, diversité et quantité. Il est donc nécessaire de réaliser une étude, qui fait l'objet d'un stage de six mois, pour vérifier les causes de baisse de rendement observée et de rechercher des leviers de changement pour les agriculteurs afin de palier à cette baisse, le but étant d'alimenter le marché du village et d'augmenter les revenus des agriculteurs (transition entre le modèle vivrier et une agriculture de production). La finalité du stage, pour arriver à cet objectif, est la conception d'essais expérimentaux de techniques innovantes.

Le stage consistera donc en une longue période préparatoire à la conception des essais à proprement parler. Le GVA souhaite obtenir des résultats qui rendent compte des plans d'expérience prévus, des protocoles précis de la mise en place des essais et des modalités de suivi des résultats (indicateurs choisis pour évaluer l'évolution de la fertilité et de l'érosion au cours du temps). Après la fin du stage, les techniques choisies seront testées chez les membres du GVA qui font partie du réseau de fermes de référence. Si les résultats sont positifs, ces fermes pourront servir de modèles aux autres agriculteurs et permettraient ainsi le transfert de nouvelles pratiques au sein des agriculteurs du nord-ouest de l'île.

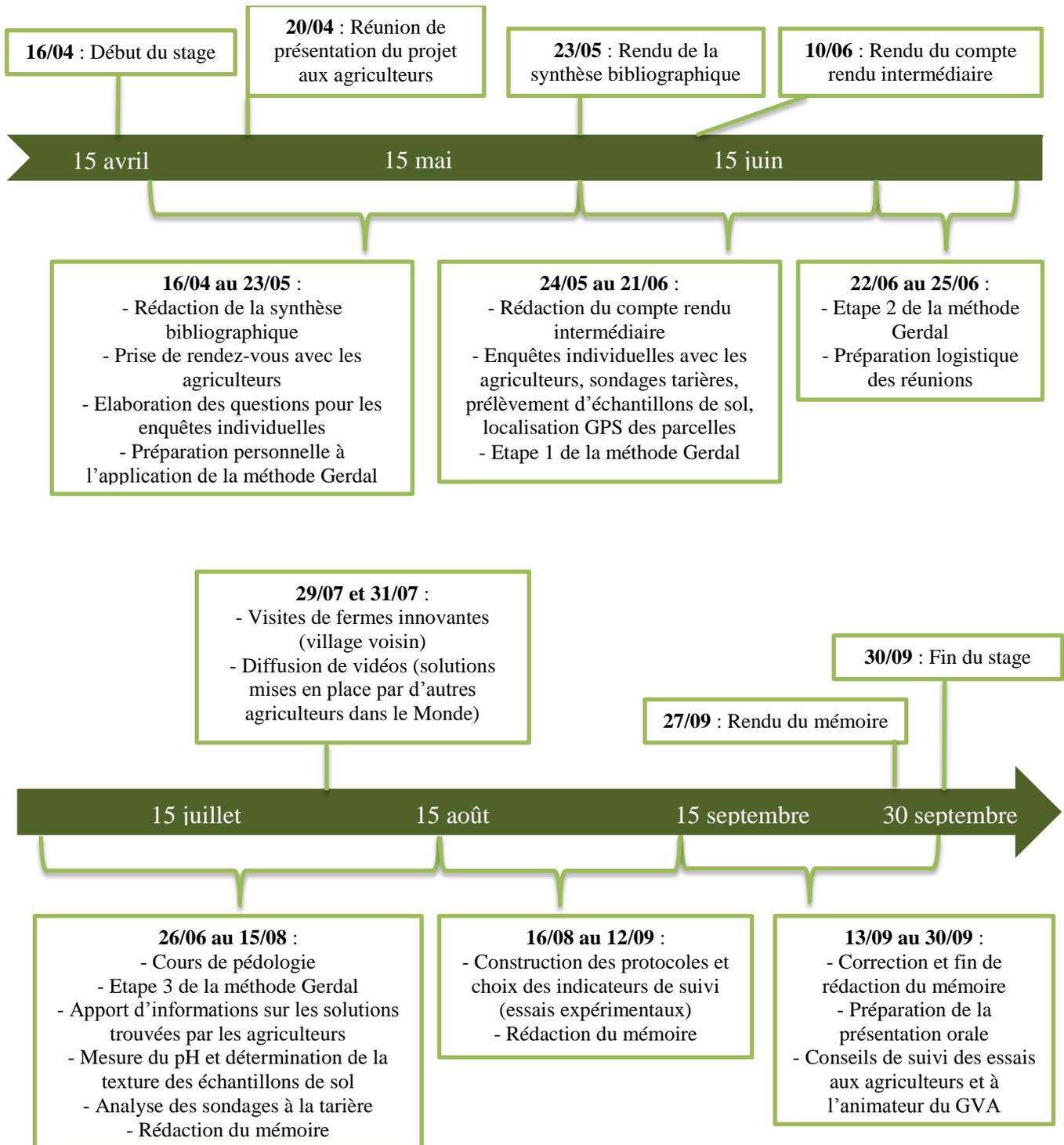
Pour répondre à la commande du GVA, il s'agit de trouver des éléments de réponse à la problématique suivante :

Quelles techniques permettraient de restaurer la fertilité et diminuer l'érosion des sols des adhérents du GVA d'Acoua ? Quels sont les facteurs et processus, liées à la gestion agricole et/ou aux caractéristiques du milieu, susceptibles d'induire une évolution de ces paramètres ? Comment impliquer les agriculteurs dans cette démarche de changement et leur faire adopter la mise en place d'essais sur leurs parcelles ?

D'autres questions se posent alors :

- Pourquoi les sols à Mayotte seraient peu fertiles et s'éroderaient-ils ? De quels types de sols s'agit-il ? Quelles en sont les particularités ?
- Quel niveau de fertilité faut-il cibler ?
- Des changements de pratiques sont-ils à l'origine de l'évolution des rendements ?
- Quelles sont les pratiques déjà utilisées par les agriculteurs pour maintenir la fertilité de leur sol et lutter contre l'érosion ?
- Quelles cultures et pratiques sont adaptées aux conditions pédoclimatiques de ce territoire ?
- Comment faire s'approprier aux agriculteurs des éléments techniques issus de résultats scientifiques ?
- Comment motiver les agriculteurs pour réaliser ce projet et des études à long terme ?
- Comment mettre en place les essais expérimentaux dans les fermes des agriculteurs ?
- Quels indicateurs de la fertilité des sols et de l'érosion sont pertinents et faciles à mettre en œuvre par les agriculteurs ? Quelles en sont les références ? Comment traiter les résultats ?
- Comment évaluer les résultats de mon travail avec les agriculteurs ?

Figure 19 : Calendrier réalisé des travaux effectués au cours du stage



(Création personnelle)

Nous allons maintenant présenter la démarche globale qui a été adoptée pour atteindre les objectifs fixés, le matériel à disposition et la méthodologie.

Partie 2 : Matériel et méthode

A. Démarche globale

1. Choix et limites fixés

Ce travail se limite aux difficultés des agriculteurs liées aux sols. Les autres problématiques qu'ils rencontrent ne seront pas solutionnées mais prises en compte dans ce travail. La thématique choisie, avant le départ en stage, pourrait être cependant mal reçue par les adhérents si ceux-ci n'y voient pas un fort intérêt pour le développement de leur ferme et du petit territoire agricole de la zone.

Afin de pouvoir encadrer au mieux le groupe qui participe au projet, nous avons choisi de se limiter, avec l'accord de l'animateur du GVA, à un effectif inférieur à 15 adhérents. La préparation logistique des réunions, l'animation et la motivation du groupe auraient risqué d'être difficiles si cet effectif était dépassé car nous sommes seulement deux voire trois personnes à en avoir la charge.

Nous travaillerons à une échelle spatiale restreinte, en se limitant aux communes adjacentes d'Acoua afin de pouvoir se rendre facilement sur les parcelles des agriculteurs, selon les moyens de transport disponibles.

2. Les étapes de la démarche globale

La représentation schématique de la démarche globale adoptée est présentée sur la Figure 18 (p 18). Premièrement, nous souhaitons connaître davantage les conditions du projet : c'est pourquoi nous nous intéressons au contexte mahorais et plus précisément à celui des fermes de référence du GVA d'Acoua. Cela est réalisé par des recherches bibliographiques, des relevés GPS et des sondages tarière. En parallèle, des recherches bibliographiques sont menées dans le but d'approfondir les connaissances sur les thématiques de travail (fertilité et érosion des sols), en prenant en compte les éléments de contexte.

La deuxième étape consiste à comprendre les difficultés des agriculteurs et identifier les processus liés à la fertilité et à l'érosion susceptibles d'expliquer la baisse généralisée des rendements. Cela permettra de mieux comprendre les problèmes auxquels il faudra trouver des solutions. Cette étape implique de mettre en lien des enquêtes individuelles effectuées avec les agriculteurs et le résultat des recherches bibliographiques précédentes.

En troisième lieu, un travail collectif entre les agriculteurs et le personnel du GVA permet de résoudre les problèmes identifiés. Cette étape est introduite par une petite formation proposée aux agriculteurs afin qu'ils acquièrent des notions de pédologie, notamment sur les processus majeurs liés à la fertilité et l'érosion. Les agriculteurs sont ensuite encadrés dans la recherche de solutions aux problématiques dégagées auparavant. Des informations leur sont fournies ultérieurement pour étayer les idées proposées.

Durant la quatrième étape, les agriculteurs s'appuient sur le panel de solutions retenues pour choisir un facteur à tester dans leur ferme. Il faut alors préparer les protocoles des essais à mettre en place pour que tout soit prêt au début de la saison des pluies, les conditions de suivi de la fertilité et de l'érosion des sols et l'analyse des résultats de l'expérimentation.

Enfin, nous ferons une analyse critique de nos résultats en dégageant les limites et les perspectives possibles. Présentons maintenant le déroulement de ces étapes au cours temps.

3. Calendrier de travail

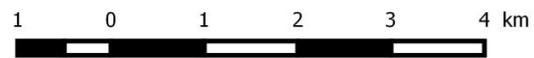
Au début du stage, une planification des tâches (diagramme de Gantt) a été réalisée : le temps nécessaire à chaque étape a été plutôt mal appréhendé. Certaines phases se sont révélées plus rapides à mettre en œuvre et d'autres beaucoup plus longues. La Figure 19 représente la chronologie des différents travaux réalisés.

Figure 20 : Carte des sites des parcelles visités (un numéro correspond à un agriculteur)



Légende

- Nom et limites des communes
- Sites visités des 13 agriculteurs



(Création personnelle)

B. Matériel : un réseau de 13 fermes de références

Ce projet concerne 13 agriculteurs adhérents du GVA d'Acoua. Le choix des participants s'est réalisé sur la base du volontariat après une réunion de présentation du projet aux membres du GVA et en contactant les agriculteurs les plus impliqués dans l'association, indisponibles le jour de la réunion. Huit agriculteurs étaient présents à cette réunion et seulement quatre se sont portés volontaires pour faire partie du groupe de travail ce jour-là. Nous n'avons refusé personne : les agriculteurs motivés étaient tous acceptés.

Une visite des parcelles de chaque agriculteur a été réalisée et des relevés GPS ont permis de les localiser dans la zone Nord-Ouest de l'île (Figure 20). Pour conserver l'anonymat des agriculteurs, nous leur avons attribué un numéro, qui sera le même tout au long du mémoire. Certaines parcelles, sur des sites éloignées, n'ont pas été visitées. La majorité des parcelles se situent dans les communes d'Acoua et de Mtsangamouji. Seul un site est excentré des autres, dans la commune de Brandaboua. La localisation des parcelles nous permettra par la suite de les situer sur les cartes géologique et morphopédologique dans le but d'obtenir des informations contextuelles.

C. Méthodologie

1. Caractérisation des fermes de références

Il est nécessaire de bien comprendre le fonctionnement des fermes, leurs similitudes et différences et leur contexte naturel (sol et pente) afin de connaître les conditions du projet.

1. 1. Fonctionnement global des fermes

Tous les agriculteurs concernés par le projet ont été enquêtés dans l'objectif de comprendre au mieux le fonctionnement global des fermes de référence, d'où la diversité et la quantité de questions. Le questionnaire utilisé est disponible en Annexe 3. Certaines questions ciblent directement les thématiques du stage : il s'agit de comprendre les pratiques des agriculteurs en lien avec la fertilité et l'érosion des sols. Les réponses nous indiqueront notamment quelles pratiques sont déjà réalisées et ce qui est possible d'améliorer. Le questionnaire a été testé sur le premier agriculteur à enquêter : il a été légèrement modifié à la suite de cette première enquête. Certaines questions n'étaient pas adaptées au contexte : par exemple, les agriculteurs n'ont aucune idée des rendements des cultures en général. Nous nous sommes donc focalisés sur le rendement des bananiers et des maniocs, dont ils ont quelques notions. Toutes les réponses ont été réunies sur un fichier Excel. L'analyse de ce questionnaire s'est fait en comparant les réponses de chaque agriculteur pour la même question et en en dégagant les pratiques les plus communes. Pour les réponses chiffrées, la moyenne, le maximum et le minimum ont été calculés.

1. 2. Caractérisation des sols et des pentes des parcelles des agriculteurs

Lors de la visite des fermes, les relevés GPS (modèle Trimble Juno SB) ont permis d'obtenir une idée des pentes des parcelles. Le GPS a été configuré pour calculer des surfaces. En faisant le tour des parcelles avec le GPS, de nombreux points sont enregistrés. Les limites du terrain de l'agriculteur ont été suivies. Une seule valeur de pente est alors fournie par le GPS pour chaque relevé. Il ne s'agit pas de la pente moyenne mais de la pente maximale enregistrée au cours du déplacement, ce qui ne rend pas compte des zones moins pentues traversées. La pente est un facteur important de l'érosion des sols, d'où l'intérêt qui y est porté.

Afin de mieux appréhender les caractéristiques des sols du groupe d'agriculteurs, des sondages ont été réalisés chez tous les agriculteurs engagés dans ce projet, avec une tarière manuelle à spirale de 115 cm de longueur. Un seul sondage a pu être réalisé par agriculteur, compte tenu du temps nécessaire pour exécuter ce travail. Le sondage est réalisé sur une zone représentative des sols de la parcelle (selon les dires des agriculteurs) en se plaçant préférentiellement sur une zone plane, à l'ombre et où le sol est assez dégagé de la végétation, pour des questions pratiques. Le protocole suivi et les fiches de terrain sont disponibles en Annexe 4 et 5. Un trou dans le sol est réalisé peu à peu en mettant de côté de manière ordonnée la terre évacuée, afin de former une colonne représentative du sol sondé. Lorsqu'il est impossible de creuser plus profondément (sol trop dur, sol

qui s'effrite et retombe inlassablement au fond du trou ou longueur de la tarière atteinte), on note pour profondeur celle atteinte réellement. Les horizons sont ensuite séparés par une brindille pour bien les distinguer. Les caractéristiques de chaque horizon sont ensuite prises en notes. Des échantillons de sol constitués de la terre évacuée lors du sondage ont été prélevés à cette occasion afin de déterminer leur texture et mesurer leur pH : les protocoles utilisés sont situés en Annexe 6. Les résultats de pH et texture seront approximatifs, aux vues des méthodes utilisées. A posteriori, des analyses de sol plus approfondies de laboratoire pourront être réalisées dans le cadre du projet partenaire Bioferm (gestion conservatoire des biomasses, des nutriments et de la fertilité des sols dans les petites exploitations familiales de Mayotte) pour mieux connaître les caractéristiques physico-chimiques des sols des agriculteurs. La dénomination des sols sondés sera déduite de l'analyse des sondages tarières mise en lien avec les données géologiques et morphopédologiques de la zone. On s'appuiera d'abord principalement sur les différents paramètres, issus des observations de sondages et des analyses des échantillons. Il est ensuite vérifié que les sols correspondent aux unités de la carte morphopédologique. Si ce n'est pas le cas, on ne prend pas en compte les informations la carte car le sondage tarière est plus précis qu'un zonage des sols. Lorsque les éléments grossiers n'apportent pas une information claire sur la nature de la roche mère, nous utilisons la carte géologique pour la déterminer, en prenant en compte la topographie du site. La caractérisation des sols est utile pour en connaître les propriétés, qui influent sur la fertilité et l'érosion.

1. 3. Typologie des fermes du groupe

Afin de mieux comprendre les ressemblances et différences entre les 13 fermes, un essai de typologie a été réalisé. Cela est utile pour comprendre les grandes contraintes et atouts par groupes d'agriculteurs et de les prendre en compte dans la mise en place des essais en milieu paysan. Cette typologie a été réalisée avec 21 variables quantitatives (Annexe 7), les plus représentatives des données recueillies lors des entretiens individuels. Les données brutes étant hétérogènes, elles ont été centrées et réduites avant leur utilisation sur R. Le script utilisé pour l'analyse en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) sont présentés en Annexe 8. La compréhension des résultats passera par l'analyse du cercle de corrélation, des variables constituant les axes du graphique de répartition des individus et des chiffres obtenus sur R.

Toutes les informations recueillies seront prises en compte dans la conception des essais. Nous nous intéressons maintenant à la manière de concevoir les expérimentations.

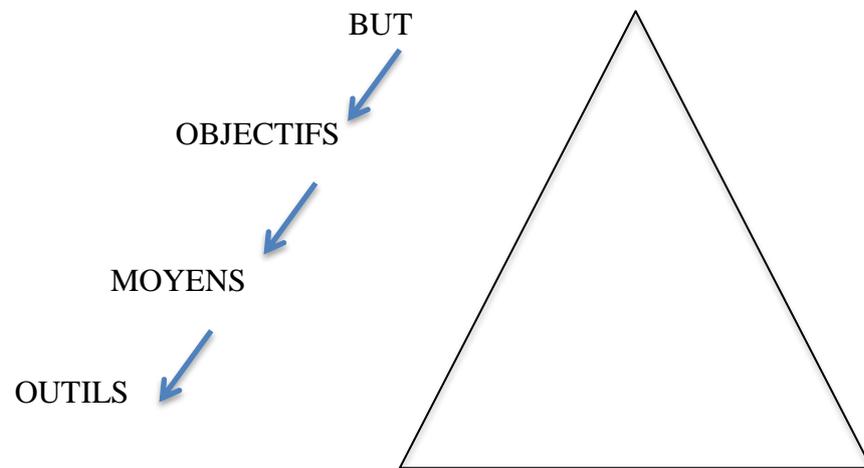
2. Une méthode participative : la méthode Gerdal

2. 1. Pourquoi utiliser une méthode participative ?

Le modèle traditionnel, diffusionniste, des actions de développement rencontre souvent des difficultés au niveau de l'appropriation et de la mise en pratique par les agriculteurs des conseils donnés par les agents de développement. La méthode utilisée dans ce travail tente de rompre avec cette idée d'un développement « top down », allant des scientifiques aux agriculteurs (Darré, 2003; Darré et al., 2004). Le co-développement présuppose une participation active des acteurs concernés par la démarche. La méthode utilisée pour concevoir les essais expérimentaux par et pour les agriculteurs s'inspire directement de la « méthode Gerdal » appelée aussi « méthode Darré », du nom de son inventeur, ou « Recherche co-active de solutions ». Cette méthode a été adaptée pour le projet. L'intérêt de la méthode est de permettre l'émergence de solutions provenant des agriculteurs eux-mêmes pour développer leur autonomie et maintenir ainsi une dynamique des communautés locales agricoles. Mon rôle consiste donc à mettre en place une démarche « heuristique¹⁷ ». Le défi consiste à pouvoir entamer cette démarche sans se substituer aux agriculteurs, tout en les aidant à échapper au poids des habitudes relationnelles agriculteur/agent de développement afin qu'ils inventent leurs propres solutions (ibid).

¹⁷ Heuristique : c'est-à-dire qui aide à découvrir.

Figure 21 : Pyramide des solutions (les flèches ont la signification suivante : « ... peut être atteint en faisant ... » ; il n'existe qu'un seul but par problématique envisagée ; les objectifs, moyens et outils peuvent être multiples)



(Création personnelle)

2. 2. Les différentes étapes de la méthode Gerdal

Cette méthode se déroule en trois phases principales : le recueil de la parole des agriculteurs, la transformation des paroles recueillies en problématiques traitables et la recherche co-active de solutions. La méthode Gerdal s'appuie sur la notion de co-développement qui présuppose que les agriculteurs ont en eux les solutions à leurs propres problèmes. Il s'agit de leur donner la parole, de transformer cette parole en problématiques traitables, pour enfin, avec eux, trouver des solutions qui donneront naissance à des projets dont ils seront les acteurs principaux (ibid).

2. 2. 1. Etape 1 : Le recueil de la parole des agriculteurs

Cette étape est réalisée sur la base d'entretiens individuels qualitatifs et non directifs en posant l'unique question de départ : « Bonjour, je vous invite maintenant à me parler des difficultés, en termes de fertilité et d'érosion, que vous rencontrez avec les sols de votre ferme ». Cette question ouverte permet à la personne enquêtée de choisir les thèmes qu'elle souhaite aborder et de les développer à son rythme. Les interventions de l'interviewer, dans un premier temps, se borneront à reformuler les propos émis, de façon à en vérifier la compréhension et permettre à l'interviewé d'explorer à son rythme les différents thèmes abordés. Lorsque l'agriculteur s'éloigne du sujet, son interlocuteur le recadre en relançant la conversation sur le sujet principal. Le groupe « d'enquêteurs » est composé de deux personnes le plus souvent : une qui pose la question de départ et reformule (animateur du GVA) et une autre qui prend des notes de l'entretien (moi-même). L'animateur du GVA a aussi un rôle de traducteur puisque près de la moitié des agriculteurs ne parlent pas français. La technique de prise de notes consiste à écrire le plus possible ce qui est dit comme cela est évoqué de façon à pouvoir ultérieurement se baser sur les discours produits pour construire les problématiques. La base principale de cette technique d'entretien repose sur la « fidélité aux discours émis ». La prise de notes consiste à écrire d'une façon non linéaire, par « paquets d'expressions », de façon à pouvoir rapidement reconnaître les différents thèmes abordés et les façons d'en parler (ibid). Nous aurions pu également enregistrer les échanges avec les agriculteurs.

2. 2. 2. Etape 2 : La transformation des paroles recueillies en problématiques traitables

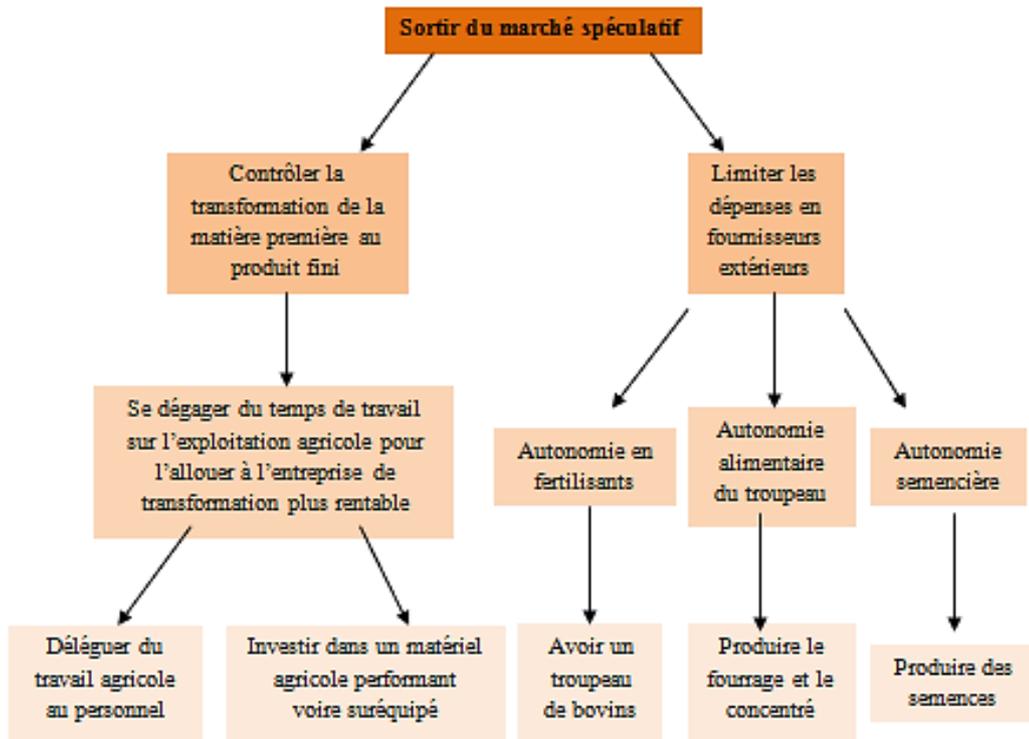
La construction de problématiques permet d'augmenter la pertinence des discours émis. Chaque entretien est ensuite ainsi retravaillé par les « enquêteurs » : relecture et repérage des différents thèmes soulevés, annotation et numérotation des différents thèmes, mise en commun des différents entretiens pour constituer une liste additive de tous les thèmes.

La construction des problématiques en tant que telles est faite au moment où tous les agriculteurs ont été rencontrés. Pour chaque thème, on relève au fil des différents entretiens les extraits qui semblent les plus significatifs en rapport avec le thème préconstruit. Ces extraits veilleront à être le plus fidèles possible aux paroles émises par les agriculteurs. La construction de la problématique d'amont devra tenir compte des différentes déclinaisons et phrases reportées sous le même thème. Elle aura une syntaxe qui se rapproche de celles-ci : « Comment tenir compte du fait que ... ? » ou « Comment faire pour ... ? ». La problématique ainsi constituée sera validée par le fait que l'ensemble des expressions ayant permis de la construire se retrouve incluse dedans en évitant un niveau de généralisation trop important et l'omission d'expressions recueillies. Les problématiques seront construites à partir de la prise en compte des contradictions par repérage des éléments dialectiques dans les discours émis (ibid).

2. 2. 3. Etape 3 : La recherche co-active de solutions

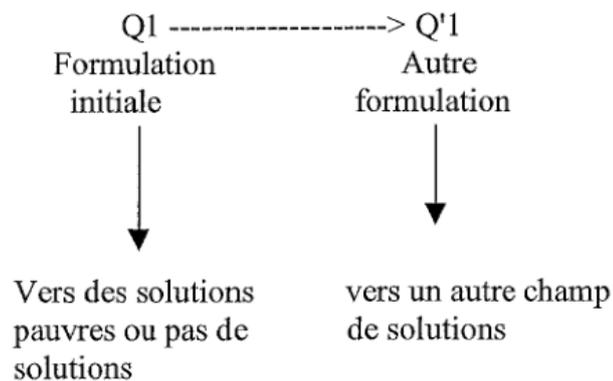
Les enquêteurs présentent le travail effectué aux agriculteurs : les problématiques construites ainsi que le matériau d'origine ayant permis de les élaborer (les paroles recueillies) sont présentés devant tous. De ce fait, les adhérents du GVA sont capables de reconnaître leurs expressions, leurs paroles propres, et de comprendre le travail de construction de problématique qu'elles ont permis. Il est alors indispensable de vérifier si les paroles et problématiques correspondent bien aux difficultés des agriculteurs (ibid). La recherche de solutions collective se fait ensuite par thème/problématique, en tentant de construire un schéma en pyramide (Figure 21). Le but est de partir d'une

Figure 22 : Exemple de pyramide de solutions



(Création personnelle)

Figure 23 : « Elargir la surface du problème » en formulant la question autrement



(Darré, 2003)

problématique large pour atteindre des outils concrets, applicables par les agriculteurs sur le terrain (ibid). Un exemple est présenté sur la Figure 22. L'aide méthodologique doit conduire la discussion dans le but d'impulser l'expression des idées, accompagner cette expression en dégagant les trajectoires de la réflexion collective et proposer, à partir de ce qui se dit, des questions nouvelles. De nombreux principes de conduite de discussion sont présentés dans les ouvrages de Darré et al. (2003; 2004). Par exemple, pour « élargir la surface du problème » lorsque nous cherchons les « moyens » d'atteindre un « objectif » (Figure 23), l'aide peut faire chercher aux agriculteurs d'autres manières de se poser la question en trouvant une question amont ou faire éclater une question en sous-questions. Il peut intervenir ainsi : « Est-ce bien là le problème que vous voulez résoudre ? » ou bien « Ne peut-on pas envisager d'autres possibilités ? ». En procédant de la sorte, les agriculteurs rentrent dans une phase de créativité et dans l'invention de solutions non envisageables jusqu'à présent. Nous sommes alors dans une démarche « heuristique », qui allie le « brainstorming » à la proposition de solutions. Par la suite, il s'agit de transformer toutes les solutions à la base du schéma en pyramide pour les transformer en actions opérationnelles. Pour ce faire, la constitution d'un calendrier avec les agriculteurs est nécessaire. Le début de chaque action est classé dans une période : court terme, moyen terme ou long terme.

3. Des recherches bibliographiques

Parallèlement à mon rôle d'accompagnateur et d'animateur dans l'application de cette méthode, j'apporterai des informations aux agriculteurs pour étayer leurs propositions et ainsi enrichir leurs idées. Cette phase d'information est bien séparée des autres étapes de la méthode pour que les agriculteurs ne voient pas en ces propositions des obligations, où l'agent de développement dit et où l'agriculteur exécute, ou non, les conseils donnés. Les agriculteurs seront libres d'utiliser ces suggestions : ce sont eux qui décideront des techniques à tester sur leurs parcelles. Cette étape se déroule après l'obtention des schémas en pyramide afin de ne pas influencer les agriculteurs, ce qui limiterait leur créativité à la recherche de solutions. En ce qui concerne les essais expérimentaux, les recherches bibliographiques sur la conception de plans d'expérience sont nécessaires pour mener à bien les essais car les agriculteurs n'ont pas toujours une approche scientifique. Cette recherche permettra d'obtenir des résultats exploitables pour suivre leur évolution. Les indicateurs de suivi de la fertilité et de l'érosion des sols sur les unités expérimentales seront toutefois choisis avec les agriculteurs et appuyés par des recherches personnelles. Les moyens pour les mesurer seront ensuite expliqués aux agriculteurs sur le terrain afin qu'ils soient autonomes dans cette procédure.

4. La mise en œuvre par les agriculteurs

Cette dernière étape consiste à concevoir concrètement les essais expérimentaux à partir des solutions abordées tout au long du projet. Chaque agriculteur choisit alors, parmi ce panel d'actions, la pratique qu'il souhaite mettre en place et tester sur ses parcelles. Les agriculteurs seront entourés pour vérifier que leurs idées soient réalisables selon leurs contraintes et cohérentes au niveau agronomique. Ainsi, nous vérifierons qu'ils ont accès aux ressources nécessaires pour mettre en place les essais (ex : quantité de fertilisant disponible suffisante) et qu'ils ont suffisamment de temps pour s'occuper des travaux à réaliser pendant l'essai. Les techniques testées devront être reproductibles : on conseillera à l'agriculteur de choisir une autre technique si ce n'est pas le cas. Il leur sera aussi conseillé un itinéraire technique des espèces cultivées à mettre en place au cours des essais. A la fin de cette étape, on doit pouvoir répondre à ces questions : « Qui met en place quoi, où et quand ? ».

Partie 3 : Résultats

A. Caractérisation des fermes de référence

1. Une agriculture traditionnellement vivrière

Le groupe d'agriculteurs est constitué de dix hommes et trois femmes âgés en moyenne de 55 ans et dont la moitié environ ne maîtrise pas le français. Les femmes sont assez peu représentées et

Tableau 11 : Espèces cultivées par le groupe, tous agriculteurs confondus

Type de cultures	Espèces
Cultures vivrières	banane, manioc, ambrevade
Cultures fruitières	orange, mandarine, citron, citron vert, combava, avocat, jaque, fruit à pain, mangue, coco, pomme cannelle, papaye, tamarin, corossol, goyave, pomme de Cythère, bilimbi (arbre à cornichon)
Cultures maraichères	gingembre, curcuma, grenadille, concombre, melon, melon blanc, citrouille, pastèque, patole, ananas, haricot, piment, maïs, aubergine, songe, tomate, canne à sucre, parauvi, pois du cap, brède morelle
Cultures de rente	vanille, ylang
Cultures fourragères	banane, manioc, papaye, jaque, canne à sucre

(Création personnelle)

Tableau 12 : Répartition des animaux d'élevage dans le groupe

	Bovins (zébu)	Caprins (race locale)	Poulets de chair (souches 657 et 957)	Poules pondeuses (race locale)	Dindes (race locale)	Canards (race locale)
Effectif d'animaux total au moment de l'enquête	10	18	130	30	7	23
Effectif (Numéro des éleveurs)	2 (11, 12)	3 (4, 13)	2 (1, 12)	1 (12)	1 (12)	2 (1, 12)
Moyenne d'animaux /éleveur	5	6	65	30	7	11,5

(Création personnelle)

peu de jeunes sont intéressés par le projet, bien que la moyenne d'âge des adhérents du GVA soit de 44 ans (Abou, 2014). Le travail au champ est majoritairement masculin et les jeunes ne sont plus motivés par un métier peu rémunérateur et difficile. On peut noter que les agriculteurs ont le plus souvent beaucoup d'enfants (8 en moyenne) et sont installés depuis 30 ans en moyenne. Cependant, la majorité des fermes est encore en phase de développement. Le revenu issu de l'activité agricole (68 % en moyenne) ne permet pas aux agriculteurs et à leur famille de vivre dignement. Ils sont donc contraints de cumuler plusieurs activités ce qui explique que sept des 13 agriculteurs exercent une autre activité professionnelle à temps plein ou partiel pour tenter de ramener des compléments de revenu dans leur foyer. 8 agriculteurs ont aussi une responsabilité associative ou religieuse. L'apprentissage se fait avant tout par transmission familiale : un seul agriculteur a suivi une formation académique agricole et 8 agriculteurs ont pu participer à des formations ponctuelles organisées par le Cfppa, la Capam ou le GVA. Tous les agriculteurs vivent à Acoua, à une distance relativement faible de leurs parcelles, mais celles-ci sont souvent enclavées. Les agriculteurs sont peu équipés de véhicules et les chemins pédestres sont difficiles (fortes pentes, cailloux).

En ce qui concerne le foncier, la grande majorité du groupe occupe une propriété collective familiale, souvent coutumière mais non légalisée. Quelques adhérents possèdent un titre de propriété individuel. Divers facteurs compliquent l'accès à de nouveaux terrains : absence de la société d'aménagement foncier et d'établissement rural (Safer) sur l'île, régularisation onéreuse, phénomènes d'indivision et tradition mahoraise de conserver une terre agricole. La SAU des agriculteurs varie entre 0,3 ha et 1,5 ha, répartie en moyenne sur deux parcelles en deux sites.

L'activité de production végétale est essentiellement vivrière et extensive. Elle est parfois associée à une activité d'élevage (bovin, caprin ou avicole) et/ou une activité maraîchère marginale. La production végétale est diversifiée puisqu'en moyenne, 14 espèces différentes sont cultivées sur de très petites surfaces en association. La banane et le manioc sont les cultures dominantes car elles constituent l'alimentation de base des mahorais. Elles sont cultivées en association (systèmes agroforestiers) à des cultures fruitières, maraîchères, et très occasionnellement à des cultures de rente (un agriculteur) ou des cultures fourragères (trois agriculteurs) (Tableau 11). Sept agriculteurs laissent une partie de leur terrain en jachère pour une durée de quatre ans en moyenne par manque de temps pour cultiver cet espace disponible ou dans le but de restaurer la fertilité du sol. Les parcelles sont ensuite défrichées par un brûlis partiel ou généralisé. Les itinéraires techniques appliqués sont très simples car les agriculteurs ont peu de moyens financiers pour se procurer des machines agricoles ou des produits de synthèse (engrais ou produits phytosanitaires) et n'ont pas de connaissances techniques approfondies. De manière générale, le travail du sol se limite à une simple trouaison (semis direct) lors de l'implantation de la culture, en début de saison des pluies, pendant laquelle le sol est fertilisé avec des débris végétaux ou des effluents d'élevage. Les adventices sont fauchées ou arrachées à trois reprises (une fois avant l'implantation des cultures et deux fois pendant la saison des pluies) et les résidus sont laissés au sol. L'irrigation en saison sèche est marginale car les agriculteurs n'ont pas accès aux réseaux d'eau et les rivières sont souvent desséchées. Les agriculteurs ont beaucoup de mal à gérer la pression des ravageurs (maki, rat, cochenille, limace, escargot, charançon,...) et du vol : les pertes de production peuvent atteindre jusqu'à 70 % de leur production en quantité de produits (47 % en moyenne pour le groupe). Les agriculteurs utilisent divers moyens de lutte plus ou moins efficaces : produits phytosanitaires (cinq agriculteurs), décalage des semis (un agriculteur) ou protection physique avec des sacs en plastique (deux agriculteurs).

Les grandes périodes de récoltes ont lieu de février à juillet. En dehors de ces dates, les récoltes concerneront plutôt les gros fruitiers tels que les manguiers ou les jaquiers. Les résidus de récolte sont laissés au sol. La part de produits autoconsommés fluctue entre 10 et 90 % (50 en moyenne). Le reste de la production est vendue au GVA, à des particuliers ou à la coopérative des agriculteurs du centre (Coopac). Une très faible part des produits est transformée et vendue sous forme de jus de citron, sauce au piment, fécule, vanille transformée et achards.

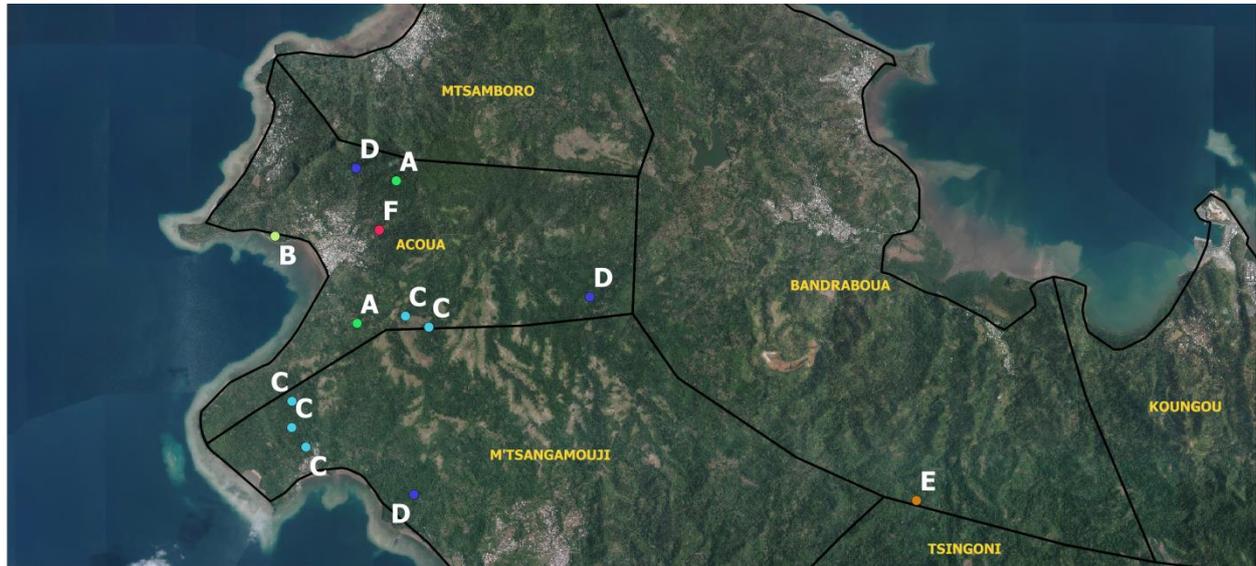
38 % des agriculteurs sont également éleveurs : le revenu de l'activité d'élevage contribue de 0 (deux agriculteurs autoconsomment la totalité de leur production) à plus de 50 % à leur revenu

Tableau 13 : Répartition des pentes des sites visités (une seule valeur de pente a été enregistrée pour chaque agriculteur)

Pente maximale (%)	[0-20]	[20-40]	[40-60]	[60-80]	[80-100]
Effectif d'agriculteurs	6	5	1	0	1
Effectif d'agriculteurs (%)	46,15	38,46	7,69	0,00	7,69

(Création personnelle)

Figure 24 : Carte des types de sol des sondages tarière réalisés



Légende

Type de sol

- A- sol ferrallitique remanié brunifié sur colluvions
- B- sol ferrallitique remanié
- C- sol ferrallitique remanié sur isaltérites
- D- sol ferrallitique remanié sur colluvions
- E- sol ferrallitique remanié sur allotérites
- F- sol ferrallitique remanié sur allotérite ou colluvions
- Délimitation des communes



(Création personnelle)

agricole (deux agriculteurs). Les élevages bovins, caprins et avicoles du groupe sont caractérisés par un faible effectif d'animaux par agriculteur (Tableau 12, p 24). Les bâtiments d'élevage sont rares et se limitent à des poulaillers pour les volailles. Les autres animaux sont conduits en piquet mobile dans les parcelles (bovins) ou sont placés dans un abri, sous l'habitation du propriétaire (caprins). L'alimentation, essentiellement fourragère (résidus de cultures et végétation forestière spontanée) est enrichie en concentrés, issus du commerce, dans le cas des volailles. Les traitements sanitaires sont inexistantes. Les effluents d'élevage bovin fertilisent directement les sols par leur passage dans les parcelles. Deux éleveurs (volailles et chèvres) laissent les déjections en tas directement au sol, avant de les utiliser pour fertiliser leurs cultures. Aussi surprenant que cela puisse paraître, deux autres agriculteurs jettent à la poubelle ces excréments qu'ils considèrent comme des déchets : ces déjections seront ramassées par les camions poubelles classiques. Trois éleveurs ont déjà détecté des animaux malades ponctuellement, sans connaître les maladies impliquées : ils abattent et consomment alors les animaux concernés. Dans le cas des bovins et des caprins, la reproduction a lieu naturellement. En ce qui concerne les volailles, les éleveurs n'assurent pas leur reproduction : ils achètent directement des jeunes animaux. Les agriculteurs vendent entre 0 et 100 % de leur animaux, vivants (caprins et bovins) ou entièrement préparés (volailles déplumées et vidées ; morceaux crus pour les caprins) dès que les animaux arrivent à l'âge adulte, pour éviter les pertes dues au vol. Les éleveurs conservent un ou deux reproducteurs caprins et bovins dans le troupeau pour assurer la reproduction. Les produits animaux, très rémunérateurs, sont vendus aux particuliers car le GVA n'est pas équipé de chambre froide.

La plupart des agriculteurs n'ont aucune notion de gestion d'entreprise et de comptabilité. Ils travaillent et gèrent leur ferme le plus souvent seuls. Ils sont parfois aidés par des membres de leur famille, surtout le week-end, lorsque les périodes de travail sont les plus chargées (préparation du terrain et implantation des cultures en début de saison des pluies). Deux agriculteurs emploient ponctuellement des clandestins à cette époque. Le temps de travail aux champs par semaine est très variable selon les agriculteurs : entre 5 et 42 h/semaine (22 en moyenne). Très peu d'agriculteurs reçoivent une d'aide de l'extérieur, que ce soit par conseil technique (deux agriculteurs), par le service d'entrepreneurs (deux agriculteurs) ou par des subventions (cinq agriculteurs ont déjà reçu des aides surfaciques de la politique agricole commune (PAC)). Les agriculteurs du groupe ont un chiffre d'affaires variant entre 70 et 800 €/mois environ (200 €/mois en moyenne). Les charges, non quantifiées, sont globalement faibles. L'emploi de main d'œuvre en début de saison des pluies constitue les charges les plus fortes. Aucune autre donnée économique n'a pu être collectée.

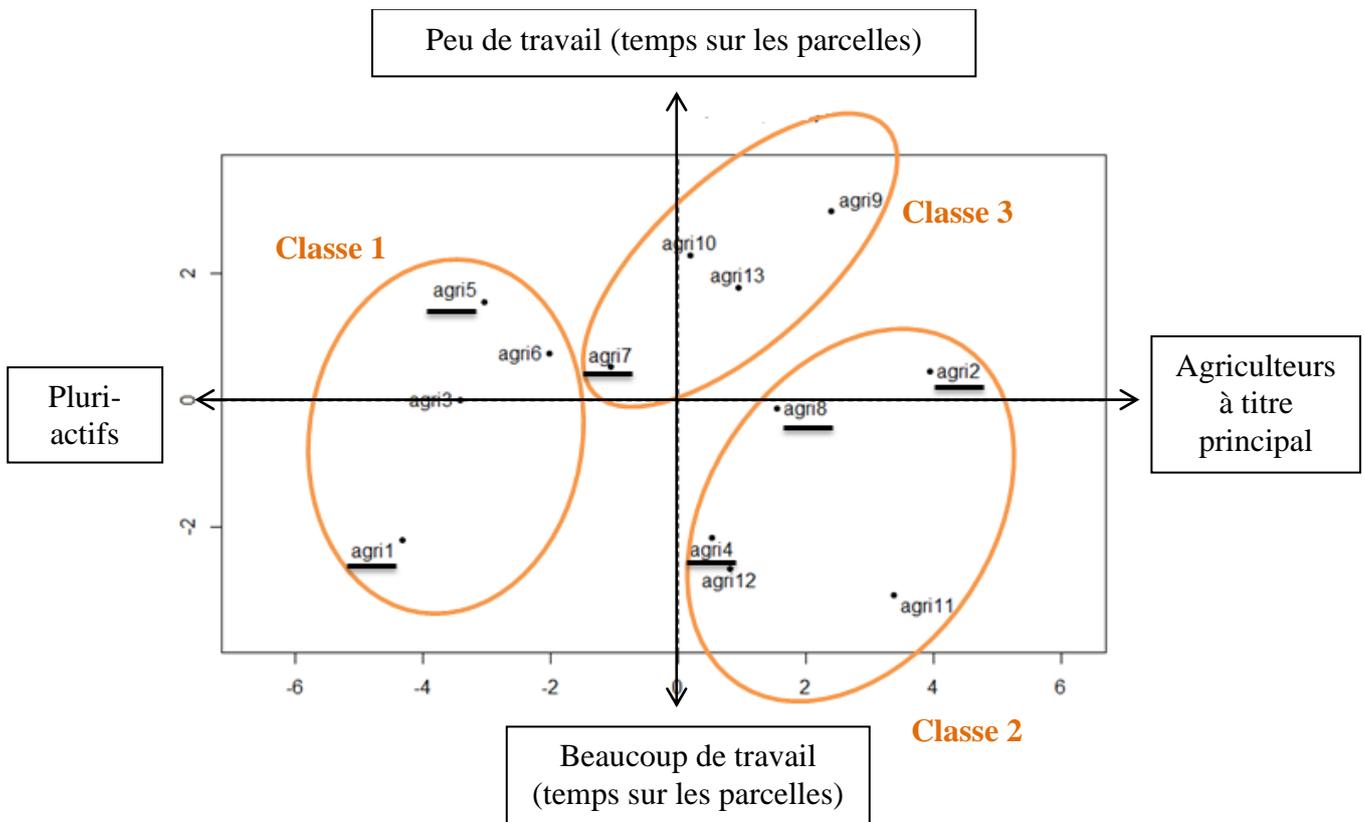
L'agriculture pratiquée par le groupe est essentiellement vivrière : l'objectif principal des agriculteurs est avant tout de pouvoir nourrir leur famille. Les surplus sont vendus pour subvenir aux besoins secondaires. La notion d'agriculture comme source de revenus est nouvelle puisqu'elle est apparue il n'y a que quelques années et tend à se développer. Après avoir compris le contexte global, on s'intéresse maintenant plus particulièrement aux sols des parcelles du groupe, afin de mieux percevoir leurs caractéristiques et les éventuelles difficultés liées à la fertilité et à l'érosion qui les concernent.

2. Des sols ferrallitiques sur fortes pentes

Les zones cultivées se situent toutes sur des terrains en pente selon les résultats des relevés GPS résumés sur le Tableau 13. Cela n'a pourtant pas été un critère de choix des agriculteurs. Les pentes maximales enregistrées sont importantes puisqu'elles varient de 10 à 87 %, avec une moyenne de 30 %. Il existe néanmoins quelques zones plus ou moins planes, qui ne sont pas mises en évidence ici.

La carte des sols sondés à la tarière chez les agriculteurs du groupe (Figure 24). Ces résultats sont peu fiables car il a été difficile de nommer précisément les sols sondés. Les sols rencontrés sont tous d'origine latéritique, ce qui est l'élément principal à retenir. On distingue différents types de sol ferrallitiques remaniés, plus ou moins brunifiés. Trois grandes catégories de roches mères leur ont donné naissance : allotérites, isaltérites et colluvions. Les sols issus d'isaltérites et de colluvions sont les plus fréquents car la séquence latéritique a subi de nombreux remaniements depuis son

Figure 25 : Typologie des 13 fermes du projet



(Création personnelle d'après les résultats obtenus sur R)

apparition. On les retrouve au niveau des versants très pentus ou vers le littoral peu pentu essentiellement. Un seul sol, situé au niveau d'un plateau, semble être issu d'un matériau de type allotérite.

Les caractéristiques des sols ferralitiques, issues de la littérature, ont déjà été explicitées plus haut. Elles semblent assez concordantes avec les résultats des sondages tarière. Globalement, la texture dominante des sols est argilo-limoneuse. Aucun d'entre eux n'a montré des signes de battance. La pierrosité de surface est souvent très faible voire absente mais elle atteint 40 % sur certaines zones (blocs de basalte). Ces sols sont profonds, acides, assez clairs (de teinte rouge/orangé). Lorsqu'ils contiennent des éléments grossiers, il s'agit de graviers (taille inférieure à 2 cm) très peu nombreux (moins de 5 %) d'origine basaltique. Leur forme sub-anguleuse à sub-arrondie témoigne d'une altération plus ou moins évoluée. Des tâches, qui semblent dues à l'altération de basaltes, de teinte blanche à noire ou orangée à rougeâtre et situées dans les horizons les plus profonds se distinguent encore lorsque le matériau d'origine n'a pas été totalement altéré. Les sols sont très secs dans les horizons supérieurs et plus frais en profondeur.

Ces sols, situés sur de fortes pentes, riches en particules fines (40 % d'argiles en moyenne) et pauvres en MO, d'après la couleur claire des horizons, semblent présenter des risques assez importants d'érosion hydrique. Leur profondeur (91 cm en moyenne) leur permet cependant de stocker une forte quantité d'eau de pluies infiltrée.

3. Typologie des fermes de référence

Les résultats bruts de l'ACP et de la CAH obtenus sur le logiciel R sont présentés en Annexe 9.

L'analyse des résultats aboutit à la formation de trois groupes d'agriculteurs (Figure 25). L'axe horizontal représente l'écart entre les agriculteurs pluriactifs et les agriculteurs à titre principal, qui vivent uniquement de l'agriculture. L'axe vertical correspond surtout à la quantité de travail fournie au champ. Il n'est pas possible d'insérer une échelle aux axes car ils sont constitués de plusieurs variables.

La classe 1 regroupe les pluriactifs, caractérisés par un fort revenu extérieur provenant de leur principal métier. Ils sont plus jeunes, cultivent assez peu d'espèces différentes dont une grande partie est autoconsommée. On peut penser qu'ils concentrent leurs efforts pour produire ce qu'ils mangent et le peu de temps qu'ils consacrent à l'agriculture ne leur permet pas de produire suffisamment pour vendre en plus grande quantité. Cette jeune génération a eu un meilleur accès aux formations que les générations précédentes qui apprenaient exclusivement par transmission familiale. Ils peuvent faire appel à une aide extérieure de manière ponctuelle car leur revenu principal leur permet d'allouer une partie de leurs ressources primaires aux charges de leur activité secondaire. Pour eux, l'agriculture n'est pas une activité professionnelle mais constitue plutôt un moyen traditionnel de se nourrir.

La classe 2, au contraire, représente une partie des agriculteurs à titre principal. Ce sont uniquement des hommes, plutôt âgés, qui retirent de l'agriculture la totalité de leurs revenus. Grâce au temps important qu'ils consacrent à l'agriculture et à une SAU relativement élevée, ils ont pu diversifier leur production dont la majorité est destinée à la vente : ils cultivent suffisamment pour pouvoir se nourrir et vendre leur surplus de production. Ils sont pourtant assez peu innovants dans les cultures maraichères, qui rapportent le plus. Leurs faibles revenus ne leur permettent pas de recourir à des services extérieurs.

Les agriculteurs à titre principal qui reçoivent un faible revenu extérieur sont regroupés dans la classe 3. Ils se caractérisent essentiellement par le peu de temps qu'ils consacrent à leur activité principale et leur forte participation à des fonctions extérieures (professionnelles ou associatives). Les trois femmes qui participent au projet y sont situées : l'insécurité les dissuade de travailler seule sur leurs champs et le revenu apporté par leur mari comble en grande partie leurs besoins. Lorsqu'elles sont aidées par la famille ou si les voisins sont présents dans les champs, elles en profitent pour travailler plus longtemps. Elles conçoivent leur activité agricole comme un loisir pour deux d'entre elles. La 4^e personne de ce groupe est l'agriculteur le plus vieux du projet (72 ans) : la fatigue du travail et le minimum vieillesse qu'il touche en complément pourraient expliquer le peu

Tableau 14 : Les problématiques traitables associées à quelques expressions d'agriculteurs

Thème	Paroles d'agriculteurs et notions dégagées	Problématique
Le manque d'eau	<p>manque d'eau : « ça pousse mais dans la difficulté car il y a peu de pluie » « avant il y avait beaucoup de pluie, les bananiers avaient plus de force »</p> <p>saison sèche : « c'est qu'en saison sèche que ça pousse mal »</p> <p>mauvaise répartition des pluies : « la saison pluvieuse est trop courte »</p> <p>changement : « à l'époque de ma maman, il pleuvait tout le temps » « la pluie de la saison des pluies maintenant, c'est la pluie de la saison sèche d'autrefois »</p> <p>effets séchants du soleil : « quand la terre est sèche, elle n'a pas de force » « quand il y a trop de soleil, les ananas ne poussent pas, les feuilles deviennent jaunes »</p> <p>appauvrissement du sol : « la terre donne moins qu'avant » « les sols sont malades »</p> <p>profondeur : « les sols sont peu profonds (vatousic) »</p> <p>sol dur : « sur la partie dure, je ne récolte quasiment rien »</p> <p>jachère, rotation, monoculture : « le sol, quand tu le sollicites trop, si tu récoltes tous les jours le manioc, il faut le laisser reposer plusieurs années »</p> <p>redonner de la vie : « les sols sont vieux et fatigués » « le sol va en arrière. La terre c'est comme les humains, au début ils ont de la force, et après ils vieillissent et se retrouve au lit »</p> <p>intensification de l'utilisation des terres : « avant la terre était pas beaucoup cultivée, ça donnait. Maintenant, la terre est beaucoup cultivée, ça donne moins »</p> <p>protection du sol : « j'avais mis le sol à nu... et ça marche même pas les bonnes années » « la terre souffre quand elle est nue, quand elle n'est pas enveloppée ; il faut qu'elle soit enveloppée par les feuilles des arbres »</p>	<p>Dans un contexte de changement climatique, comment s'adapter au manque d'eau pendant la saison sèche, aux effets séchants du soleil sur le sol et les plantes, à la mauvaise répartition des pluies au cours de l'année pour maintenir les rendements ?</p> <p>Comment améliorer le sol en tenant compte de son appauvrissement en minéraux, de son manque de profondeur, de sa dureté, des rotations et jachères, des effets néfastes de la monoculture et de l'intensification afin de lui redonner de la vie ?</p> <p>Comment protéger le sol pour qu'il ne soit jamais nu ?</p> <p>Comment prendre en compte la pente afin de limiter l'effet de l'érosion (ruissellement, torrent) ?</p>
Les caractéristiques du sol		
Le sol nu		
L'érosion		

(Création personnelle)

de temps qu'il consacre à l'agriculture. Ces agriculteurs sont étonnamment ceux qui, malgré une SAU faible, cultivent le plus d'espèces vivrières et maraichères différentes. Ils font également plus d'efforts pour protéger leur sol de l'érosion. Ces deux derniers critères révèlent une certaine innovation par rapport aux autres agriculteurs.

Cette typologie est assez satisfaisante car elle met en évidence les principales disparités des agricultures familiales de l'île. Mais elle présente des limites car elle ne prend pas en compte les variables qualitatives qui auraient pu apporter plus d'informations. De plus, l'élevage a été mis de côté, ne concernant que cinq agriculteurs du groupe dont seulement deux en tirent la majorité de leur revenu agricole.

B. Résultats des étapes de la méthode Gerdal

1. Etape 1 : Les paroles des agriculteurs, un constat général de baisse de rendement

Les prises de notes brutes regroupées en trois thématiques (fertilité, érosion, autres) des 13 agriculteurs interrogés, répondant à la phrase « Bonjour, je vous invite maintenant à me parler des difficultés, en termes de fertilité et d'érosion, que vous rencontrez avec les sols de votre ferme », sont disponibles dans le livret annexe au mémoire.

Tous les agriculteurs ont confirmé, au cours des entretiens, avoir observé une baisse de rendement, bien qu'elle ne soit que rarement quantifiée. Par manque de références, il n'est pas possible de connaître l'évolution des rendements sur l'île, ce qui aurait pu être utile pour savoir si cette baisse avait été observée sur le reste du territoire.

D'après les agriculteurs, plusieurs hypothèses peuvent expliquer la diminution de rendement : une baisse de fertilité des sols, l'érosion des sols, une augmentation des maladies et des ravageurs des cultures, une augmentation des vols et le changement climatique (baisse de la pluviométrie annuelle).

On tente de vérifier ces hypothèses de baisse de rendement au regard des recherches bibliographiques déjà présentées et des données recueillies auprès des agriculteurs. Il semble que la concentration accrue des pluies en saison humide, expliquée plus haut, limite le développement des cultures en saison sèche. La fertilité des sols semble aussi diminuer au cours du temps notamment en matière d'appauvrissement chimique car les agriculteurs du GVA ne fertilisent que très peu les cultures avec des apports d'origine extérieure qui pourraient équilibrer les exportations d'éléments nutritifs. La fertilisation par amendement organique, lorsqu'elle est présente, est une pratique plutôt récente et a permis d'augmenter les rendements selon les agriculteurs. Le manque d'eau en saison sèche ne fait qu'empirer cette situation de pauvreté chimique. De plus, seulement huit agriculteurs pratiquent encore la jachère sur une durée moyenne de quatre ans (pas de culture pendant quatre ans) et cinq autres ne font aucune jachère, ce qui n'est pas suffisant pour reconstituer la fertilité des sols en absence de fertilisation. L'évolution des rendements ne semble pas être causée par un changement de pratiques de la part des agriculteurs car la majorité d'entre eux conduisent leurs cultures de la même manière depuis de nombreuses années. Seulement deux agriculteurs ont diminué le temps des jachères ce qui peut expliquer une partie de la diminution de rendement sur leur ferme. Huit agriculteurs déclarent observer des traces d'érosion des sols sous forme de ruissellement, de rigoles ou de ravines. Cela confirmerait le fort risque d'érosion sur l'île évoqué dans la littérature, qui serait principalement causé par les fortes pentes des zones cultivées, les pluies intenses et le défrichement des forêts. Hors, ces trois paramètres se retrouvent chez les agriculteurs interrogés. La plupart tentent déjà de réduire l'érosion par différentes techniques (terrasses, tronc d'arbres perpendiculaires à la pente, couverture de feuilles au sol ...). L'érosion, en dégradant les sols, aurait une conséquence sur leur fertilité et donc sur les rendements. On pourrait aussi supposer que le vol et les problèmes de nuisibles, responsables de 50 % en moyenne des pertes de production du groupe d'agriculteurs (Communications personnelles), se seraient développés au cours des dernières années. Les pertes de production des adhérents sont très importantes puisque la moyenne mahoraise est estimée à 33 % (DAAF Mayotte, 2016). Selon une

Figure 26 : Visite d'une ferme à Mtsangamouji



(Création personnelle)

Tableau 15 : Vidéos de solutions mises en place par d'autres agriculteurs dans le Monde

Nom de la vidéo et lieu de tournage	Durée (min)	Page internet
GDT12 Culture de conservation (Zambie)	9	http://www.accessagriculture.org/fr/gdt12-culture-de-conservation
Cultiver du manioc sur des sols pauvres (Côte d'Ivoire)	18	http://www.accessagriculture.org/fr/cultiver-du-manioc-sur-des-sols-pauvres
Les merveilles du ver de terre (Bangladesh)	13	http://www.accessagriculture.org/fr/les-merveilles-du-ver-de-terre
Human urine as fertilizer (Ouganda)	9	http://www.accessagriculture.org/human-urine-fertilizer
Cuvettes zaï (Burkina-Faso)	7	http://www.accessagriculture.org/fr/gdt06-cuvettes-zai

(Création personnelle)

Tableau 16 : Agriculteurs qui participent aux expérimentations et localisation des parcelles concernées

Numéro de l'agriculteur	Localisation des parcelles d'expérimentation
1	Acoua, Maevaranou
2	Mtsangamouji, Tanaraki
3	Acoua, Maevaranou
5	Acoua, Mapouera
6	Acoua, Maevaranou
8	Mtsangamouji, Mliha
9	Acoua, Agnala kirombou
10	Acoua, Aranta n'soufou
12	Brandaboua, Bandra n'dzia

(Création personnelle)

enquête des pertes de production¹⁸ à Mayotte auprès de 600 agriculteurs, les vols touchent de plus en plus de fermes puisque 67 % des agriculteurs interrogés en sont victimes en 2010 et ce chiffre atteint 70 % en 2015. C'est aussi le cas des pertes par les makis¹⁹ et des roussettes²⁰ qui progressent de 12 à 15 % entre 2010 et 2015 (ibid). Un autre article de la DAAF (2015) confirme que les vols sont de plus en plus fréquents sur l'île. L'augmentation de la présence des makis sur les parcelles agricoles serait à mettre en lien avec la disparition progressive des forêts préservées de l'île, zone d'habitat naturel des primates (Communication personnelle). Une étude pour quantifier les pertes agricoles causées par cet animal est en cours.

Finalement, toutes les hypothèses évoquées par les agriculteurs semblent jouer dans la baisse de rendement qu'ils ont observée. On s'intéresse particulièrement aux difficultés rencontrées en lien avec la fertilité et l'érosion des sols.

2. Etape 2 : Transformer les difficultés exprimées en problématiques traitables

L'analyse des entretiens a permis de dégager quatre thématiques principales de difficultés, chacune associée à une problématique qui reprend les notions évoquées par les agriculteurs. Le Tableau 14 (p 27) présente le résultat de ce travail en y associant quelques expressions des agriculteurs qui ont permis de construire les problématiques. Après avoir présenté ce travail aux agriculteurs, qui ont confirmé la pertinence des problématiques construites par rapport à leurs difficultés, nous passons à la phase de recherche de solutions.

3. Etape 3 : Les solutions possibles

3.1. Les solutions trouvées par et pour les agriculteurs...

Cette étape a été introduite par une petite formation de pédologie pour donner plus de matière aux agriculteurs dans la recherche de solutions. La trame des notions évoquées pendant ce cours sont présentées sur l'Annexe 10. Les concepts évoqués sont simplifiés au maximum et illustrés au tableau par des schémas pour une meilleure compréhension.

Chaque problématique est ensuite travaillée indépendamment pour construire un schéma pyramide, qui inclut les termes d'application des différentes actions (court à long terme). Bien que cette étape ait été longue à mettre en place, les propositions ont été nombreuses.

3.2. ... enrichies par une démonstration d'applications concrètes ...

Afin que les agriculteurs puissent voir concrètement la mise en place de solutions qu'ils ont abordées dans le travail de recherche, deux visites dans le village voisin (Mtsangamouji) et une diffusion de vidéos ont été organisées. La première visite s'est déroulée dans la ferme d'un agriculteur très innovant en matière de pratiques et qui met déjà en place des solutions contre l'érosion et la baisse de fertilité des sols (Figure 26). La deuxième visite a eu lieu sur le toit d'un habitant du village, qui commence à développer le maraîchage urbain, ce qui lui permet d'arroser et de fertiliser ses cultures très facilement (eau courante et caprins au bord de la maison). Les cinq vidéos projetées successivement au cours d'une réunion proviennent du site internet de l'organisation non gouvernementale (ONG) internationale « Access Agriculture » qui diffuse des vidéos de formation agricole dans diverses langues locales. Les vidéos choisies (Tableau 15) présentent des solutions aux problèmes des agriculteurs du GVA mises en place dans différents pays du Monde. Entre chaque vidéo, les agriculteurs ont pu poser des questions. Les agriculteurs du groupe se sont beaucoup intéressés à ces deux événements. Le dialogue avec les agriculteurs a été riche et de nombreuses questions furent posées lors de la projection des vidéos. Les agriculteurs se sont sans doute sentis plus concernés par ces événements d'aspect pratique.

¹⁸ Pertes de production : pertes de produits végétaux causées par les ravageurs et maladies, les vols, les animaux en divagation ou les aléas climatiques.

¹⁹ Maki : primate de l'Océan Indien.

²⁰ Roussette : chauve-souris diurne endémique des Comores.

Tableau 17 : Caractéristiques principales du bananier et du manioc

	Bananier (Hountsi)	Manioc (Muhogu)
Botanique		
Famille	Musacées	Euphorbiacées
Nom commun	Banane à cuire ou banane dessert	Manioc doux (seul cultivé à Mayotte) ou manioc amer
Nom scientifique	<i>Musa sp</i>	<i>Manihot esculenta</i>
Type de plante	Herbacée géante vivace	Arbuste vivace
Technique de multiplication	Multiplication végétative (bouturage de rejet)	Multiplication végétative (bouturage de tige)
Conditions optimales de culture		
Exigence en eau	Très exigeant (120 à 180 mm/mois)	Moyennement exigeant (100 mm/mois). Eviter les excès d'eau pendant la phase de tubérisation.
Exigence en éléments minéraux	Exigeant	Peu exigeant
Exposition à la lumière	Plein soleil	Plein soleil
Sol	Préfère les sols légèrement acides, fertiles, assez profonds (au moins 1,2 m), meubles, bien drainés. Eviter les terrains compacts, peu drainants, pentus et trop exposés au vent.	Préfère les sols meubles sablo-argileux ou argilo-sablonneux, bien drainés, profonds et légers. Eviter les sols pierreux et trop humides.

(Chambre d'agriculture Martinique, 2007a, 2007b; Lycée agricole de Coconi et al., 2014)

Tableau 18 : Variétés de banane et manioc cultivées

	Variété	Numéro de l'agriculteur	
Banane plantain	Cavendish (Kontrike)	2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12	
	Poyo	1	
Manioc	6 mois	blanc	12
		jaune	1
		rouge	2, 5
		vert	10
	12 mois	blanc	3, 8
		jaune	6
		rouge	9

(Création personnelle)

3. 3. ... et par des recherches bibliographiques

Grâce aux recherches bibliographiques menées, des informations complémentaires aux solutions proposées par les agriculteurs leur ont été présentées avec un support PowerPoint. Un polycopié reprenant ces précisions (Annexe 11) a été distribué aux agriculteurs pour leur mettre à disposition ces informations utiles. Les indications apportées n'ont pas été vraiment discutées car seulement trois agriculteurs étaient présents à cette réunion.

Les schémas de solutions, qui émanent principalement des agriculteurs et ont été complétés par les informations apportées, sont disponibles en Annexe 12. Par exemple, les agriculteurs ont proposé d'installer des bandes enherbées sur les parcelles pour lutter contre l'érosion. Les recherches bibliographiques ont apporté à cette idée des informations utiles pour sa mise en place : localisation des bandes sur les parcelles, largeur conseillée et espèces à planter.

Parmi les schémas de solutions, les agriculteurs ont choisi un facteur d'amélioration de la fertilité et/ou de l'érosion à tester sur leur ferme. Les essais seront ainsi de type unifactoriel. Il aurait été possible de réaliser des essais multifactoriels mais la taille du foncier agricole des adhérents, étant très restreint, nous a contraints à nous focaliser sur l'étude d'un seul facteur par ferme.

C. Les essais expérimentaux à mettre en place

1. Différents essais répartis sur le réseau de fermes de référence

1. 1. Agriculteurs participant aux essais

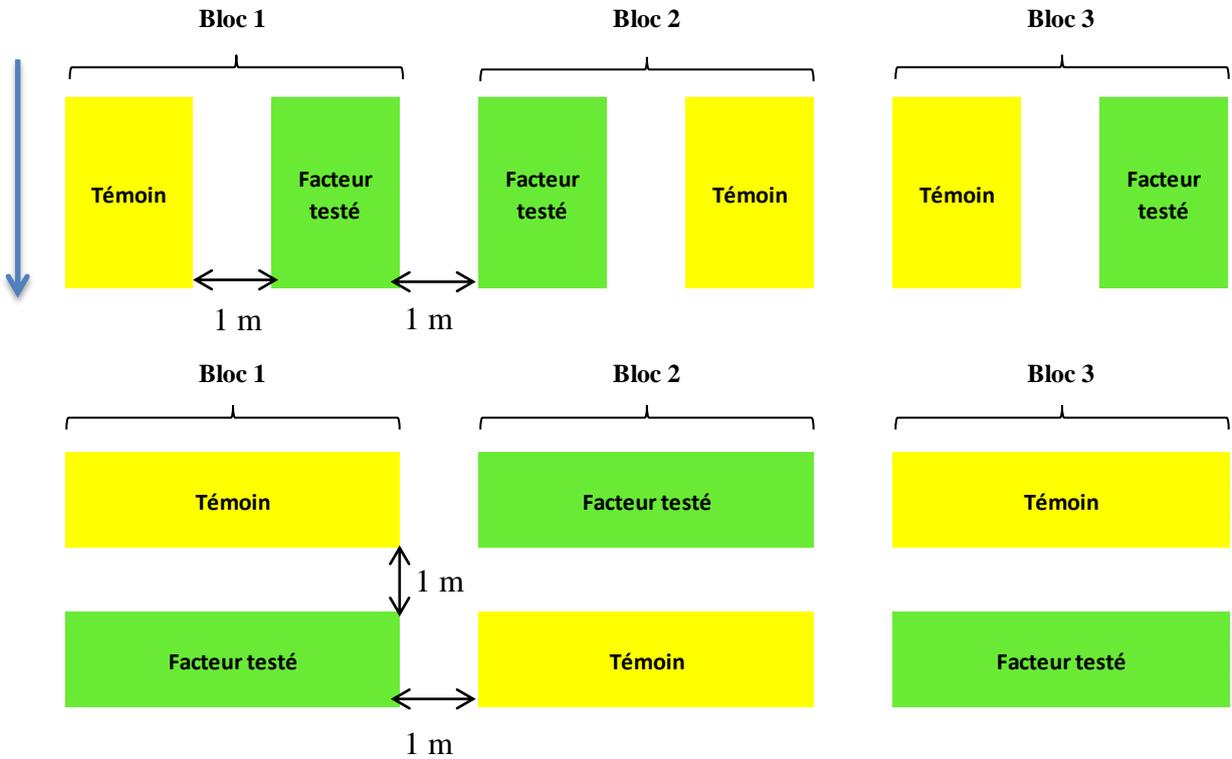
Neuf agriculteurs sont volontaires pour participer aux essais expérimentaux à ce jour. Trois agriculteurs du groupe sont partis en pèlerinage à La Mecque pendant un mois. Ils n'ont donc pas pu assister aux réunions de la dernière étape de la méthode : la conception des essais à proprement parler. L'installation d'essais leur sera donc proposée ultérieurement. Un agriculteur n'a pas souhaité participer mais nous ignorons pourquoi. Il était peu présent aux réunions et ne semblait pas très intéressé par les essais. Les agriculteurs qui mettront en place des essais sur leur terrain et la localisation des parcelles concernées sont présentés sur le Tableau 16 (p 28). La situation géographique des sites, qui ont été visités, se trouve sur la Figure 20 (p 20).

1. 2. Plantes cultivées

Les plantes cultivées sur les parcelles expérimentales sont le manioc (*Manihot esculenta*) et la banane plantain (*Musa sp*). Le manque de références, tant au point de vue des rendements que des indicateurs de suivi de la fertilité, sur les autres cultures nous a contraint à faire ce choix. De plus, il est intéressant de comprendre la réaction du manioc et du bananier aux facteurs testés puisqu'il s'agit des deux cultures principales de l'île. Chaque facteur étudié sera donc testé indépendamment sur ces deux cultures. Les grandes caractéristiques de ces deux cultures sont présentées sur le Tableau 17. Les agriculteurs devront veiller à placer les parcelles expérimentales sur des zones de forte exposition lumineuse. On peut noter que les sols des agriculteurs sont plutôt favorables à ces cultures globalement. Les variétés de banane et manioc ont été choisies par les agriculteurs selon leur préférence. Il existe de nombreuses variétés de manioc qui se différencient par la durée de culture avant récolte (6 ou 12 mois) et la couleur du pétiole des feuilles. Lorsque l'étude d'un facteur testé est particulièrement intéressante au cours de la saison sèche (ex : irrigation), nous avons imposé des variétés de manioc de 12 mois afin de pouvoir observer les différences entre les parcelles témoin et les parcelles test. Le GVA s'est assuré que les agriculteurs disposent de suffisamment de matériel de bouturage pour réaliser les essais. Les variétés choisies sont énoncées sur le Tableau 18.

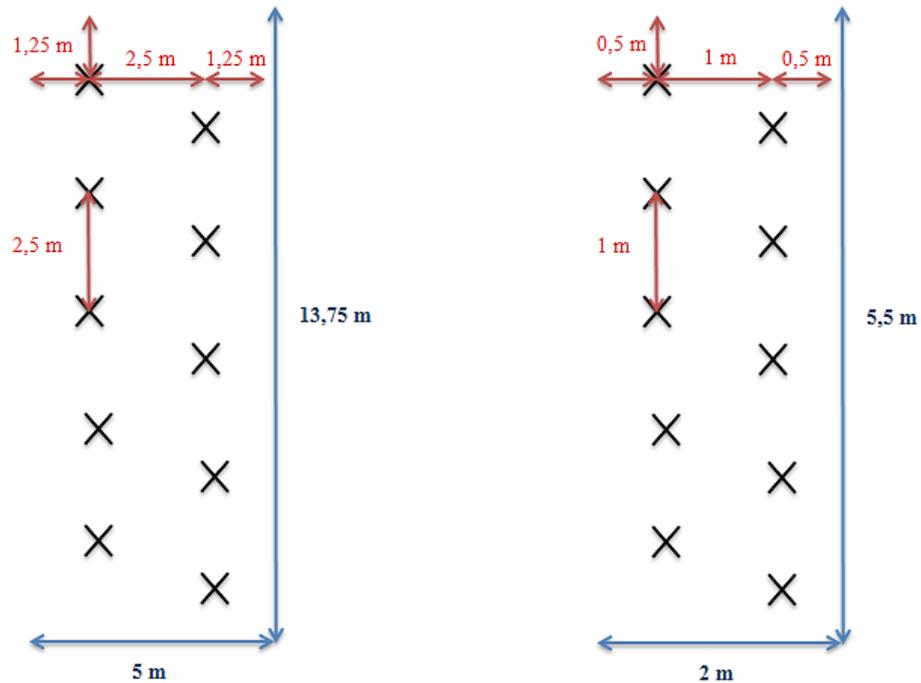
Afin d'assurer la reproductibilité des essais, j'ai défini clairement le plan et le protocole des expérimentations, en fonction des contraintes des agriculteurs et de leurs préférences.

Figure 27 : Plan d'un essai en bloc testant deux traitements (en haut : pour un terrain en pente ou plat ; en bas : pour un terrain plat uniquement ; la flèche bleue représente le sens de la pente)



(Création personnelle)

Figure 28 : Plan d'une parcelle de taille idéale contenant 10 pieds (à gauche : banane ; à droite : manioc ; les croix représentent les cultures ; les parcelles n'ont pas été représentées à la même échelle afin de conserver la lisibilité de la figure)



(Création personnelle)

1. 3. Plan d'expérience

1. 3. 1. Un plan d'essai en bloc

L'unité expérimentale qui a été choisie pour les expérimentations est la parcelle. Le groupe de parcelles sur lequel sont testés les deux traitements (témoin et facteur testé) constituent un bloc.

Afin d'obtenir des résultats exploitables et fiables, les trois grands principes de l'expérimentation (répétition, randomisation et contrôle local) seront mis en œuvre. Ainsi, les traitements seront répétés trois fois, constituant ainsi trois blocs distincts. Les traitements seront répartis aléatoirement dans chaque bloc pour éviter que l'interaction du milieu sur les cultures ne fausse les résultats. Un contrôle local est assuré, ce qui implique de réduire la variation entre les parcelles due à des facteurs externes. Si le terrain est pentu, ce qui est généralement le cas, les six parcelles d'une série (trois blocs de deux parcelles) seront alignées et positionnées perpendiculairement à la pente pour ne pas fausser les résultats, notamment en termes d'érosion. Si l'essai a lieu sur un terrain plat, les deux traitements peuvent être situés l'un après l'autre dans le sens de la pente (Figure 27). Les parcelles d'essai seront situées dans un milieu qui semble le plus homogène possible (sol, exposition, vent, cultures autour des parcelles expérimentales). Pour isoler chaque parcelle, on laisse un espace d'un mètre entre chacune d'elles (Jayaraman, 1999; Vouton, 2012).

1. 3. 2. Taille des unités expérimentales

La taille des unités expérimentales a été définie selon diverses contraintes.

Tout d'abord, nous avons recherché la taille idéale d'une parcelle afin d'obtenir un nombre d'observations suffisant pour ne pas être bloqué lors de l'analyse des résultats (idéal de 10 pieds par parcelle pour pouvoir utiliser le théorème central limite (TCL) en cas de non normalité). Le plan de ces parcelles est présenté sur la Figure 28. Une parcelle de manioc s'étend sur 11 m² et une parcelle de banane sur 68,75 m². Les parcelles étant séparées d'un mètre entre elles, la totalité des blocs pour un essai de manioc en pente a alors une aire de 93,5 m² (17 x 5,5 m) et un essai de banane a une aire de 481,25 m² (35 x 13,75 m). Si l'essai est réalisé sur terrain plat, selon l'autre disposition des parcelles, la surface utilisée est légèrement plus faible (manioc : 92,5 m² ; banane : 475,75 m²).

Ces surfaces sont assez importantes par rapport à la taille des parcelles des agriculteurs. C'est pourquoi nous avons réduit ces dimensions selon leurs contraintes spatiales et temporelles, lorsque cela était nécessaire. La taille des parcelles pourra aussi être modifiée selon les contraintes imposées par le facteur testé chez l'agriculteur. Il faut cependant veiller à ne pas trop réduire la taille des parcelles car cela diminuerait le nombre d'observations et donc la qualité des résultats. Le Tableau 19 (p 31) présente la taille des unités expérimentales et de l'ensemble des blocs pour chaque agriculteur.

1. 4. Les scénarios techniques retenus

1. 4. 1. Itinéraire technique

Afin de pouvoir comparer les résultats entre les agriculteurs, les facteurs extérieurs, sources de variations des résultats, doivent être minimisés. C'est pourquoi nous avons choisi de réaliser un itinéraire technique commun que suivront tous les agriculteurs.

Les pratiques les plus communément utilisées par les agriculteurs du groupe constituent la base de cet itinéraire culturel. Un itinéraire « idéal » a été construit à partir d'itinéraires conseillés par le réseau d'innovation et de transfert agricole (RITA) Mayotte, un protocole d'essai du Cirad Mayotte et la Chambre d'Agriculture de Martinique, beaucoup plus avancée sur les techniques culturales à conseiller que les structures mahoraises. Les techniques non pratiquées par les agriculteurs du groupe leur ont été proposées. Les agriculteurs ont choisi les techniques qu'ils souhaitent ajouter à leurs pratiques courantes. L'itinéraire technique retenu pour les essais est présenté en Annexe 13.

1. 4. 2. Facteurs testés

Les facteurs qu'ont choisi de tester les agriculteurs peuvent se regrouper au sein de trois grandes familles : l'irrigation, la fertilisation et l'utilisation de plantes de couverture.

Tableau 19 : Taille des parcelles et de l'ensemble de l'essai pour chaque culture et agriculteur avec une disposition en parcelles alignées (distances en mètres ; UE : unité expérimentale)

Nom de l'agriculteur	Banane		Manioc	
	Taille UE	Taille totale	Taille UE	Taille totale
1, 2, 5, 6, 8, 10	13,75 x 5	13,75 x 35	5,5 x 2	5,5 x 17
12	12,5 x 4,5	12,5 x 32	5,5 x 3	5,5 x 23
3, 9	12,5 x 3	12,5 x 23	5 x 1,5	5 x 14

(Création personnelle)

Tableau 20 : Récupération d'eau de pluie : la quantité d'eau récoltée est-elle suffisante pour combler les besoins des cultures ? Différence entre la quantité d'eau stockée et les besoins en eau des cultures

		Agriculteur 8	Agriculteur 6	Remarques
irrigation de 5 L/pied/jour (banane) et 1,65 L/pied/jour (manioc)	Année 1 (L)	+ 696,25	+ 26 870,8	Excès d'eau récupérée : suffisamment d'eau pour l'essai
	Année > 1 (L)	- 44 303,75		Déficit de plus de 44 000 L d'eau pour l'agriculteur 8 !
irrigation de 2 L/pied/jour (banane) et 0,5 L/pied/jour (manioc)	Année 1 (L)	+ 19 371,25	x	Excès d'eau
	Année > 1 (L)	+ 1 371,25		Excès d'eau

(Création personnelle)

a) Irrigation

Les agriculteurs 6 et 8 veulent tester l'irrigation. L'agriculteur 8 souhaite construire un banga²¹ pour récupérer l'eau du toit qu'il stockera dans des bidons jusqu'à la saison sèche. L'agriculteur 6 prélèvera l'eau de la rivière qui coule à côté de son terrain toute l'année pour irriguer le manioc et récupèrera l'eau de pluie de la même manière que l'agriculteur 8 pour irriguer les bananiers.

Afin de vérifier que les besoins des cultures seront satisfaits par le stockage d'eau de pluie, quelques calculs ont été réalisés : les résultats sont présentés Tableau 20 et les détails des calculs des deux premières lignes en Annexe 14. Les besoins en eau des cultures sont différents selon s'il s'agit de la première année d'irrigation ou non. La première année d'essai, un seul pied de bananier sera implanté et trois pieds seront conservés au cours du cycle pour démarrer la deuxième année avec trois pieds par touffe ce qui multiplie le besoin en eau des touffes par trois.

L'agriculteur 6 est largement excédentaire : il récupère beaucoup plus d'eau qu'il n'en a besoin pour l'essai. Au contraire, l'agriculteur 8 est légèrement excédentaire la première année et très largement déficitaire à partir de la deuxième année. Hors, ces résultats ont été calculés avec une quantité d'eau à apporter par pied qui permet d'obtenir de très bons rendements (5 L d'eau/pied/j pour le bananier et 1,65 L d'eau/pied/j pour le manioc). Nous ne sommes pas dans cet objectif puisque une augmentation des rendements de 50 % constituerait déjà un résultat très positif. De plus, la finalité des essais consiste à trouver des pratiques efficaces qui pourront être utilisées à une plus grande échelle que les parcelles expérimentales. Si les résultats sont favorables, les agriculteurs souhaiteront appliquer l'irrigation sur une surface bien plus importante de leur terrain, ce qui implique de tester des facteurs facilement reproductibles à plus grande échelle.

Au lieu de diminuer la taille des parcelles de l'agriculteur 8, il a donc été décidé d'appliquer une quantité plus faible d'eau et de lui associer un paillage, beaucoup plus facile à mettre en place. Il irriguera donc les bananiers à raison de 2 L/pied/jour et les maniocs avec 0,5 L/pied/jour. Le banga qu'il souhaite construire suffira à alimenter les besoins en eau des cultures selon les estimations (Tableau 21). Un paillage épais sera réalisé avec les feuilles de bananiers coupées et les résidus de désherbage prélevés sur les parcelles. L'agriculteur 6, ayant une forte quantité d'eau à disposition, appliquera la dose initialement prévue sans paillage particulier. Pour faciliter l'arrosage sur le terrain, les quantités d'eau sont simplifiées à 5 L d'eau/pied/j (bananier) et 1,5 L d'eau/pied/j (manioc).

En plus de la quantité d'eau apportée, il est nécessaire de définir à quel moment l'irrigation aura lieu. En saison humide, aucune irrigation ne sera réalisée puisque la quantité d'eau apportée par les pluies est suffisante. En saison sèche, on doit déterminer à partir de quel moment les cultures ne reçoivent pas suffisamment d'eau. Un pluviomètre simplifié, installé chez chaque agriculteur, leur permettra de savoir si la pluie quotidienne est efficace. Si la pluie quotidienne n'est pas efficace, ils irrigueront les cultures, avec la même quantité d'eau que s'il n'avait pas plu. L'irrigation se fera tous les deux jours en cas de besoin : on apporte une journée sur deux le besoin de la culture pour deux jours. Le contrôle aura donc lieu chaque jour où les besoins en eau n'ont pas été satisfaits par une précédente irrigation. Il ne faudra pas oublier de vider le pluviomètre tous les jours. Le seuil à dépasser pour caractériser une pluie d'efficace est fixé à 5 mm/jour pour les bananiers la première année, 15 mm/jour pour les bananiers à partir de la deuxième année et 3,3 mm/jour pour les maniocs. Les dates d'irrigation seront notées par les agriculteurs, pour chaque culture, tout au long de l'année.

Les bananiers répondront sûrement mieux à l'irrigation que les maniocs, du fait de leur plus grande exigence en eau.

b) Fertilisation

Quatre agriculteurs sont intéressés pour tester la fertilisation par apport d'amendements organiques. Les agriculteurs 5 et 10 souhaitent utiliser du fumier de caprins, l'agriculteur 1 du compost de fumier de poulets de chair et l'agriculteur 2 du compost de déchets verts. Le choix des

²¹ Banga : Cabane mahoraise en bois ou en tôle.

Tableau 21 : Quantité de fertilisant à apporter en une année selon les cultures et les agriculteurs

			Agriculteur 10	Agriculteur 5	Agriculteur 1	Agriculteur 2
			fumier de caprins		compost de fumier de poulets de chair	compost de déchets verts
Si besoins en nutriments totalement comblés	Banane (kg/touffe)	Année 1 (1 pied)	1,6	2,5	0,2	2,3
		Année > 1 (3 pieds)	4,8	7,5	0,7	6,9
	Manioc (kg/pied)		5,6	7,8	0,3	5,2
Si besoins en nutriments à moitié comblés	Banane (kg/touffe)	Année 1 (1 pied)	0,8	1,3	x	1,2
		Année > 1 (3 pieds)	2,4	3,8	x	3,5
	Manioc (kg/pied)		2,8	3,9	x	2,6

(Création personnelle)

Tableau 22 : Comparaison de la production de fumier de poulet de chair chez l'agriculteur 1 aux ressources nécessaires pour l'essai

Production de fumier			Capacité actuelle (nombre de poulets)	Temps d'élevage (mois)	Effectif annuel théorique (nombre de poulets)	Quantité de fumier produit par un poulet en 2,5 mois (kg)	Quantité annuelle de fumier produit (kg)
			100	2,5	480	3,75 (Estimation d'après Gérard Gazeau, 2012)	1800
Besoins en fumier	Culture	Nombre de parcelles	Nombre de pieds/parcelle	Nombre de pieds totaux	Besoin en fumier (kg/touffe ou kg/pied)	Quantité annuelle totale à appliquer (kg)	Quantité totale nécessaire (kg)
	Banane (année 1)	3	10	30	0,2	6	Année 1 : 15 Année > 1 : 30
	Banane (année > 1)				0,7	21	
	Manioc				0,3	9	

(Gérard Gazeau, 2012; Communication personnelle)

fertilisants s'est réalisé en privilégiant l'apport de matières riches en éléments nutritifs dont les sols de l'île semblent carencés (P, K, Ca, Mg).

La composition des fertilisants est disponible sur l'Annexe 15. Les trois fertilisants favorisent plutôt bien la production d'humus stable qui pourra être remobilisé à long terme par les cultures. Une importante partie des nutriments des trois amendements agit comme un engrais disponible pour la plante l'année de l'apport. Le pH des produits organiques est neutre à basique ce qui est favorable dans un contexte de sols acides. Le compost de fumier de poulets de chair est l'amendement le plus complet car il est très riche en éléments fertilisants, quels qu'ils soient. Le fumier de caprins a l'avantage d'être riche en potassium mais il est pauvre en phosphore. Le compost de déchets verts est, lui, riche en calcium et magnésium.

Afin de déterminer les quantités de fertilisants à appliquer sur les cultures, nous avons cherché à connaître le besoin des cultures en nutriments (exportations des produits récoltés) dans le but d'y subvenir. Pour réaliser ce calcul, nous nous sommes basés sur l'objectif d'augmenter de 50 % les rendements actuels. Le phosphore est l'élément qui semble empêcher le plus le bon développement des cultures car il constituerait la plus forte carence des sols ferrallitiques et il paraît important pour obtenir de bons rendements puisqu'il stimule l'enracinement du manioc et la floraison du bananier (Lycée agricole de Coconi et al., 2014). Les quantités de produits organiques à apporter ont donc été calculées à partir de cet élément. Les résultats de ce calcul sont présentés sur la Tableau 21 (ligne : « Si besoins en nutriments totalement comblés ») et les détails en Annexe 16. Les besoins en phosphore du manioc sont quatre fois plus importants que ceux du bananier, d'où les plus fortes quantités de fertilisant à y apporter. A partir de la deuxième année d'essai, les touffes de bananiers sont formées de trois pieds ce qui triple le besoin en nutriments des touffes. Du fait de la pauvreté du fumier de caprin et du compost de déchets verts en phosphore, les quantités de fertilisant à apporter sont très importantes. Hors, il est difficile de quantifier les ressources disponibles en déjections animales pour trois des quatre agriculteurs concernés car ils ne disposent pas d'un atelier d'élevage. Seul l'agriculteur 1 élève des animaux qui produiront le fertilisant de ses cultures et aura suffisamment de déjections de poules pour satisfaire le besoin des essais selon les estimations réalisées (Tableau 22). Les deux autres agriculteurs qui utilisent des déjections animales comme fertilisant se fourniront chez des éleveurs du village qui semblent prêts à fournir une grosse quantité de fumier ou en ramassant les excréments directement au sol. Comme les quantités disponibles sont incertaines, il vaut mieux diminuer la quantité de fertilisant de moitié afin d'être sûr que les agriculteurs aient suffisamment de ressources pour fertiliser les cultures de l'essai. Les quantités de compost de déchets verts à appliquer étant également très élevées, on agit de même pour celles-ci. Ces valeurs sont simplifiées pour faciliter l'application de fertilisant par les agriculteurs (Tableau 21, ligne : « Si besoins en nutriments à moitié comblés »). Au champ, les agriculteurs peuvent utiliser des boîtes de conserve pour doser la quantité à appliquer, sachant qu'une boîte de sardine standard équivaut à 120 g de fertilisant (Lycée agricole de Coconi et al., 2014). Les agriculteurs 2,5 et 10 pourront se créer un contenant personnalisé adapté à partir de cette référence car la quantité à appliquer est bien supérieure à 120 g. Le rendement des essais où les quantités ont été divisées par deux, devrait être moins bon que ceux de l'agriculteur 1 qui utilise les déjections de poulet de chair, riches en phosphore mais aussi en autres éléments. Cependant, les autres agriculteurs apporteront en excès d'autres nutriments puisque les fertilisants sont pauvres en phosphore. Si la croissance des végétaux n'est pas limitée par le phosphore, on s'attend à observer des rendements meilleurs chez ces trois agriculteurs. Les sols étant carencés et non fertilisés depuis des dizaines d'années, il ne semble pas problématique d'apporter une telle quantité de potassium, calcium et magnésium, qui pourra rendre au sol la fertilité perdue au cours des dernières années. Cependant, si ces doses étaient apportées à long terme sur de vastes surfaces, l'excès d'azote pourrait entraîner une pollution des eaux par lixiviation des nitrates. Les quantités appliquées évolueront après la première année d'essai selon les résultats obtenus.

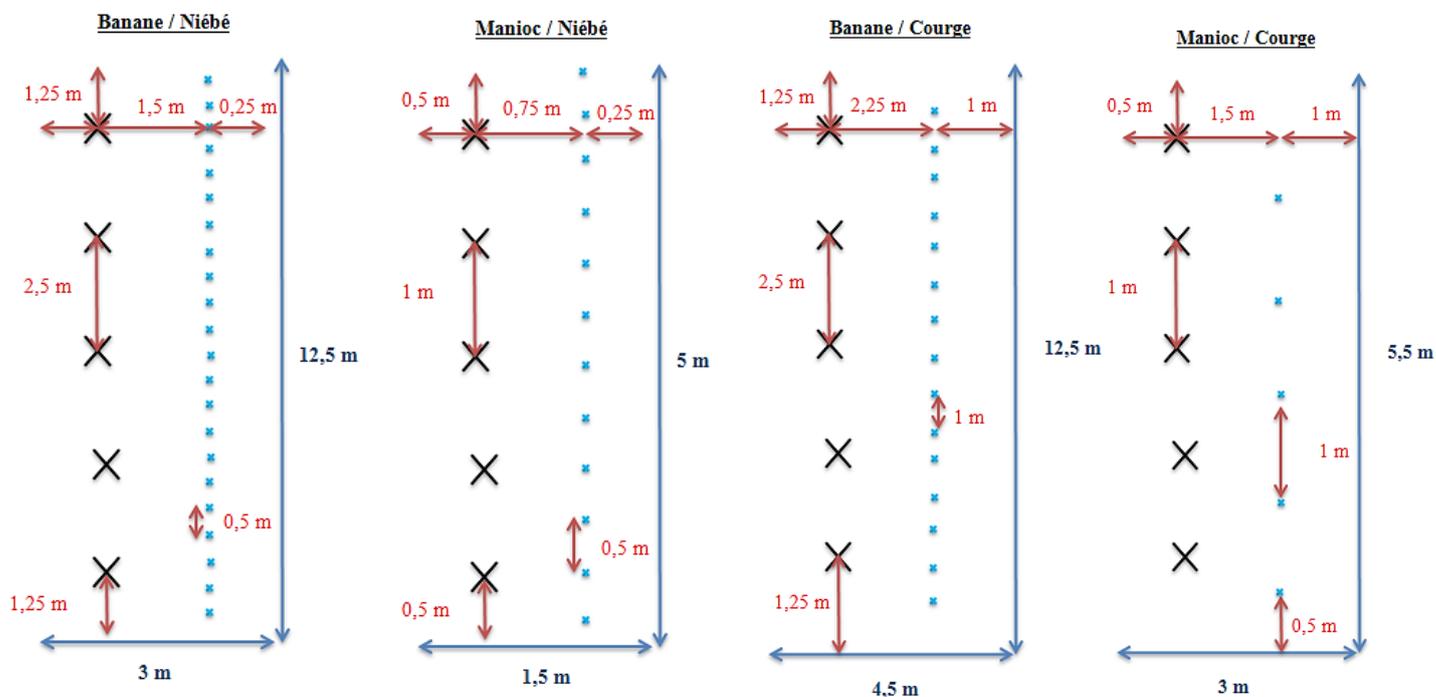
La moitié de la dose de fertilisant sera chaque année mélangée à la terre lors de l'implantation des cultures (octobre-novembre), comme cela est conseillé dans le guide de la fertilisation de la Réunion (Chabalière et al., 2006). L'autre moitié sera apportée au milieu du cycle pour étaler

Tableau 23 : Principales caractéristiques des plantes de couverture

	Niébé (Ankoudry)	Courge (Antsirebiki)
Botanique		
Famille	Fabacées	Cucurbitacées
Nom scientifique	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Cucurbita sp</i>
Variété	Variétés cycle court (3 mois) et cycle long (6 mois)	Variété locale ronde et lisse
Type de plante	Rampante annuelle	Rampante annuelle
Technique de multiplication	Semences	Semences
Durée du cycle (mois)	3 ou 6	4
Conditions optimales de culture		
pH optimal	5,5 à 6,5	5,5 à 6,8
Températures optimales de l'air (°C)	25 à 35	18 à 27
Adaptation à Mayotte	Très bien adapté.	Bien adapté toute l'année mais plus facile à cultiver en plein champ en saison des pluies.
Densité de plantation	Interligne : 0,5 à 1 m Interplant : 0,1 à 0,5 m 2 à 3 graines/poquet	Interligne : 2 à 2,5 m Interplant : 0,6 à 2,5 m

(Vanhuffel, s.d.; Communication personnelle)

Figure 29 : Plan des parcelles expérimentales cultivés en association (croix noires : culture principale (banane ou manioc); croix bleues : culture secondaire (niébé ou courge) ; les parcelles n'ont pas été représentées à la même échelle afin de conserver la lisibilité de la figure



(Création personnelle)

l'apport au cours du développement des cultures. Ce second apport favorisera la tubérisation pour le manioc et la floraison et la fructification pour les bananiers (Chambre d'agriculture Martinique, 2007a; Lycée agricole de Coconi et al., 2014). Si la première année, le fertilisant n'est pas prêt à être utilisé dès le bouturage des plants, le premier apport aura lieu dès que possible et le second entre la date du premier apport et la récolte. Des conseils de préparation et de stockage des fertilisants seront distribués et expliqués aux agriculteurs concernés (Annexe 17). De la même manière que pour l'irrigation, les agriculteurs enregistreront les quantités et dates de fertilisation. Le manioc étant moins exigeant en éléments nutritifs que les bananiers, il est attendu d'obtenir une réponse à la fertilisation moindre pour les maniocs.

L'objectif de la fertilisation est d'enrichir les sols en éléments nutritifs. Il existe une autre technique, entre autres, qui permet d'enrichir le sol en MO qui se décomposera pour constituer des éléments minéraux utiles aux cultures : l'utilisation de plantes de couverture.

c) Plantes de couverture

Trois agriculteurs souhaitent utiliser des plantes de couverture, en association avec les cultures principales. L'objectif n'est pas seulement d'enrichir le sol en MO, il est multiple. Il s'agit de protéger le sol de l'agressivité des pluies en saison humide, de le protéger de l'évaporation de l'eau en saison sèche, de maintenir le sol par la présence de racines et de diversifier la production.

Les agriculteurs 3 et 9 souhaitent cultiver le niébé, une légumineuse bien adaptée localement et qui apportera de l'azote au sol, ce qui lui confère un avantage supplémentaire. L'agriculteur 12 préfère cultiver des courges. Les grandes caractéristiques de ces cultures sont présentées sur le Tableau 23. Les conditions de culture chez les trois agriculteurs sont proches des conditions optimales. Seul l'agriculteur 3 cultive sur un sol légèrement trop acide pour le niébé (5-5,3).

Les plantes de couvertures seront semées en ligne, en alternance avec la culture principale, en suivant les recommandations de densité de semis et à la même date que les maniocs et les bananiers. Le niébé est planté avec une densité de 0,5 x 0,5 et la courge avec une densité de 2 x 1. De manière idéale, pour conserver dix pieds de manioc ou de bananiers par unité expérimentale, il aurait fallu augmenter la taille des parcelles. Cependant, les agriculteurs concernés par cet essai sont contraints de conserver une taille de parcelle du même ordre de grandeur que la parcelle « idéale » précédemment décrite. Les plans des parcelles cultivées en association sont présentés sur la Figure 29. Cinq pieds de bananiers et de maniocs sont cultivés par parcelle au lieu de dix la première année.

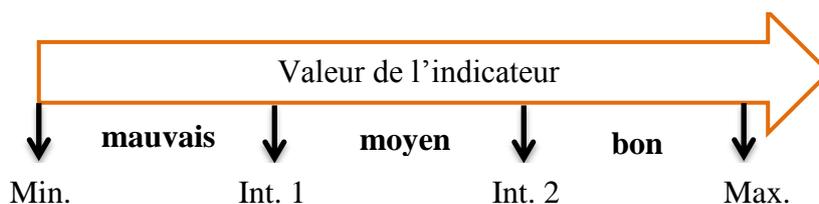
L'agriculteur 12 cultivera la courge sur deux cycles : un cycle d'octobre à février et un autre de février à juin. Cet agriculteur utilise une variété de manioc de six mois : le manioc sera couvert tout le long de son cycle et la banane seulement les deux tiers de l'année. Afin de couvrir le plus longtemps possible le sol chez les agriculteurs 3 et 9 qui cultiveront des maniocs de 12 mois, il a été décidé d'implanter un niébé cycle court (trois mois d'octobre à janvier) suivi d'un niébé cycle long (six mois de janvier à juillet). Les cultures seront cultivées en associations durant neuf mois de l'année. L'ordre choisi pour les variétés de niébé est importante : si la première variété cultivée avait un cycle long, la deuxième variété ne pourrait pas lever.

Il n'est pas possible de réaliser un troisième cycle car le manque d'eau en saison sèche et la taille des cultures principales empêcheraient la levée des plantes de couverture. Lors du second cycle de culture associée, les trois agriculteurs sèmeront sur le paillage de la culture précédente. Les résidus de la seconde récolte serviront également de paillage pour empêcher l'évaporation de l'eau du sol en saison sèche.

Afin de mesurer l'impact des techniques testées sur la fertilité et l'érosion des sols, des indicateurs doivent être choisis pour suivre ces deux paramètres. Les valeurs des indicateurs seront ensuite analysées statistiquement pour savoir quelles techniques agissent sur la fertilité et l'érosion et dans quelle mesure.

Tableau 24 : Natures, références et dates de prises d'informations des indicateurs de fertilité et d'érosion (min. : minimum ; max. : maximum ; int. : intermédiaire ; nd : non déterminé)

Aide de lecture du tableau



Nom et unité de l'indicateur	Date de prise d'information	Références				
		Min.	Int. 1	Int. 2	Max.	
Indicateurs de fertilité des sols (banane)						
Diamètre du pseudo-tronc à 50 cm au-dessus du sol (cm)	Tous les deux mois (après émergence du rejet)	nd	nd	nd	nd	
Précocité / durée du cycle (mois)	Date d'émergence du rejet et date de récolte	12	11	10	9	
Nombre de rejets / tige / an	Toute l'année	3	4	6	7	
Nombre de régimes récoltés / touffe / an (à partir de la 2 ^e année)	Récolte	0	1	2	3	
Poids d'un régime (kg)	Récolte	3	12	20	40	
Nombre de mains / régime	Récolte	2	6	12	16	
Nombre de doigts / main (utiliser une main par régime, de taille moyenne)	Récolte	2	6	10	15	
Indicateurs de fertilité des sols (manioc)						
Diamètre de la tige à 20 cm au-dessus du sol (cm)	Tous les deux mois (après plantation)	nd	nd	nd	nd	
Précocité / durée du cycle (mois)	Date de plantation et date de récolte	Variété 6 mois	12	9	6	5
		Variété 12 mois	36	16	12	11
Nombre de ramifications / pied	Récolte	1	2	4	6	
Nombre de racines tubéreuses / pied	Récolte	0	4	7	10	
Longueur d'une racine tubéreuse (cm) (utiliser une racine par pied, de taille moyenne)	Récolte	10	15	20	50	
Poids d'une racine tubéreuse (kg) (utiliser une racine par pied, de taille moyenne)	Récolte	0,5	1	3	4	
Indicateur d'érosion des sols						
Epaisseur de terre perdue (mm/an) Source : Bozza et al., 2008	Mi-octobre (une fois par an)	20	8	1	0	

(Bozza et al., 2008; Communications personnelles)

2. Analyse d'expérience : suivi de l'évolution de la fertilité et de l'érosion des sols

2.1. Les indicateurs utilisés : nature et références

Le choix des indicateurs de fertilité et d'érosion qui seront suivis pendant les essais a été réalisé avec les agriculteurs concernés. Une première liste d'indicateurs a été proposée puis certains ont été écartés pour différentes raisons : indicateurs sans lien avec la problématique (ex : goût des bananes), difficulté de mesure sur le terrain (ex : taille du pseudo-tronc du bananier qui peut atteindre 7 m de haut) ou indicateurs facilement calculables à partir des autres (ex : le poids d'une main de bananier peut se calculer à partir du poids du régime et du nombre de mains par régime). Tous les indicateurs retenus sont quantitatifs. La plupart d'entre eux se mesurent une seule fois, à la récolte, quand d'autres seront mesurés plusieurs fois au cours du développement des cultures. L'intervalle de temps entre deux mesures a alors pris en compte les contraintes de chacun pour que tous les agriculteurs puissent mesurer les mêmes indicateurs aux mêmes dates afin de pouvoir comparer les résultats entre eux par la suite. Les observations et mesures seront réalisées pour chaque pied afin d'avoir un nombre d'individus important pour l'analyse statistique. Par exemple, pour l'indicateur « poids d'un régime », dix valeurs seront enregistrées s'il y a dix pieds de bananiers sur la parcelle expérimentale. Il ne faut pas enregistrer la moyenne du poids des régimes de toute la parcelle.

Les références des indicateurs, qui permettront de placer les résultats des analyses sur une échelle de satisfaction avec différents niveaux (mauvais, moyen, bon), ont aussi été réfléchies avec les participants au projet. La nature des indicateurs et leurs références sont disponibles sur le Tableau 24. Ce sont les valeurs de référence intermédiaires qui sont les plus importantes puisqu'elles définissent les limites de niveaux. Les valeurs maximum et minimum sont indiquées pour donner un ordre de grandeur de la variation possible d'un indicateur. Il y a peu de chances qu'elles soient dépassées.

Finalement la fertilité des sols se mesure selon plusieurs composantes du rendement. Nous n'avons pas pu préciser les références de l'indicateur « diamètre de la tige » : ces références seront ajoutées en cours d'année en mesurant ce paramètre sur le terrain.

Un seul indicateur de l'érosion des sols a été proposé car il serait très difficile de mettre en place en milieu paysan les autres indicateurs qui existent (ex : méthode de Wischmeier, simulateur de pluie, indice de risque érosif) (Soquet, 2003; communication personnelle). Cet indicateur sera mesuré grâce à des piquets d'érosion (barres de construction en métal) placés sur les parcelles de l'essai. Chaque année, le niveau de la surface du sol sera marqué à la peinture ou au stylo indélébile sur le piquet : on pourra en déduire l'épaisseur de sol qui a été perdue en un an. A défaut d'installer 10 piquets par parcelle (pour obtenir 10 mesures) ce qui risque de coûter cher, deux piquets seront placés sur chaque parcelle, un sur la ligne et l'autre en interligne, sur deux cotés différents de la parcelle (Figure 30, p 35).

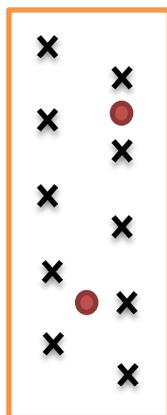
L'objectif des essais est de comprendre quels facteurs améliorent la fertilité et diminuent l'érosion des sols et dans quelle mesure. Grâce aux données recueillies, d'autres analyses pourraient être réalisées pour comprendre comment ses différentes composantes sont liées. La variété des indicateurs choisis permettra d'analyser la corrélation entre eux. En effet, il se peut qu'une valeur forte pour un indicateur soit corrélée à une valeur faible pour un autre (ex : plus le nombre de rejets par pied est important, moins le régime récolté est lourd).

L'animateur du GVA se chargera, avec tous les agriculteurs concernés, de suivre la bonne application du protocole de l'essai et de réunir les observations et mesures obtenues. Il sera aussi responsable de l'analyse des résultats, qui a été préparée pour l'aider dans cette démarche.

2.2. Analyse des résultats

L'analyse des résultats sera exécutée avec le programme R car cet outil est simple, rapide, gratuit et je maîtrise son utilisation. L'animateur du GVA sera formé à son utilisation afin d'être autonome par la suite. Dans un premier chapitre, on explique comment comparer pour chaque agriculteur les résultats obtenus. Dans un second chapitre, on compare les résultats des agriculteurs entre eux.

Figure 30 : Localisation des piquets d'érosion sur une parcelle expérimentale (croix : pied de manioc ou de bananier ; rond rouge : piquet d'érosion)



(Création personnelle)

Tableau 25 : Tableau type de résultats à utiliser avec R (diam_ban : diamètre du pseudo-tronc du bananier ; poids_reg_ban : poids d'un régime de banane ; une lettre représente la valeur d'une mesure ou observation ; il y a autant de lignes que de mesures ; il y a autant de colonnes que d'indicateurs)

traitement	1 ^{er} indicateur (ex : diam_ban)	2 ^e indicateur (ex : poids_reg_ban)	...
temoin	a	g	...
temoin	b	h	...
temoin	c	i	...
...
test	d	j	...
test	e	k	...
test	f	l	...
...

(Création personnelle)

2. 2. 1. Le facteur testé a-t-il une incidence sur la fertilité et l'érosion des sols ? Comparaison des résultats entre les parcelles témoins et les parcelles tests

Pour chaque agriculteur, les résultats bruts seront réunis sous forme de tableau type (Tableau 25), avant de pouvoir l'utiliser sur R. Toutes les mesures des parcelles témoin (pour les trois répétitions) sont notées sous le traitement « témoin », les mesures des parcelles test (pour les trois répétitions) sous le traitement « test ». Chaque agriculteur aura alors deux tableaux par année : un pour chaque culture. On nomme ainsi par exemple un tableau : « agr1 ». C'est un fichier de type « .csv » avec séparateur « ; » (obtenu avec Excel). Le séparateur de décimale est la « , ».

Pour analyser les résultats, on peut utiliser deux méthodes différentes :

- Comparaison de moyennes deux à deux : test de Student ou test d'Aspin-Welch ;
- Comparaison de toutes les moyennes: analyse de la variance (Anova) 1 facteur.

Un script modèle et une aide à son interprétation sont présentés en Annexe 18. On analyse dans cet exemple le premier indicateur de fertilité du bananier (diamètre de la tige). Ce script doit être exécuté de la même manière pour tous les indicateurs.

Nous obtenons un graphique de synthèse de ce type (Figure 31, p 36) qui fait apparaître les moyennes et écarts types des valeurs obtenues pour un indicateur en fonction du traitement, les différences significatives entre traitements (des lettres différentes correspondent à des résultats significativement différents) et les valeurs de référence de l'indicateur pour situer les résultats. Ce travail peut être réalisé avec tous les indicateurs qui ont été choisis pour évaluer la fertilité et l'érosion.

Si on observe une amélioration des résultats sur les parcelles tests, il est intéressant de connaître quelle technique a l'effet le plus important entre tous les agriculteurs.

2. 2. 2. Quel facteur testé donne les meilleurs résultats ? Comparaison des résultats entre les agriculteurs

L'analyse statistique qui permettra de classer les différents facteurs testés afin de déterminer ceux qui induisent de meilleurs résultats sur la fertilité et l'érosion est tout à fait identique à l'analyse décrite dans le chapitre précédent. Il faut cependant adapter le tableau type de données et le script utilisé sur R à une comparaison de plus de deux traitements (témoin et un facteur testé auparavant). Tous les résultats des agriculteurs pourront être réunis sur le tableau type déjà présenté en y ajoutant des traitements (ex : témoin, compost, fumier de caprin, fumier de poulet de chair, ...). Le traitement témoin réunit les résultats des parcelles témoins de tous les agriculteurs.

Un exemple de script, qui compare les résultats de quatre traitements (un témoin et trois facteurs testés par les agriculteurs) sur le diamètre des pseudo-troncs de bananier, est disponible en Annexe 19. Ce script n'est pas annoté car ce sont les mêmes commentaires que le script décrit plus tôt (Annexe 18). L'analyse des résultats peut se faire en comparant les moyennes deux à deux ou en réalisant une Anova sur x facteurs, x correspondant au nombre de traitements comparés.

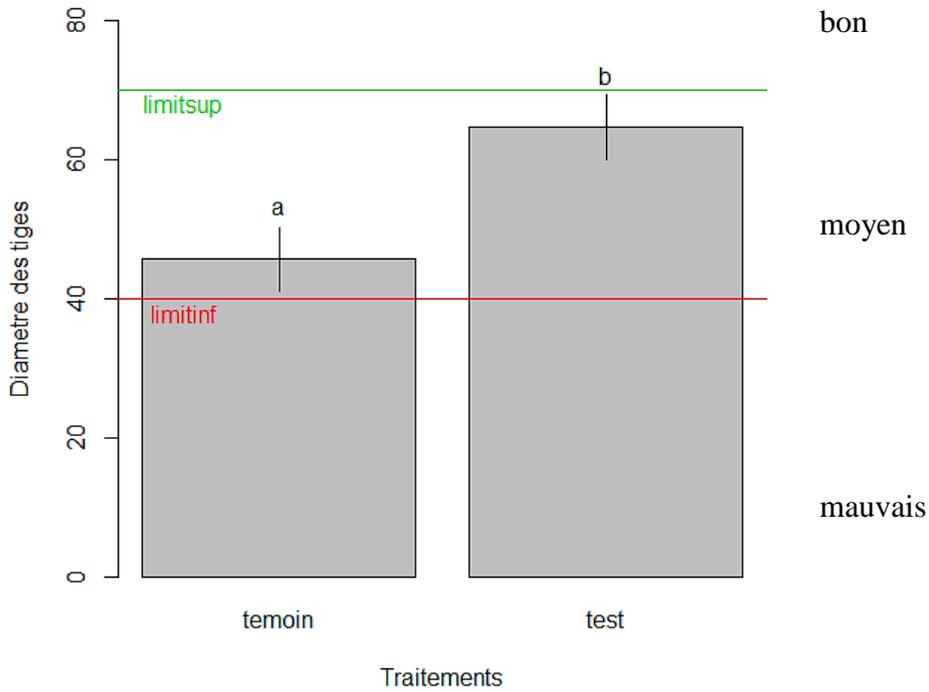
On obtient un graphique de synthèse du même type que le précédent, avec cette fois-ci, plus de traitements comparés entre eux (Figure 32, p 36).

2. 2. 3. Durée des essais et évolution au cours du temps

Afin de comprendre l'évolution de la fertilité et de l'érosion à moyen terme, en réponse aux facteurs testés, les essais se poursuivront au minimum pendant cinq années de suite, en cultivant les mêmes cultures.

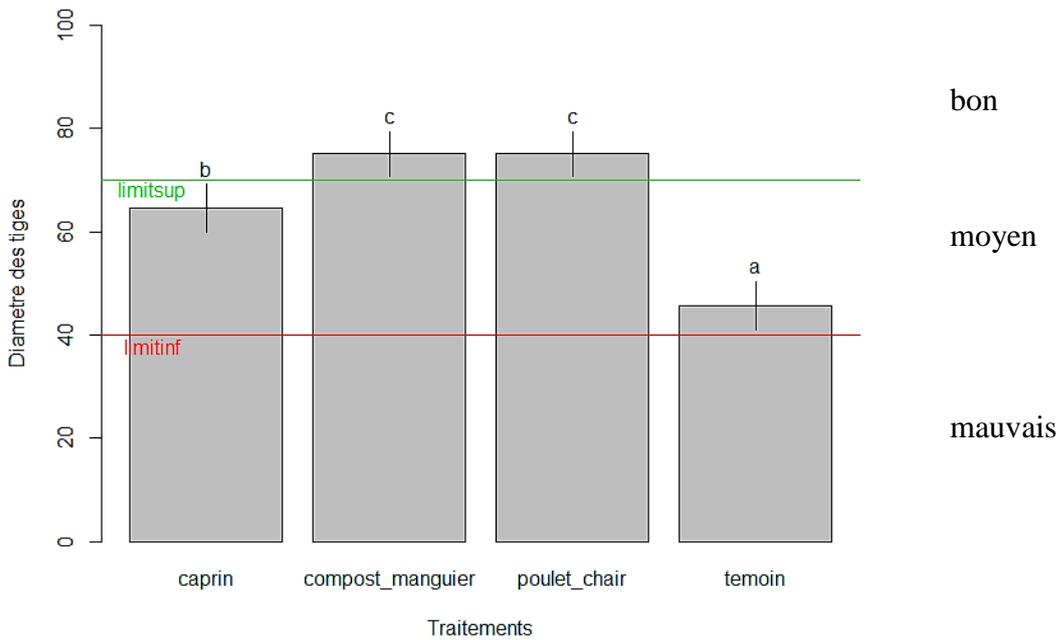
Dans le cadre de cette recherche-action participative, nous ne pouvons pas nous engager à la réalisation du même protocole d'essai pendant cinq ans car les décisions des agriculteurs changent rapidement et l'accès aux matériel nécessaire (ex : fumier de caprin) est incertain. Le protocole et les facteurs testés ne sont donc pas fixés pour les cinq ans à venir : ils seront ajustés au fur et à mesure, chaque année, selon les résultats obtenus et les contraintes des agriculteurs. Par exemple, si les rendements obtenus ne sont pas satisfaisants après fertilisation, on pourra changer la dose, la nature du fertilisant utilisé ou bien encore les dates d'application.

Figure 31 : Graphique de synthèse type obtenu sur R (les valeurs utilisées sont fictives) : comparaison des résultats pour un agriculteur



(Création personnelle d'après une simulation d'analyse de résultats sur R)

Figure 32 : Graphique de synthèse type obtenu sur R (les valeurs et traitements utilisés sont fictifs) : comparaison des résultats entre les agriculteurs



(Création personnelle d'après une simulation d'analyse de résultats sur R)

D. Valorisation des résultats et perspectives

1. Valorisation des résultats du stage

Le résultat du travail effectué sera rapidement valorisé puisque neuf agriculteurs vont mettre en place dès octobre 2016 les essais prévus sur leurs sites de production, avec l'aide de l'animateur du GVA qui vérifiera la bonne application des protocoles prévus. Un polycopié personnalisé expliquant les détails du protocole et des plans d'expérience à suivre sera distribué à chaque agriculteur pour les aider à mettre en place correctement tout le déroulement de l'essai.

Des visites entre les agriculteurs du GVA sur les sites d'essai pendant les expérimentations seraient bénéfiques pour l'appropriation de nouvelles pratiques par les autres agriculteurs. La vision concrète sur le terrain des essais et des résultats obtenus impactent beaucoup plus les agriculteurs que des conseils théoriques. Cela est d'autant plus valable si ce sont des agriculteurs mahorais qui sont à l'origine du transfert de connaissances et non des agents de développement métropolitains. L'ensemble des solutions trouvées aux diverses problématiques constitue aussi une base de travail pour les agriculteurs. Ils peuvent tester de leur propre côté les techniques abordées à plus petite échelle et de manière moins méthodique.

De plus, le projet de rédaction d'un article de vulgarisation dans un journal local m'a été proposé. Cela permettrait de communiquer au public mahorais les problématiques qui touchent les agriculteurs de l'île, de présenter des techniques pour les résoudre et de présenter le travail qui a été fait avec eux ces derniers mois. Cette action a notamment un intérêt pour la sensibilisation de la population aux problèmes d'érosion qui ne touche pas seulement les agriculteurs. Cette sensibilisation pourra également avoir lieu lors de visites des parcelles d'essai au public, avec le partenariat des Naturalistes, une association qui concourt à la découverte du patrimoine et de l'environnement de l'île.

Une production encore non définie (article, galerie de photos,...) devrait être publiée sur le site d'anciens étudiants de VetAgro Sup « Devenir Paysan En Voyageant » afin de communiquer sur le travail réalisé à Mayotte et informer les étudiants des missions réalisées en stage de fin d'études.

2. Valorisation des résultats des expérimentations

Par la suite, lorsque les résultats des essais seront récoltés et analysés, le travail des agriculteurs permettra de mieux comprendre quelles pratiques fonctionnent le mieux pour maintenir la fertilité du sol et limiter l'érosion. Ces résultats pourront être présentés lors d'une réunion avec tous les adhérents de l'association pour donner les clés de réussite aux agriculteurs. Nous espérons que les pratiques favorables se partageront peu à peu au sein du territoire et amélioreront ainsi la production des agriculteurs et leur qualité de vie. Si la production augmente suffisamment d'ici quelques années, l'approvisionnement du marché du village sera meilleur et le GVA pourra ainsi développer davantage d'activités avec ses adhérents grâce aux revenus dégagés de la vente des produits. A plus long terme, si la qualité de vie des agriculteurs s'améliore, l'activité agricole deviendra plus attractive pour les jeunes et favorisera leur installation. A une échelle plus large, les résultats obtenus avec le GVA d'Acoua pourrait être divulgué aux autres GVA : un partenariat de tous les GVA de l'île est envisageable pour accélérer le développement agricole à Mayotte.

Les résultats des essais seront partagés avec les autres structures qui étudient sur les thématiques d'érosion et de fertilité sur l'île, notamment les équipes du Cirad qui travaillent sur deux projets actuellement. D'une part, le *work package* (WP) 2 du projet Bioferm du RITA à Mayotte s'intéresse particulièrement à la fertilisation organique et aux plantes de services, notamment en matière de maintien de la fertilité des sols (Cirad Mayotte, 2015). D'autre part, le projet de lutte contre l'érosion des sols et l'envasement du lagon à Mayotte (Leselam) vise à quantifier l'érosion des sols sur les bassins versants de la commune de Brandaboua et de Mtzamboro (nord-ouest de l'île) afin de proposer des mesures de remédiation en milieu agricole, urbain et naturel (Anon., 2015b). Les résultats des essais testant différents fertilisants et plantes de couverture pourront intéresser les équipes des deux projets.

3. Perspectives

La mission au GVA d'Acoua peut apporter énormément de bénéfices aux agriculteurs du nord de l'île. Mais les essais seront-ils correctement menés, sans l'appui de scientifiques sur le terrain, sachant que l'animateur du GVA a déjà beaucoup de travail à gérer au quotidien ? L'analyse des résultats sera-t-elle pertinente ? Les essais se poursuivront-ils suffisamment longtemps pour obtenir des résultats intéressants à moyen terme ? Les résultats des essais seront-ils utilisés par la suite par les agriculteurs et institutions agricoles de l'île ?

Ce travail s'intègre plus largement dans la mise en place de solutions pour une gestion durable des sols à Mayotte. Les problématiques de fertilité des sols et d'érosion des sols ne sont pas nouvelles et de nombreux travaux ont déjà été réalisés. Des projets de grande ampleur commencent à prendre forme pour traiter ces thématiques à plus grande échelle et de manière collaborative entre les principales institutions de développement agricole. Cependant, il manque énormément de données basiques (ex : rendements moyens des cultures sur l'île) et de fortes contraintes ralentissent le travail des agents de recherche et de développement (ex : grande difficulté pour les agriculteurs d'obtenir un titre de propriété des parcelles). Les institutions agricoles mahoraises travailleront-elles de manière plus coordonnée et développeront-elles des solutions aux obstacles rencontrés par les agriculteurs afin d'accélérer les procédures qui freinent le développement des petites fermes mahoraises ?

La dernière étape de la démarche consiste à faire le bilan de la mission qui m'a été confiée et ainsi évaluer les limites de ce travail et la qualité du projet mené.

Partie 4 : Evaluation et limites

A. Evaluation du travail réalisé

L'engagement de neuf agriculteurs du groupe à réaliser des essais expérimentaux sur leurs parcelles est plutôt positif, sachant qu'une seule personne a refusé cette proposition et que trois autres étaient absents à cette période du stage. Afin d'évaluer la qualité du travail effectué pendant le stage, deux autres facteurs ont été analysés : l'investissement des agriculteurs dans le projet, selon leur présence aux réunions et leur avis personnel sur la totalité du projet entrepris avec eux.

1. Investissement des agriculteurs pendant le projet

L'intérêt des agriculteurs pour le projet s'est mesuré en fonction de leur présence aux réunions et visites sur le terrain : la fiche de présence est disponible en Annexe 20. En moyenne, 6,3 personnes sont présentes par réunion ce qui représente moins de la moitié des agriculteurs du projet. La participation a été faible : aucune réunion ne s'est déroulée sans absentéisme. Le pèlerinage d'un mois à La Mecque a fait particulièrement diminuer le nombre d'agriculteurs présents de mi-août à mi-septembre. Cependant, certaines personnes motivées ont été présentes à la majorité des réunions (agriculteurs 3, 5, 6, 8). En plus de l'absentéisme, les retards, parfois de plusieurs heures, ont beaucoup dérangé l'avancement du travail.

Nous avons essayé de comprendre pourquoi les personnes absentes n'avaient pas envie d'assister aux réunions et de trouver une solution à ce problème. Les causes de l'absentéisme et des retards sont multiples : évènements religieux, période du ramadan, mariages, activité professionnelle autre, oubli des rendez-vous fixés, pas de réelle motivation pour le sujet ... Aucun moyen n'a été trouvé pour limiter les absences. D'après les agriculteurs et l'animateur du GVA, préparer des repas ou indemniser les participants auraient pu favoriser leur présence. Se réunir dans ces conditions n'a pas été envisagé, afin d'éviter de travailler avec des agriculteurs qui viendraient pour un intérêt autre et qui ne seraient pas réellement motivés par le projet. La démarche entreprise devait être basée sur le volontariat si nous souhaitions avoir une chance d'obtenir des résultats pérennes.

2. Questionnaire d'évaluation : bilan des agriculteurs

A l'issue du stage, une enquête a été réalisée pour recueillir l'avis des agriculteurs sur le travail effectué et pour mieux évaluer la mission. Huit des treize agriculteurs engagés dans la démarche y ont répondu (Annexe 21). Les réponses des agriculteurs ont permis de mieux comprendre ce qu'il

leur a plu ou déplu dans le projet, s'ils sont satisfaits du travail réalisé, à quelles difficultés ils se sont confrontés ou encore comment améliorer les points négatifs rencontrés.

Tous les agriculteurs sont satisfaits de cette expérience au niveau personnel et cinq agriculteurs le sont au niveau collectif. Ils ont beaucoup apprécié avoir appris de nouvelles techniques culturales mais aussi le fait que cette apprentissage ait été le fruit d'un échange collectif. Les absences et les retards aux réunions, qui perturbent le travail de groupe, ont été cités. D'après eux, le nombre de réunions est globalement suffisant mais ils ont éprouvé des difficultés à y assister car le rythme était assez soutenu (jusqu'à trois réunions par semaine). Les agriculteurs ne pouvaient pas toujours libérer leur emploi du temps pour y assister, bien que l'envie soit présente et que les jours et heures de réunions aient été choisis pour convenir à la majorité d'entre eux. Les documents distribués et les vidéos projetées ont été appréciés car ils permettent de garder une trace écrite du travail et de se souvenir des techniques abordées qu'ils pourront mettre en place dans leurs fermes. Les agriculteurs ont particulièrement aimé les visites, car elles ont permis de sortir du cadre assez théorique des réunions et de voir des pratiques innovantes mises en place à côté de chez eux. La majorité des agriculteurs ont aimé être acteurs et participer au débat et à la recherche de solutions. Cependant, il a été plus difficile de participer pour les personnes non francophones car ils ne comprennent pas toujours la discussion, malgré la traduction de l'animateur du GVA. Certains dialogues rapides n'ont pas été traduits et un peu plus de discipline dans la conversation aurait permis d'avoir plus de temps pour traduire les échanges. Les agriculteurs ont tout de même beaucoup apprécié le travail de groupe et l'apprentissage de nouvelles techniques qu'ils peuvent mettre en place facilement pour améliorer leur production. Tous les agriculteurs ont déjà utilisés certaines techniques dont nous avons parlé. Cinq agriculteurs souhaitent mettre en œuvre de nouvelles techniques mais ils ne savent pas toujours lesquelles. Deux agriculteurs ne pensent pas pour le moment en faire leurs pratiques. Les points négatifs abordés reprennent les éléments déjà cités : la langue, le retard et les absences aux réunions. Les agriculteurs ont proposé peu de solutions pour éviter ces problèmes. Une personne aurait souhaité déplacer les réunions à d'autres jours de la semaine mais cela aurait empêché d'autres agriculteurs de venir. Un agriculteur regrette que le stage se termine avant la mise en place concrète des essais. Il aimerait continuer le travail sur un temps plus long mais le GVA ne peut pas embaucher pour le moment. Tous les agriculteurs envisagent de travailler de nouveau de manière collective sur d'autres thématiques comme le vol ou l'accès au foncier agricole.

Enfin, la mission a plutôt été une réussite puisque globalement tous les participants sont satisfaits du travail que nous avons réalisé ensemble et aimeraient réitérer cette expérience. Pour mieux réaliser ce travail, il aurait fallu réussir à gérer le fort absentéisme et le problème de ponctualité, tous deux récurrents. D'autres contraintes ont aussi limité les résultats obtenus.

B. Les limites de l'étude

1. Limites méthodologiques

Les différentes méthodes pour caractériser le contexte des fermes de référence (sondages tarière, mesure de pH, analyse des textures, relevés de pente) auraient pu être mieux réalisées si le matériel et le temps avaient été plus importants. Les résultats qui en découlent sont assez approximatifs.

La méthode de conception utilisée, principalement inspirée de la méthode Gerdal, présente certaines limites. Tout d'abord, la méthode se base sur la retranscription fidèle des discours émis par les agriculteurs ce qui est difficile à réaliser lorsque les interlocuteurs ne parlent pas la même langue avec la traduction intermédiaire. Des problèmes évoqués ou certaines nuances n'ont donc pas dus être relevés lors des entretiens individuels. La barrière de la langue a aussi limité certains agriculteurs lors des réunions, soit parce qu'ils ne comprenaient pas, soit parce qu'ils n'osaient pas s'exprimer. La méthode utilisée est participative et implique donc une certaine prise de responsabilité des participants. Le manque de sérieux de ceux-ci a fortement ralenti l'avancée du projet. De plus, le parti a été pris de tester des techniques proposées par les agriculteurs. On se limite donc à certaines solutions, non exhaustives. Un conseiller agricole aurait pu, au contraire, proposer des solutions non connues par les agriculteurs mais qui auraient risqué de ne pas être

acceptées et appliquées sur le terrain. D'autre part, les essais étant réalisés en milieu paysan, il n'est pas possible d'avoir une démarche uniquement technique : il a fallu prendre en compte les contraintes des agriculteurs dans la conception et prévoir les protocoles selon leurs pratiques et les ressources matérielles disponibles. Si ces essais avaient été effectués par des scientifiques, en station expérimentale, les conditions auraient été meilleures et les parcelles réparties sur un milieu plus homogène.

2. Limites économiques et temporelles

D'une part, les contraintes économiques de l'association et des agriculteurs ont joué dans le déroulement du stage et les résultats de ce travail. En premier lieu, le GVA n'avait presque pas de budget à allouer à ma mission. Des analyses de sol auraient été bénéfiques pour mieux comprendre l'environnement pédologique des agriculteurs. Mais le manque de financements des analyses m'a contraint à abandonner cette idée : seules les analyses de sol à la tarière ont pu être réalisées. En second lieu, les contraintes économiques des agriculteurs ne permettaient pas d'envisager la mise en place de techniques qui impliquent des coûts importants tels que l'aménagement d'un terrain en terrasses ou la construction de retenues collinaires pour conserver l'eau de la saison des pluies. Cependant, un dossier de demande de financements est en cours pour obtenir des subventions européennes dans le but de construire des retenues d'eau sur les parcelles des agriculteurs.

D'autre part, la mise en place des essais devant se réaliser à l'issue du stage, dès octobre 2016, seules les solutions à court terme qui ont été trouvées avec les agriculteurs peuvent être appliquées, ce qui a fortement réduit le choix des agriculteurs quant à la technique qu'ils souhaitent tester dans leur ferme.

3. Prise en compte de la réalité ethno-sociologique

Premièrement, la méthode a été particulièrement difficile à mettre en place dans le contexte culturel mahorais. Comme cela a déjà été présenté, les mahorais ne sont ni ponctuels ni respectueux des rendez-vous fixés, ce qui est très difficile à gérer, surtout lorsque le travail se fait en groupe. De plus, la religion est très présente : les nombreux événements pendant le stage (un mois de ramadan, fêtes de laïd, mariages tous les week-ends en juillet et août, pèlerinage à La Mecque) ont perturbé le déroulement des réunions par les nombreuses absences occasionnées. Un agriculteur a dû interrompre sa participation aux réunions afin de préparer le mariage de sa fille. Deuxièmement, la quasi absence de formation agricole des participants ne permet pas de dialoguer de façon simple lors des réunions. Parfois, les agriculteurs pensent qu'une technique est bonne car ils l'ont entendu mais ils ne connaissent pas les processus biologiques ou physico-chimiques associés. Troisièmement, la moitié des participants n'est pas francophone et est analphabète. La traduction systématique des discussions a amélioré la compréhension mais les photocopies distribués n'ont pas été traduits, ce qui a posé des difficultés lorsque nous appuyions nos propos sur ces documents. Malgré ces difficultés, cette expérience a été très intéressante d'un point de vue personnel.

C. Retour sur l'expérience et apports personnels

Le stage a été pour moi très enrichissant dans le cadre de la finalisation de mon cursus d'ingénieur agronome car j'ai pu développer des compétences professionnelles. Cette expérience m'a donné l'opportunité de mettre en pratique mes connaissances théoriques. Ce travail concret sur le terrain m'a aussi permis d'acquérir une certaine confiance en moi, dans la gestion d'un projet de sa base à la finalité. La nécessité de devoir s'adapter m'a paru évidente dans ce contexte particulièrement dépaysant. Il s'agissait de comprendre le fonctionnement d'une association mais aussi la culture mahoraise. Ma capacité d'autonomie s'est développée car, n'étant pas suivie quotidiennement, j'ai dû avancer par moi-même et aller chercher les informations ou outils auprès de diverses structures de l'île. De nombreux obstacles ont ralenti mon travail mais cela m'a poussé à trouver des solutions pour m'y adapter. J'ai beaucoup appris auprès des agriculteurs et de l'animateur du GVA et leur suis reconnaissante de m'avoir accueillie avec tant d'hospitalité.

Les problèmes d'absences et de retard auxquels j'ai été confrontée auraient pu être moindres si la thématique du stage avait eu plus d'importance pour les agriculteurs. Je pense qu'il aurait fallu mieux cibler le sujet avant le départ en stage.

Le stage a été instructif : il a amélioré mes connaissances des sols, des pratiques paysannes, de la très petite agriculture, de l'agronomie tropicale et de l'expérimentation en milieu paysan entre autres. Ce travail a été formateur dans le sens où j'ai pu rencontrer des situations, des problématiques et une agriculture très différentes de celles étudiées pendant ma formation à VetAgro Sup, plutôt centrées sur les grandes cultures de climat tempéré.

Je suis heureuse d'avoir pu apporter mon aide au GVA d'Acoua et avoir participé à résoudre les problématiques liées à la fertilité et à l'érosion des sols sur l'île. Cette expérience m'a confortée dans mon projet professionnel et j'aimerais continuer à travailler avec les agriculteurs en tant qu'agent de développement, en climat tropical, sur les thématiques liées au sol et aux productions végétales.

Conclusion

Le GVA d'Acoua, une association d'agriculteurs au Nord-Ouest de Mayotte qui vend les produits agricoles locaux sur le marché du village, tente de développer l'agriculture sur ce petit territoire. Afin d'améliorer les rendements et plus largement les conditions de vie des adhérents, j'ai intégré cette structure pendant six mois pour trouver avec les agriculteurs des solutions aux problématiques de fertilité et d'érosion des sols qu'ils ont évoquées lors d'une étude sur leurs difficultés, réalisée il y a deux ans. Une étude du contexte et des pratiques des agriculteurs a permis de proposer des hypothèses quant à la baisse de rendement généralisée qui a été observé au cours des dernières années.

Nous connaissons dorénavant de nombreux processus qui ont permis de développer des techniques agricoles restaurant la fertilité du sol et limitant l'érosion. Il est nécessaire de tester ces techniques dans le contexte local pour savoir si elles sont efficaces à Mayotte et dans quelle mesure. En comparant les résultats des expérimentations, les agriculteurs pourront améliorer leurs pratiques.

Afin que la mission ait un impact réel et que les agriculteurs s'approprient ces techniques nouvelles, il a été décidé de ne pas leur imposer d'itinéraires techniques préconçus mais de les faire participer à la conception des essais du début à la fin en utilisant une méthode de co-développement, la méthode Gerdal. Bien que nous ayons pu concevoir les essais, cette étude aurait pu être améliorée en récoltant des données de façon plus précise (analyses de sol en laboratoire, rendements, pentes et positions exactes des parcelles expérimentales). La méthode utilisée est intéressante dans sa démarche mais est difficilement applicable à Mayotte sur une période de temps courte. Une autre méthode de conception serait-elle plus efficace ?

Finalement, neuf des treize agriculteurs du projet ont décidé de tester un facteur d'amélioration de la fertilité et/ou de l'érosion sur des cultures de bananiers et de manioc au sein de leurs parcelles. Deux agriculteurs vont expérimenter l'irrigation (stockage de l'eau de saison humide), quatre la fertilisation par amendement organique (fumier de caprins, compost de fumier de poulets de chair et compost de déchets verts) et trois autres l'utilisation de plantes de couvertures (courge et niébé). L'encadrement à la mise en place concrète des essais, le suivi de la bonne application du protocole et l'analyse statistique des résultats seront réalisés par l'animateur du GVA. L'association a maintenant les clés en main pour mener à bien les essais sur plusieurs années. La dynamique du GVA et des agriculteurs du réseau de fermes de référence doit maintenant perdurer pour que ce projet atteigne son but.

Les problématiques abordées ne touchent pas seulement le territoire d'étude mais aussi le reste de l'île. Les institutions agricoles mahoraises et les agriculteurs sauront-ils réagir assez vite pour que la baisse de fertilité des sols et l'augmentation de l'érosion n'aient de plus importantes conséquences ?

Enfin, cette mission m'a permis d'acquérir confiance en moi, autonomie, de développer mes capacités d'adaptation et mes connaissances. Ce fut un plaisir de travailler dans l'association au contact des agriculteurs et d'avoir participé au développement agricole de Mayotte.

Bibliographie

- Abou, A., 2015. Groupement de vulgarisation agricole Maharavouravou d'Acoua. 3 p.
- Abou, A., 2014. Diagnostic de la production agricole vivrière dans la zone de maevaranou et mapouéra. 55 p.
- Alim'agri, 2011. Lycée agricole de Coconi : un institut technique pour bientôt [WWW Document]. Alim'agri. URL <http://agriculture.gouv.fr/lycee-agricole-de-coconi-un-institut-technique-pour-bientot> (Consulté le 27/06/16).
- Alleoni, L.R.F., Cambri, M.A., Caires, E.F., Garbuio, F.J., 2010. Acidity and Aluminum Speciation as Affected by Surface Liming in Tropical No-Till Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 3, 1010–1017.
- Amann, C., Amann, G., Arhel, R., Guiot, V., Marquet, G., 2008. Plantes de Mayotte. Naturalistes de Mayotte, Mamoudzou (Mayotte). 360 p.
- Anon., 2015a. Grelinette [WWW Document]. Wikipédia. URL <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Grelinette&oldid=121375265> (Consulté le 30/08/16).
- Anon., 2015b. Réunions d'information publiques sur l'érosion des sols à Mtsamboro et Dzoumogné [WWW Document]. J. Mayotte. URL <http://lejournaldemayotte.com/societe/reunions-dinformation-publiques-sur-lerosion-des-sols-a-mtsamboro-et-dzoumogne/> (Consulté le 24/09/16).
- Anon., 2012. MAYOTTE [WWW Document]. Wikipédia. URL http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1094254#G.C3.A9ographie_insulaire (Consulté le 21/08/16).
- Audru, J.-C., A. Bitri, J.-F. Desprats, C. Manon, N. Maurillon, P. Sabourault, M. Terrier-Sedan, O. Sedan, 2002. Projet Risques naturels et érosion à Mayotte : résultats d'année 1. 96 p.
- Avwunudiogba, A., Hudson, P.F., 2014. A Review of Soil Erosion Models with Special Reference to the needs of Humid Tropical Mountainous Environments. *Eur. J. Sustain. Dev.* 3, 4, 299–310.
- Baize, D., 2000. Guide des analyses en pédologie: 2e édition, revue et augmentée, 2nd ed. INRA, Paris. 272 p.
- Balicchi, J., Bini, J.-P., Actif, N., Daudin, V., Rivière, J., s.d. Mayotte, département le plus jeune de France [WWW Document]. Insee. URL http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1488 (Consulté le 10/06/16).
- Barthès, C., 2003. L'état et le monde rural à Mayotte. KARTHALA Editions, Paris. 250 p.
- Blanco-Canqui, H., Ferguson, R.B., Shapiro, C.A., Drijber, R.A., Walters, D.T., 2014. Does Inorganic Nitrogen Fertilization Improve Soil Aggregation? Insights from Two Long-Term Tillage Experiments. *J. Environ. Qual.* 43, 3, 995–1003.
- Blanco-Canqui, H., Schlegel, A.J., 2013. Implications of Inorganic Fertilization of Irrigated Corn on Soil Properties: Lessons Learned after 50 Years. *J. Environ. Qual.* 42, 3, 861–871.
- Bozza, J.-L., Chamssidine, H., 2008. Fiches techniques : Lutte contre l'érosion des sols à Mayotte. Version 2 Mai 2008. CIRAD Antenne de Mamoudzou – Conseil Général de Mayotte. 22 p.
- Bozza, J.-L., Huat, J., Chamssidine, H., 2008. Mayotte - Erosion des sols : interrogations pour l'avenir. *Univers Maoré.* 9, 36–43.
- BRGM, 2013. Carte géologique de Mayotte.
- Chabalié, P.-F., 2006. Appui au volet agronomie CIRAD Mayotte. Fertilité physique et chimique des sols, utilisation des boues d'épuration en compost : mission du 25 au 31 octobre 2006. 18 p.
- Chabalié, P.-F., Van de Kerchove, V., Saint Macary, H., Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (France), Délégation (Réunion), Chambre d'agriculture (Réunion), 2006. Guide de la fertilisation organique à la Réunion. CIRAD, Saint-Denis (Réunion). 302 p.
- Chambre d'agriculture Martinique, 2007a. Fiche technique : MANIOC (doux et amer). 2 p.

- Chambre d'agriculture Martinique, 2007b. Fiche technique : BANANE PLANTAIN, B. CREOLE ou B. JAUNE. 2 p.
- Cirad, GRET, Ministère des affaires étrangères, 2002. Mémento de l'agronome. Editions Quae. 1702 p.
- Cirad Mayotte, 2015. Annexe 1 : Présentation technique du projet. 30 p.
- Commission européenne, 2011. Les sols : une ressource essentielle pour l'Union européenne. Union européenne. 4 p.
- Consoglobe, s.d. L'érosion des sols dans le monde [WWW Document]. Stat. Mond. Écologiques. URL <http://www.planetoscope.com/cereales/13-pertes-de-terres-agricoles-rendues-incultivables-du-fait-de-l-erosion.html> (Consulté le 28/04/16).
- DAAF Mayotte, 2016. Pertes de production à Mayotte - le vol de productions est un fléau - Le prix du kanga commence à baisser. Il se rapproche des 26 €. 4 p.
- DAAF Mayotte, 2015. 3ème et dernière partie du point sur « l'autosuffisance en fruits et légumes à Mayotte », Conjoncture et évolution des prix des produits agricoles. 4 p.
- DAAF Mayotte, 2011a. Chiffres clés du recensement agricole Mayotte 2010. 4 p.
- DAAF Mayotte, 2011b. L'essentiel du recensement agricole 2010. 128 p.
- Dabin, B., 1985. Les sols tropicaux acides. Cah ORSTOM Sér Pédol 21, 1, 7–19.
- Darré, J.-P., 2003. Aider les producteurs à résoudre leurs problèmes : la recherche co-active de solutions. 104 p.
- Darré, J.-P., Mathieu, A., Lasseur, J., 2004. Le sens des pratiques: conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes. Institut national de la recherche agronomique, Paris. 323 p.
- De Susanne, L., s.d. L'essentiel sur Mayotte [WWW Document]. Ile Mayotte Guide Tour. Indép. URL <http://www.ilemayotte.com/Guide-touristique/Decouverte-de-Mayotte/L-essentiel-sur-Mayotte> (Consulté le 21/08/16).
- Demers, I., 2008. Formes et disponibilité du phosphore de composts utilisés comme amendements de sols agricoles. 92 p.
- FAO, 2015. Les sols sont en danger, mais la dégradation n'est pas irréversible [WWW Document]. Organ. N. U. Pour Aliment. Agric. URL <http://www.fao.org/news/story/fr/item/357221/icode/> (Consulté le 30/04/16).
- FAO, s.d. Gestion des sols acides [WWW Document]. Organ. N. U. Pour Aliment. Agric. URL <http://www.fao.org/soils-portal/gestion-des-sols/gestion-des-sols-a-problemes/gestion-des-sols-acides/fr/> (Consulté le 04/08/16).
- Gaspérin, M., 2014. Mise en place d'une démarche de co-développement avec le GVA d'Acoua. 19 p.
- Gérard Gazeau, 2012. Fientes de volaille. 2 p.
- Gómez, J., Giraldez, J.V., Pastor, M., Fereres, E., 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. Soil Tillage Res. 52, 3-4, 167–175.
- Harter, R., 2007. Les sols acides des tropiques. 12 p.
- Hati, K.M., Mandal, K.G., Misra, A.K., Ghosh, P.K., Bandyopadhyay, K.K., 2006. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. Bioresour. Technol. 97, 16, 2182–2188.
- Insee Mayotte, 2007. Conditions de vie : criminalité et délinquance. 1 p.
- Jayaraman, K., 1999. MANUEL DE STATISTIQUE POUR LA RECHERCHE FORESTIERE [WWW Document]. Food Agric. Organ. U. N. URL <http://www.fao.org/docrep/003/X6831F/X6831f10.htm> (Consulté le 08/09/16).
- Kladivko, E.J., 2001. Tillage systems and soil ecology. Soil Tillage Res. 61, 1-2, 61–76.
- Lassoudière, A., 2007. Le bananier et sa culture. Quae, Versailles. 384 p.
- Latrille, E., 1981a. Inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales. Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières. 71 p.
- Latrille, E., 1981b. Projet d'inventaire des terres cultivables de Mayotte. Mayotte : carte morphopédologique et des propositions d'affectation des terres.

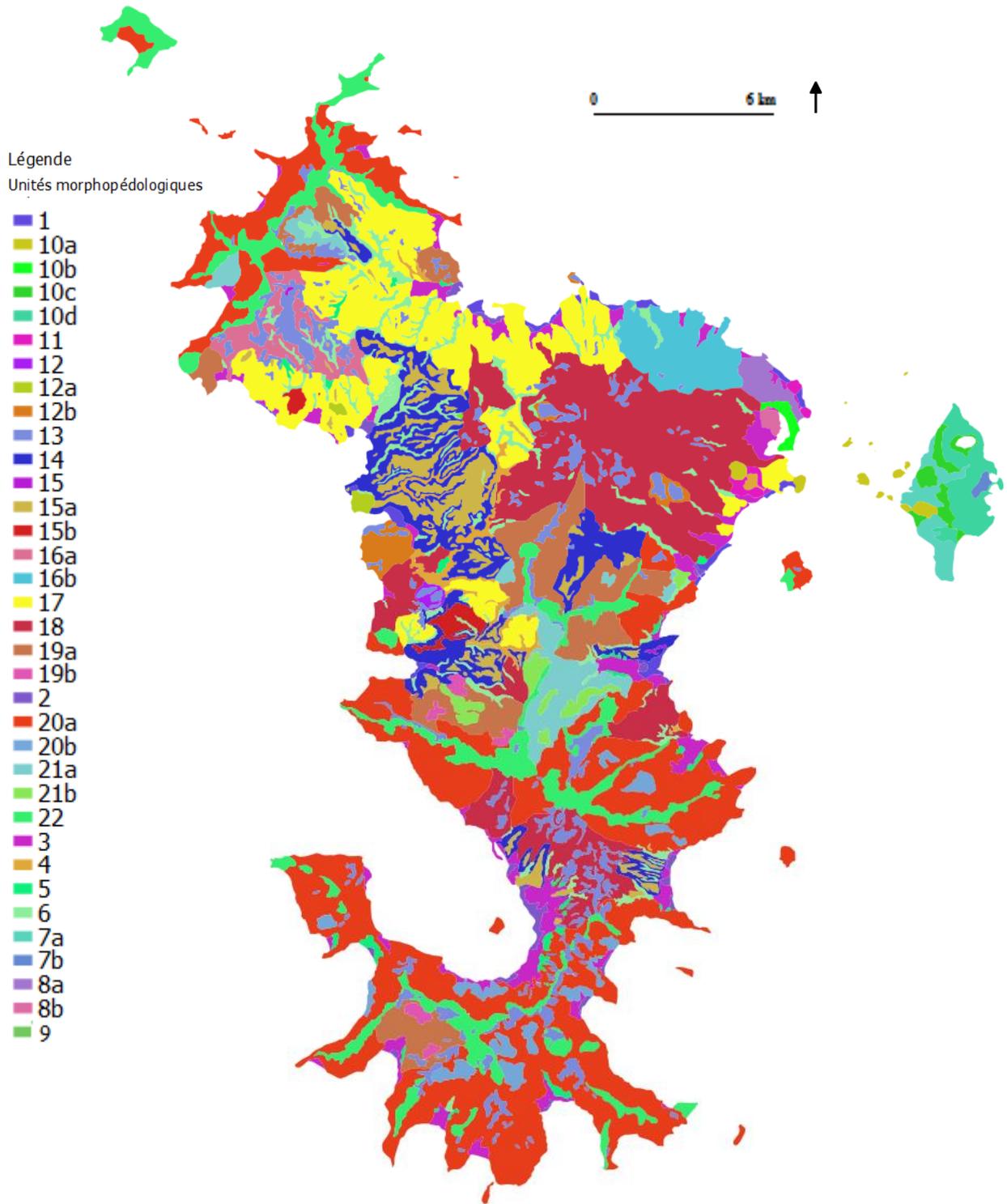
- Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J., 2002. L'érosion hydrique des sols en France. Rapport INRA, IFEN. 107 p.
- Le Parisien, 2016. Mayotte: nouvelles tensions après l'expulsion sauvage de plus de 500 «étrangers» [WWW Document]. leparisien.fr. URL <http://www.leparisien.fr/politique/mayotte-nouvelles-tensions-apres-l-expulsion-sauvage-de-plus-de-500-etrangers-18-05-2016-5805541.php> (Consulté le 10/06/16).
- Lefevre, V., 2013. Conception de systèmes de culture innovants pour améliorer le fonctionnement des sols en agriculture biologique. AgroParisTech, Paris. Thèse de doctorat. 273 p.
- Lopez, J.-M., Bozza, J.-L., 2015. Inventaire des principales études et projets de Recherche-Développement sur l'érosion hydraulique des sols agricoles (et naturels) et les bonnes pratiques de lutte antiérosive à Mayotte. 26 p.
- Lopez, J.-M., Lidon, B., Bozza, J.-L., 2015. Feuille de Route Erosion Mayotte : Phénomènes et causes de l'érosion des sols en milieu agricole. 14 p.
- Lycée agricole de Coconi, AMMEFLHORC, CAPAM, Cirad Mayotte, 2014. LA CULTURE DU BANANIER À MAYOTTE. 6 p.
- Lycée agricole de Coconi, CAPAM, Cirad Mayotte, 2013. LES AMENDEMENTS ORGANIQUES À MAYOTTE. 4 p.
- MAAF, 2015. Infographie - Les fondamentaux de l'agro-écologie | Alim'agri [WWW Document]. URL <http://agriculture.gouv.fr/infographie-les-fondamentaux-de-lagro-ecologie> (Consulté le 20/08/16).
- Marschner, P., Rengel, Z., 2007. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. Springer. 397 p.
- Météo France, 2016. Climat de Mayotte [WWW Document]. Météo Fr. Mayotte. URL <http://www.meteofrance.yt/climat/description-du-climat> (Consulté le 20/08/16).
- Michellon, R., 2003. Création de systèmes agricoles durables avec couverture végétale permanente à Mayotte. 30 p.
- Miles, A., Brown, M., 2003. Teaching Organic Farming and Gardening: Resources for Instructors—Part 2. Applied Soil Science. Cent. Agroecol. Sustain. Food Syst. 28 p.
- Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2014. L'érosion hydrique des sols [WWW Document]. Obs. Stat. URL <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/272/1122/lerosion-sols.html> (Consulté le 20/08/16).
- Ministère des Affaires étrangères et du Développement international, 2016. Comores [WWW Document]. Fr. Dipl. Ministère Aff. Étrangères Dév. Int. URL <http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/dossiers-pays/comores/> (Consulté le 27/09/16).
- Ministère des Outre-Mer, s.d. Présentation - Les Outre-Mer [WWW Document]. O.-m. URL <http://www.outre-mer.gouv.fr/?presentation,138.html> (Consulté le 10/06/16).
- Miranda, R.B. de, Scarpinella, G.D., Silva, R.S. da, Mauad, F.F., 2015. Water Erosion in Brazil and in the World: A Brief Review. Mod. Environ. Sci. Eng. 1, 1, 17–26.
- Mollier, P., 2013. Erosion des sols et agriculture de conservation : A l'origine, le problème de l'érosion [WWW Document]. INRA - Portail Actus Gd. Public. URL [http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Agroecologie/Tous-les-dossiers/L-agriculture-de-conservation/Erosion-des-sols-et-agriculture-de-conservation/\(key\)/1](http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Agroecologie/Tous-les-dossiers/L-agriculture-de-conservation/Erosion-des-sols-et-agriculture-de-conservation/(key)/1) (Consulté le 28/04/16).
- Nehlig, P., Lacquement, F., Bernard, J., Audru, J., Caroff, M., Deparis, J., Jaquen, T., Pelleter, A., Perrin, J., Prognon, C., others, 2013. Notice explicative de la carte géologique mayotte à 1/30 000. 135 p.
- Pariaud, B., 2003. Effet de la gestion de l'intercalaire de culture sur l'alimentation hydrique du bananier à Mayotte. Rapport de stage. INA-PG, Paris. 118 p.
- Peoples, M.B., Herridge, D.F., Ladha, J.K., 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? Plant Soil 174, 1, 3–28.
- Prosdocimi, M., Cerdà, A., Tarolli, P., 2016. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. CATENA 141, 1–21.
- Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R.D., 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. Nat. Geosci. 3, 5, 311–314.

- Rasmussen, K.J., 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil Tillage Res.* 53, 1, 3–14.
- Raunet, M., 1992. Mayotte island (Comores, Indian Ocean): erosion factors and lagoon sedimentation. 68 p.
- Rey, T., 2012. Padza à Chirongui (sud de Mayotte).
- Roose, E., Lelong, F., 1976. Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale. Études sur petites parcelles expérimentales de sol. *Rev. Géographie Phys. Géologie Dyn.* 18, 4, 365–374.
- Roose, E., Sarrailh, J.-M., 1990. Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cah. ORSTOM Sér. Pédologie* 25, 1-2, 7–30.
- Roy, R.N., FAO (Eds.), 2006. Plant nutrition for food security: a guide for integrated nutrient management, FAO fertilizer and plant nutrition bulletin. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 348 p.
- Ruellan, A., 1993. Dégradation et gestion des sols. 56 p.
- Sarkozy, N., 2011. Décret n° 2010-1582 du 17 décembre 2010 relatif à l'organisation et aux missions des services de l'Etat dans les départements et les régions d'outre-mer, à Mayotte et à Saint-Pierre-et-Miquelon. 30 p.
- Šimek, M., Hopkins, W.D., Kalčík, J., Pícek, T., Šantrůčková, H., Staňa, J., Trávník, K., 1999. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. *Biol. Fertil. Soils* 29, 3, 300–308.
- Soquet, A., 2003. L'érosion et les méthodes de lutte anti-érosives en parcelles cultivées à Mayotte, Océan Indien. Rennes. 87 p.
- Soulezelle, J., Dessauw, D., 2016. PROTOCOLE D'ESSAI - Caractérisation de variétés de manioc en vue d'une transformation en mataba. 7 p.
- Statistiques Mondiales, s.d. Départements et territoires d'outre-mer [WWW Document]. Fr. - Stat.-Mond. - DOM-TOM. URL http://www.statistiques-mondiales.com/dom_tom.htm (Consulté le 21/08/16).
- Tiessen, H., Cuevas, E., Chacon, P., 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371, 783–785.
- Van Donk, S., Klocke, N.L., 2012. Tillage and Crop Residue Removal Effects on Evaporation, Irrigation Requirements, and Yield. 9 p.
- Vanhuffel, L., s.d. Le guide des productions maraîchères à Mayotte. CAPAM et CIRAD Mayotte. 50 p.
- Vouton, R., 2012. Domaine Expérimental de la Bouzule - Parcelles et Expérimentation [WWW Document]. Domaine Expérimental Bouzule. URL <http://web04.univ-lorraine.fr/ENSAIA/marie/web/ntic/pages/2011/vouton.html> (Consulté le 08/09/16).
- Wang, Z., Chen, Q., Liu, L., Wen, X., Liao, Y., 2016. Responses of soil fungi to 5-year conservation tillage treatments in the drylands of northern China. *Appl. Soil Ecol.* 101, 132–140.
- Wani, S.P., Rupela, O.P., Lee, K.K., 1995. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant Soil* 174, 1-2, 29–49.
- Zhou, H., Fang, H., Mooney, S.J., Peng, X., 2016. Effects of long-term inorganic and organic fertilizations on the soil micro and macro structures of rice paddies. *Geoderma* 266, 66–74.

Annexes

Annexe 1 : Carte morphopédologique de Mayotte	46
Annexe 2 : Classement des matières organiques en fonction du taux de matière sèche, de la teneur en azote, phosphore et potassium.....	49
Annexe 3 : Questionnaire d'enquête	50
Annexe 4 : Protocole d'un sondage à la tarière	54
Annexe 5 : Fiches de terrain pour les sondages tarières : clé de détermination de la texture des sols (a) et fiche à remplir pour chaque sondage (b)	55
Annexe 6 : Protocoles utilisés pour déterminer la texture et le pH des échantillons de sol et triangles de texture (triangle de l'Aisne et triangle USDA)	57
Annexe 7 : Données utilisées pour la typologie des fermes de référence	59
Annexe 8 : Typologie : script utilisé sur R	60
Annexe 9 : Typologie : Résultats bruts principaux de l'ACP.....	62
Annexe 10 : Notions évoquées pendant la formation de pédologie.....	65
Annexe 11 : Informations complémentaires aux solutions proposées par les agriculteurs	68
Annexe 12 : Schémas en pyramide des solutions aux problématiques.....	73
Annexe 13 : Itinéraires techniques suivis au cours des essais	80
Annexe 14 : Récupération d'eau de pluie : la quantité d'eau récoltée est-elle suffisante pour combler les besoins des cultures ? Détails des calculs.....	83
Annexe 15 : Composition des amendements organiques testés.....	84
Annexe 16 : Quantité de fertilisant à apporter en une année selon les cultures et les agriculteurs : détails des calculs.....	85
Annexe 17 : Conseils de préparation et de stockage du fumier et du compost.....	86
Annexe 18 : Script modèle et aide d'interprétation pour un essai indépendant.....	87
Annexe 19 : Script modèle pour comparer tous les essais du réseau de fermes de référence	89
Annexe 20 : Fiche de présence en travail collectif	91
Annexe 21 : Bilan réalisé par les agriculteurs participant au projet	92

Annexe 1 : Carte morphopédologique de Mayotte



UNITÉS MORPHO-PÉDOLOGIQUES		Surface* (ha)	MODELÉ	MATÉRIEL ORIGINAL	Morphodynamique (Hydrodynamique) 1973	SOLS			OCCUPATION VÉGÉTALE 1973	
						Valeur de pédo-pédologie	Pédologie	Caractéristiques		
										(P : pluviosité annuelle)
MANGROVE		646	Prolongement de la plaine littorale.	Alluvions fluvi-marines.	Marée.				Palmiers.	
PLAINES LITTORALES	Transites avec la mangrove	2	Glacis d'épandage incisés par des cours d'eau sur : - 1,0 à 1,0 m en 2 - 1,0 à 5,0 m en 3.	Alluvions fines : gravement surtout des sables ferrallitiques ("craie pauvre" des zones II, III et IV des sols ferrallitiques = horizon d'altération), et dépôts en plusieurs phases. Localisation en 2 : passées sablonneuses.	Milieu instable. En action des phases : - submergées prolongées ; - évaporation des cours d'eau peu incisés. Romaniement de sol par les crues.	Hydrogrophe	25A	Blocs de surface à moins de 130 m. Niveau phréatique à partir de 0 à 1,5 m en saison sèche. Salinité très faible (CE < 150 µ-mhos).	Forêt hydromphile à <i>Erythrina</i> sp. ("M'ing"). Localisation ric pluvial et autres cultures vivrières.	
	Palmiers	3								1060
PLAINES INTÉRIEURES		500 4b = non cartographié	Glacis d'épandage arrondis par des cours d'eau et incisés par des cours d'eau sur 2,0 à 5,0 m en 4a (localisation : < 1,0 m et points bas hydromphiles = 4b).			4a : hydromphile 4b : hydromphile	a) 68 b) 51			
GLACIS D'ÉPANDAGE		5	Glacis d'épandage au débouché des torrents drainant les "bad-lands" (12).			Stabilité	24 30 72	Érudification plus ou moins évoluée sous l'âge des dépôts. Localisation, caractères : 1- variétés sous pluviosité annuelle = 1000 mm ; 2- hydromphile.	Pâturages. Cultures commerciales. Récit ligues. Plantes indigènes : <i>Stachytarpheta javanica</i> , <i>Souroubea vivoca</i> , <i>Annona sibirica</i> .	
FONDS DE VALLÉES INDIFFÉRENCIÉES		5	Unité mosaïque : Composée des unités 3, 4, 5 et de bas de versants des formes de dissection.		CE. Unités 3, 4, 5 et bas de versants des unités de dissection.					
NAPPES DE MATÉRIEL PYRO-CLASTIQUE (phase "récente" = quaternaire) Ordre de mise en place : 9, 8, 7.	A tal de pentes	7 a b	7a : matériel épais sur le plateau corallin. 7b : fond de cratère.	7a : voir 10a, 10b. 7b : calcaires de 10a, 10b.	Milieu stable. Tontebis instabilité sur sols través (décapage, ruinement) et au débouché des ravins de 13a et 10a (accumulation).	Aucun indicatif	106 107	Andosolisation évoluée avec localisation nette. Présence de calcaire actif en profondeur dans horizons (E) 3 et 4.	Cultures commerciales (caoutchouc). Cultures vivrières. Pâturages.	
	A tal de la plaine	8 a b	8a : préaltération des calcaires à petites escarpes. 8b : fond de cratère.	8a : voir 10b. Localisation, altérations d'altération ferrallitiques. 8b : matériaux détritiques de 10b.	Milieu péristable : instabilité sous végétation naturelle (décapage) et sur sols través (décapage, ruinement, accumulation).		104 105	Andosolisation évoluée avec localisation nette. Sur altérations ferrallitiques : érudification évoluée (plus caractères verticaux si P = 1000 mm/an).	Récit ligues xérophile avec cultures vivrières. Pâturages. Cultures commerciales (caoutchouc).	
	A cratère	9	Modèle de dissection des volcanismes "anciens" et "modernes" (cf. unités 12 à 22).	Nappe de cendres d'épaisseur métrique à l'origine, ne subsiste plus que sur les monts peu affectés par l'érosion : 14, 15, 16, 17.	Voir unités de dissection.		Aucun indicatif	68 76	États de ferrallitisation liés à l'âge du matériel. Cendres entièrement pédo-logisées. Grande pauvreté en P, K, Ca, Mg en (E). Caractères glistériques en (B).	Voir unités de modèle de dissection. Fréquence élevée des "avancés marins" (<i>Lycopodium obscurum</i>).
	Phase "récente" (quaternaire) Ordre d'édification : a, b, c, d.	10 a b c d	10a : partie amont ; 10b : partie aval des cônes à lapilli brachytiques, avec raves ("Barranços"). NB : localement, 10a est recouvert de tal de pentes.	10a : cône de projection + calcaire de levé. 10b : tal de lapilli-graviers et de cendres de roche noire et d'altération ferrallitiques. 10c et 10d : tal de cendres et lapilli brachytiques riches en ponces. NB : 10a, 10b, 10c : quelques calcaires et blocs de roche noire et coraux.	Milieu péristable : instabilité locale sous végétation naturelle (décapage) et sur sols través (décapage, ruinement, rotation, terrasses, selon le pente).		a) : origine ferrallitique b) : c) : aucune localisation	a) 89 c) 108 d) 107	10a : début de ferrallitisation liée à l'âge du matériel. 10b, 10c, 10d : érudification évoluée. NB : les profils sont souvent incomplets. En 10c et 10d, calcaire actif en profondeur (horizon (B) 3 et C).	10a, 10b : recit ligues et autres vivrières. Association cultures commerciales et vivrières. 10c : pâturages, localement, cultures vivrières. 10d : cultures vivrières.
Phase "supra-ancienne"	11	70	Cônes fortement obliques.	Altérations ferrallitiques tronquées au niveau des zones II et III et romaniées.		Stabilité		Érudification plus ou moins évoluée.	Récit ligues xérophile. Cultures vivrières.	
RELIEFS RÉSIDUELS DU VOLCANISME INTRUSIF ANCIEN		12 a b	12a : calets et filons avec talus d'écluse (unité le plus souvent regroupée avec 12) ; 12b : dômes ; 12c : dômes.	Volcanisme intrusif. Altérations ferrallitiques tronquées à divers niveaux et romaniées.	Milieu péristable. 12a : avalanches de terre, rotation, ébouls ; 12b : décapage, ruinement, rotation.	Stabilité	a) 6	Ferrallitisation sur roches en place. Érudification sur altérations ferrallitiques. Lithostels.	P > 1500 mm/an : lysés denses. P < 1500 mm/an : lysés denses. Localisation, évent.	

FORMES DE DISSECTION DU VOLCANISME TERTIAIRE		VOLCANISME MOYEN																		
		PLANÈZES					CROUPES													
VOLCANISME ANCIEN : AMPHITHÉÂTRES		"BAD-LANDS" (= "Padza") Modèle de dissection superficielle des crêtes et des croupes.		13	1980	Crêtes, croupes, lanières, ravineaux, glacis d'érosion et colluviaux dus au ravinement généralisé (échelle métrique et décimétrique).	Volcanisme "ancien" et "moyen"; altérites ferrallitiques (zone II, voire III). Localement cendres "récentes".	Milieu pénestable : - stable sous couvert végétal permanent; - instable si le sol est démodé (décapage, ravinement...).	Mosaïque de sols : ferrallitiques sur volcanisme "ancien" et "moyen"; bruns sur altérites ferrallitiques en place ou remaniées (brunification peu évaluée; vertique si P > 1500 mm/an).		- Plages érodées. - Pédopédochronologie xérophile. - Revégétalisation par feuilles <i>Stricherus Rajaplanis</i> .									
		Versants		14	2055	Versants : a) à surface peu ou non remaniée, à pentes de 13 à 40 %; b) à surface remaniée, à pentes de 25 à 55 %; (a non distingué de b).	a) Cendres "récentes" recouvrant sur plus de 1 m un volcanisme "moyen" ferrallité - b) Altérites ferrallitiques "moyennes" tronquées en II, III, IV et remaniées en surface.		a) 75 b) 70		a) Voir unité 9. b) Brunification plus ou moins évaluée selon l'âge du décapage et du remaniement des altérites.		- P > 1500 mm/an : reçu ligneux dense ("avocats marons" etc), localement cultures vivrières et commerciales. - P < 1500 mm/an : reçu xérophile + cultures.							
		Plateaux		15	15a : 1140 15b : 200	Plateaux plus ou moins allongés en "lanières", a) à surface sub-horizontale (pentes < 6 %, localement - 12 %) b) à surface endulée (pentes souvent > 6 %).	Cendres "récentes" recouvrant sur 2 à 3 m un sol ferrallitique "moyen" en place sur volcanisme "moyen".	Milieu stable. Toutefois : - Instabilité localisée sur sols travaillés, légère en 15a (décapage, ravinement), nette en 14, 15a, 16, 17, 18 (décapage, ravinement, "coups d'angle", reptation) et sur pentes > 40 % (terrassettes). - Pénestabilité sous végétation permanente sous climat sec (P < 1500 mm/an) : décapage, ravinement, quelle que soit l'unité... - Accumulation localisée en 15a au pied de 13. - Ruissellement hypodermique localisé en 14b et 18.	a) 60 b) 59		Voir unité 9.		- P > 1500 mm/an : cultures commerciales (caoutchouc, ylang-ylang, cannelle), reçu à "avocats marons" + cultures vivrières. - P < 1500 mm/an : reçu xérophile + cultures.							
		a : système de M'Tsangarouyi. b : système de Kongo-Kangari.		16	16a : 505 16b : 830	a) Plots de croupes et plateaux à sommets dégradés par des "Bad-Lands". b) Croupes irrégulières et peu individualisées à cause des seuils rocheux.	Altérites ferrallitiques tronquées en II, III et IV et remaniées en surface. Localement cendres "récentes" sur volcanisme "moyen" ferrallité.		a) 79		Brunification plus ou moins évaluée (à caractères vertiques si la pluviosité annuelle - 1000 mm).		- P > 1500 mm/an : reçu ligneux dense avec cultures vivrières sur-tout. - P < 1500 mm/an : reçu ligneux xérophile avec rares cultures vivrières; pâturages.							
		Système de Doungoué-Lingoni.		17	4010	Croupes assez bien individualisées à ramifications lanières. Localement crêtes ou replats. Pentes : 13 à 48 %.	Volcanisme "moyen". Localement altérites ferrallitiques tronquées en zone II, III ou IV, ou cendres récentes sur volcanisme ferrallité.		89 91		Remaniement ancien des sols ferrallitiques par cendres brunes, présence de graviers de gabbro dans les horizons A et B).		- Reçu ligneux dense à "avocats marons" (<i>Litsea laurifolia</i>) et cultures vivrières. - Cultures commerciales (caoutchouc, ylang-ylang, cannelle).							
CRÊTES		18	Pentes < 60 % 4510 Pentes > 60 % 390	Interfluvies à profil transversal irrégulier. Pentes : a) 25 à 60 %, localement < 35 %, b) > 60 %.	Altérites ferrallitiques tronquées en zone II, III, voire IV, et remaniées en surface.		101		Brunification évaluée selon l'âge du décapage et du remaniement. Caractères vertiques si P - 1000 mm/an.		- P > 1500 mm/an : reçu dense avec cultures vivrières. - P < 1500 mm/an : reçu xérophile et cultures vivrières. - Forêt en altitude.									
VOLCANISME ANCIEN : AMPHITHÉÂTRES		VERSANTS A COULÉES BOUEUSES...																		
...irrégulièrement décapés		19	19a : 2225 19b : 150	Formes en croissance à versants profilés en gradins plus ou moins convexes, à pentes de 6 à 25 %; localement replats à pentes < 13 % (unités 18a, 21b, 21b) ou pentes > 60 %. Réseau hydrographique torrentiel jalonné de seuils rocheux. Présence à la surface des versants de blocs rocheux caractéristiques de dimensions décimétriques, parfois métriques (avec cryptopiles à leur surface), et mis en place par coulées boueuses ou quaternaire moyen (?); leur nombre varie avec l'intensité de l'érosion ultérieure.								Mosaïque d'unités 20 et 21, sans dominance, à l'échelle décimétrique à hectométrique.								
...fortement décapés		20	20a : Pentes < 60 % 10755 Pentes > 60 % 125 20b : 515	Altérites ferrallitiques du volcanisme "ancien" tronquées principalement en zone II, voire III (horizon d'altération des sols ferrallitiques) et remaniées en surface. Localement unité 21.								- P > 1500 mm/an : milieu stable sous couvert végétal permanent (dense), devenant instable sur sol travaillé (décapage, ravinement, "coups d'angle", reptation). - P < 1500 mm/an : milieu pénestable sous couvert végétal permanent (peu dense). Léger décapage et ravinement. Instabilité sur sol travaillé et surplués : décapage, ravinement, "coups d'angle", reptation.		Brunification. Localement ferrallité remaniée.		1 8 22 45		Brunification des altérites plus ou moins évaluée selon l'âge du remaniement. Dominance des sols bruns ovales sous P > 1500 mm/an, et peu ovales sous P < 1500 mm/an. Caractères vertiques si P > 1000 mm/an, et hydromorphes sur replats (localement), influence des cendres "récentes" qui recouvrent les sols ferrallitiques avant le remaniement par les coulées boueuses.		- P > 1500 mm/an : reçu ligneux dense ("avocats marons"). - P < 1500 mm/an : reçu ligneux xérophile : baobabs, <i>Adiizia lebbéack</i> ("Baobab noir"), <i>Phoenix reclinata</i> ("M'Banda"), <i>Borassus aethiopicum</i> (raris), <i>Hyphaene sphenoloba</i> ... avec des plages de cultures vivrières. - Cultures commerciales rares (ylang-ylang en 21).
...non ou peu décapés		21	21a : 925 21b : 340	Volcanisme "ancien" indifférencié (basaltes, conglomérats, cendres, phosfates...). Localement unité 20.								Ferrallité remaniée. Localement brunification.		44 49						
CRÊTES		22	Pentes < 60 % 1410 Pentes > 60 % 1430	Divers : Volcanisme "ancien" - indifférencié - intrusif. Altérites ferrallitiques tronquées en zone III (roche "gourré") et surtout III et IV.								- P > 1500 mm/an : stable, sauf à l'endroit des "bad-lands" en activité. - P < 1500 mm/an : pénestable (couvert végétal clair). - Localement, avalanches		Brunification ferrallité remaniée. Matière brune.		14 34		Sols bruns sur altérites ferrallitiques. Sols ferrallitiques remaniés sur volcanisme ancien indifférencié. Sols minéraux bruns sur intrusif.		- P > 1500 mm/an : couvert végétal dense (forêts...), - P < 1500 mm/an : couvert végétal clair (forêts ouvertes et "bush").

(Latrille, 1981b)

Annexe 2 : Classement des matières organiques en fonction du taux de matière sèche, de la teneur en azote, phosphore et potassium (MS : matière sèche ; N : azote ; P : phosphore, K : potassium)

	Pauvre MS : < 140 N : < 5 P : < 5 K : < 5	Moyen MS : 140 à 350 N : 5 à 20 P : 5 à 15 K : 5 à 10	Riche à très riche MS : > 350 N : > 20 P : > 15 K : > 10
Matière sèche (kg/t de produit brut)	- Lisier de poule pondeuse - Lisier de bovin	- Fumier de bovin	- Fiente séchée de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair - Compost de déchets verts urbains - Fumier et compost de fumier de poule pondeuse - Fumier de caprin
Teneur en azote (kg N/t de produit brut)	- Lisier de bovin	- Fumier, compost de fumier et lisier de poule pondeuse - Compost de déchets verts urbains - Fumier de caprin - Fumier de bovin	- Fiente séchée de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair
Teneur en phosphore (kg P₂O₅/t de produit brut)	- Lisier de poule pondeuse - Compost de déchets verts urbains - Fumier de caprin - Fumier et lisier de bovin	X	- Fiente séchée, fumier et compost de fumier de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair
Teneur en potassium (kg K₂O /t de produit brut)	- Lisier de bovin	- Lisier de poule pondeuse - Fumier de bovin - Compost de déchets verts urbains	- Fiente séchée, fumier et compost de fumier de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair - Fumier de caprin

(Chabalier et al., 2006)

A. Caractéristiques générales de l'exploitation agricole

1. L'agriculteur

- Nom, Prénom
- Age
- Formation
- Situation familiale
- Nombre d'enfants
- Nombre de personnes à sa charge
- Lieu d'habitation

2. Historique de la ferme, objectifs, projets

- Dates clés (date d'installation, gros changements, évolution surface / effectif d'animaux d'élevage, phase actuelle : développement/stabilité) ?
- Objectifs personnels? (argent, se nourrir, ...)
- Dans l'avenir : agrandissement ? Projets particuliers ? Quelles perspectives ? Transmission de la ferme ?
- Pourquoi être devenu agriculteur ?

3. Le foncier

- Le parcellaire :
 - Nombre de sites
 - Nombre de parcelles
 - Localisation
 - SAU et surface des parcelles
 - Disposition des parcelles (groupées/dispersées)
- Statut juridique des terres : titre de propriété, droit d'usage traditionnel, fermage (prix), métayage ?
- Mode d'héritage des terres ?

4. Organisation du travail

- Qui travaille à la ferme (aide familiale, employés, entraide) ?
- Répartition des tâches : qui fait quoi ? quand ? pourquoi ?
- Polyvalence des employés ?
- Division des tâches selon les genres ?
- Temps de travail (semaine-week-end, jours/semaine) ?
- Quelles sont les grandes pointes de travail ?
- Temps de vacances/an ?
- Qui prend/influence les décisions sur la ferme ?

5. Le matériel

- Quel type d'outils ?
- Propriété ou location (à qui, quel prix ?)

6. Environnement social

- Faites-vous appel à l'intervention d'entrepreneurs ? Au service des voisins ?
- Avez-vous déjà reçu une aide technique ?
- Quels sont vos rapports avec les voisins ?
- Avez-vous d'autres activités : professionnelles, politiques, associatives ? Part du revenu agricole dans le revenu total ?
- Recevez-vous des subventions ?

B. Production végétale

1. Grandes règles de fonctionnement

- Assolement (nature du couvert et surface), cultures dominantes ?
- Historique de la parcelle (type de précédent, âge de mise en culture) ?
- Types d'associations culturales ?
- Bonnes/mauvaises associations ?
- Gestion des successions culturales :
 - Chronologie d'apparition des différentes plantes cultivées ?
 - La mise en jachère (temps de culture / temps de jachère) ?

2. Les pratiques

2.1. La phase d'implantation

- Description des modes de défriche et de brûlis : description, fréquence ?
- Travail du sol : labour, semis direct, trouaison ?
- Semis, bouturage, plantation ? Origine (achat/ferme) ?
- Date d'implantation des cultures ?
- Agencement dans l'espace des différentes composantes ?

2.2. La gestion de l'enherbement

- Description des pratiques : sarclage, binage, paillage, fauchage ?
- Ces pratiques sont-elles liées aux espèces, historique parcelle, saisons ?
- Gestion des résidus : laissés au sol, brûlés, alimentation des animaux d'élevage ?
- Adventices laissées ou retirées de la parcelle ?

2.3. La gestion de la fertilité des sols

- Utilisation d'engrais minéraux (quand, sur quelle culture, acheté à qui ?)
- Utilisation amendements organiques (compost, fumier, lisier) ou minéraux (quand, sur quelle culture, acheté / produit ?)
- Engrais verts ?
- Autre pratique de renouvellement de la fertilité des sols ?

2.4. Gestion des pertes de production (ravageurs, vol)

- Présence de ravageurs ? Sur quelle culture ?
- Lutte : produits phytosanitaires (Sur quelle culture ? Contre quoi ? Quand ? Quel produit ? Dose ? Acheté à qui ?) ou flore locale ?
- Vol observé ? Lutte ?
- Part de la production perdue par le vol et les attaques de ravageurs ?

2.5. Gestion de l'eau

- Périodes de sécheresse pendant l'année ?
- Irrigation : quand ? comment ?

2.6. Gestion des récoltes

- Rendements de chaque culture ?
- Gestion des résidus de récolte : laissés au sol, brûlés, alimentation des animaux d'élevage ?

2.7. Erosion des sols

- Observation de ruissellement, rigoles/ravines (localisation)
- Dispositifs anti-érosifs : sur quelle parcelle, quel type d'aménagement (plantation en courbes de niveaux, dispositifs mécaniques, ... ? matériau utilisés ?)
- Présence d'arbres, de haies
- Sol nu ou couvert
- Type de sol ? Homogénéité de la parcelle ?

3. Les produits

- Vente des produits : à qui ? Part de vente et d'autoconsommation ?
- Vente de produits transformés ?

C. Production animale

1. Généralités

- Part de l'activité d'élevage dans les revenus agricoles ?
- Espèces (bovin, ovin, caprin, avicole) ? Races ?
- Effectif d'animaux ?
- Mode de conduite : stabulation (localisation), piquet mobile/fixe, parcelles clôturées

2. Gestion de l'alimentation

- Fourrages : type, quantité ?
- Concentré : composition, quantité ?
- Achat ou production des aliments ? Autonomie ? Stockage sous quelle forme (foin, ensilage, ...) ?
- Gestion du pâturage :
 - Type : pâturage continu sur une seule parcelle, pâturage tournant sur plusieurs parcelles, ...
 - Date d'entrée sur les parcelles ? Date de sortie ?
 - Est-ce que certains animaux ne pâturent pas ?

3. Gestion des effluents d'élevage

- Type d'effluents (fumier, lisier, fientes) ?
- Quantité produite ?
- Stockage des effluents ?

4. Reproduction/réforme

- Fréquence des naissances ?
- Animaux abattus à quel âge ?

5. Pratiques sanitaires

- Combien de temps est consacré au soin des animaux ?
- Sont-ils vaccinés ? Suivent-ils des traitements ?
- Avez-vous déjà rencontré des problèmes sanitaires ? Comment traitez-vous ces problèmes ?

6. Les produits

- Nature : lait/viande ? Œuf/chair ?
- Part de vente et d'autoconsommation ?
- Ventes : à qui ? à quel âge ? combien d'animaux/an ?
- Vente de produits transformés ?

D. Question ouverte

Souhaitez-vous aborder un thème particulier dont nous n'avons pas discuté auparavant?

(Création personnelle)

Annexe 4 : Protocole d'un sondage à la tarière



LES GRANDES ETAPES D'UNE DESCRIPTION DE SOL A LA TARIERE

LES OUTILS NECESSAIRES

CHARTRE MUNSELL
(MUNSELL SOIL COLOR CHARTS)

RECEPTEUR GPS
COUTEAU DE PEDOLOGUE



METRE CLINOMETRE BOUSSOLE

TARIERE (ICI DE TYPE EDELMAN) AVEC
DES REPERES TOUS LES 10 CM

GOUTTIERE DE 120 CM GRADUEE

FICHES DE TERRAIN

REACTIF METTANT EN EVIDENCE LE
FER FERREUX

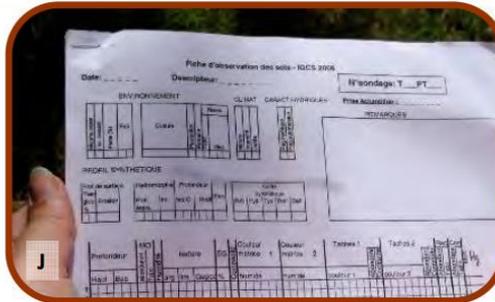
FAIRE USAGE DE LA FORCE... A BON ESCIENT !



A. APRES AVOIR DEGAGE LA SURFACE
DU SOL, SI NECESSAIRE, PRELEVER
L'INTEGRALITE DE LA PREMIERE
CAROTTE DANS LA TETE DE LA
TARIERE.
B. LORSQUE LA TETE DE LA TARIERE
EST REMPLIE, CELA CORRESPOND A
UN AVANCEMENT DE 20 CM.
C. NETTOYER LA SURFACE DE LA
CAROTTE POUR ELIMINER LES
EVENTUELS SALISSURES.
D. DEPOSER CES 20 PREMIERS
CENTIMETRES DANS LA GOUTTIERE
AUX GRADUATIONS
CORRESPONDANTES.



AGROCAMPUS OUEST, 2011



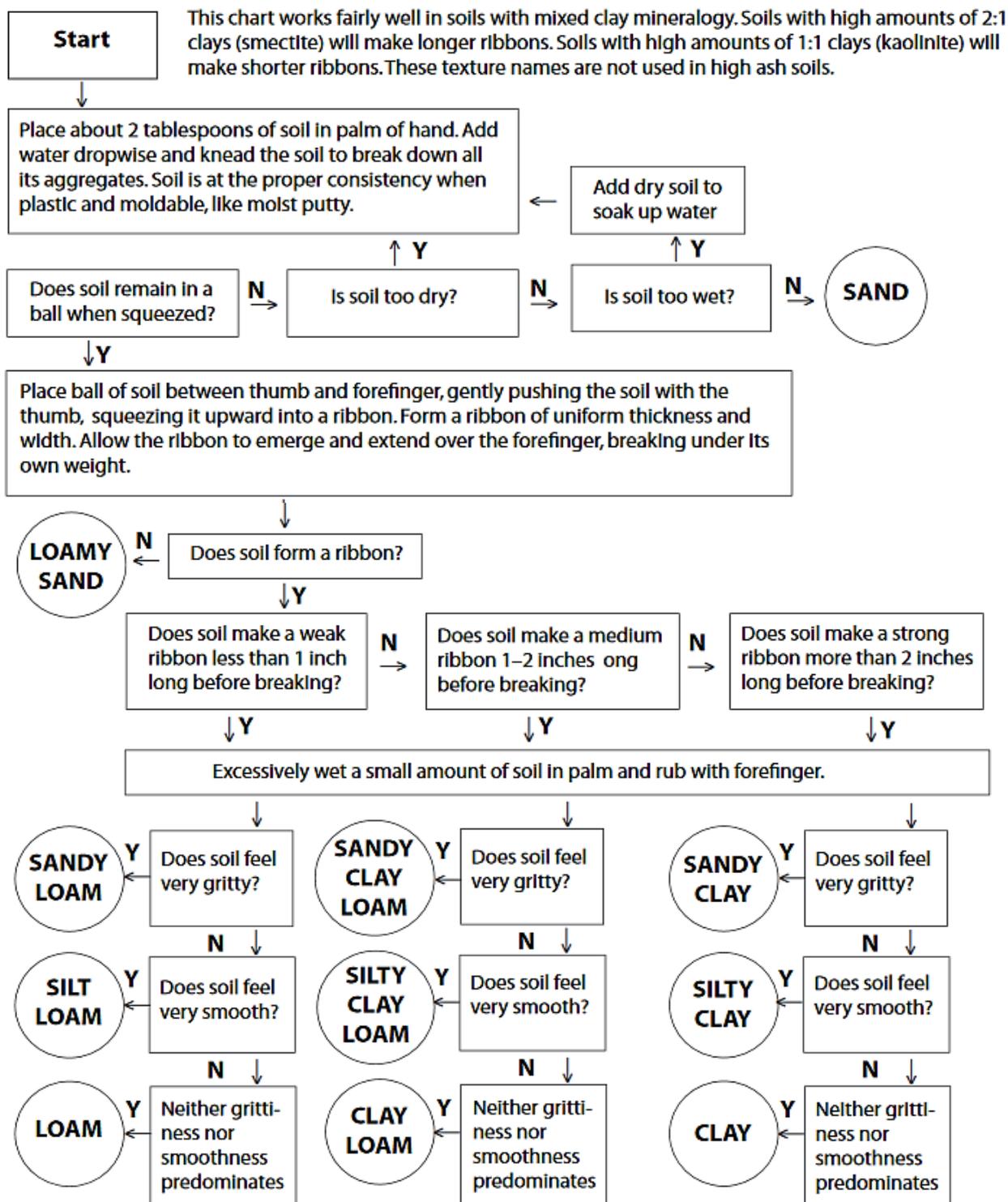
E. LES 20 PREMIERS CENTIMETRES DE SOL SONT PRELEVES !
F. RECOMMENCER LES ETAPES A A C. A PARTIR DE LA, ON NE CONSERVE QUE LES 10 CM SITUES DANS LA PARTIE INFERIEURE DE LA TETE DE LA TARIERE. EN EFFET, LE RESTE CORRESPOND A DU MATERIAU QUI A ETE REMANIE LORS DE LA REALISATION DU SONDAGE.
G. DEPOSER DE NOUVEAU LA CAROTTE DANS LA GOUTTIERE.
H. REPETER LES OPERATIONS A A C PUIS F ET G JUSQU'A CE QU'ON NE PUISSE PLUS CREUSER (ROCHE ATTEINTE, CAILLOUX EMPECHANT D'AVANCER, 120 CM ATTEINT). UN FOIS LE SONDAGE REALISE, NOUS DISPOSONS, DANS LA GOUTTIERE, D'UNE VISION D'ENSEMBLE DU PROFIL RECONSTITUE.
I. ON ENREGISTRE LA POSITION GEOGRAPHIQUE DU POINT A L'AIDE D'UN GPS (LE CAS ECHEANT, LE REPERER SUR UNE CARTE IGN AU 1/25 000).
J. DECRIRE L'ENVIRONNEMENT DU SONDAGE (PENTE A L'AIDE DU CLINOMETRE, ORIENTATION A L'AIDE LA BOUSSOLE...) ET LES DIFFERENTS HORIZONS DU PROFIL RECONSTITUE SUR LA FICHE TERRAIN.
K. RELEVER LA COULEUR DES DIFFERENTS HORIZONS ET TACHES DU PROFIL RECONSTITUE.
L. PRELEVER DES ECHANTILLONS SI NECESSAIRE.

AGROCAMPUS OUEST, 2011

(Document fourni par Véronique Genevois, pédologue cartographe, VetAgro Sup)

Annexe 5 : Fiches de terrain pour les sondages tarières : clé de détermination de la texture des sols (a) et fiche à remplir pour chaque sondage (b)

(a)



(Miles and Brown, 2003)

Annexe 6 : Protocoles utilisés pour déterminer la texture et le pH des échantillons de sol et triangles de texture (triangle de l'Aisne et triangle USDA)

Protocole de détermination de la texture d'un sol par la méthode de sédimentation

Mettre 4 cm de la fraction fine du sol (sédiments inférieurs à 2 mm) dans un verre à bords droits.

Remplir le verre d'eau jusqu'à 1 cm en-dessous du sommet du verre. Mélanger activement.

Laisser décanter jusqu'à ce que l'eau devienne complètement claire.

Mesurer la largeur de chaque fraction à la règle (sables, limons, argiles) pour déterminer la part de chacune dans la composition du sol. Munis des pourcentages de sables, limons et argiles, déterminer la texture du sol avec des triangles du texture (sur la prochaine page).

Protocole de mesure du pH

Mettre 20 g de sol sec dans un bécher et y ajouter 50 ml d'eau distillée. Agiter 30 min, puis laisser décanter 2 min. Deux méthodes de mesure sont utilisées :

Méthode au pH mètre :

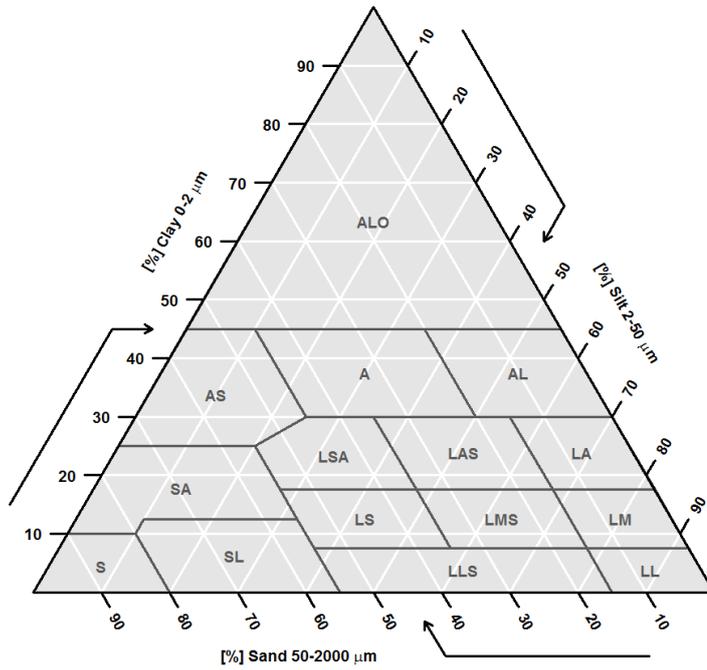
Mesurer au pH mètre : trempez la sonde de l'appareil dans la solution.

Méthode du papier pH :

Tremper le papier dans la solution puis comparer la couleur du papier avec les couleurs étalons.

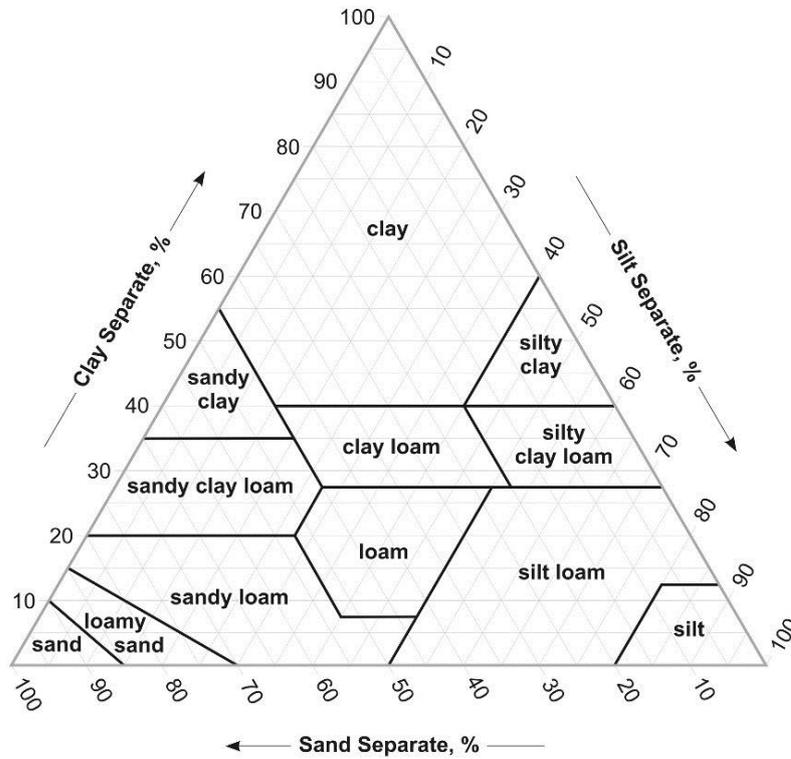
(Communications personnelles)

Texture triangle: Aisne (FR)



- ALO argile lourde
- AL argile limoneuse
- A argile
- AS argile sableuse
- LA limon argileux
- LM limon moyen
- LL limon léger
- LAS limon argilo-sableux
- LSA limon sablo-argileux
- LMS limon moyen sableux
- LS limon sableux
- LLS limon léger sableux
- SA sable argileux
- SL sable limoneux
- S sable

Soil Textural Triangle



(Baize, 2000)

Annexe 7 : Données utilisées pour la typologie des fermes de référence

Nom de la variable	Nom de la variable dans R	Individus												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
âge de l'agriculteur	age	48	70	42	63	44	43	53	56	65	47	70	40	72
nombre de semaines de formation	formation	36	1	60	0	3	26	36	0	12	12	0	24	36
nombre d'enfants à charge	enfants	10	2	3	2	5	2	4	2	3	3	0	9	5
SAU estimée	SAU	8995	14000	10000	8000	6000	6599	6000	10800	3000	6000	9000	15000	8000
nombre de parcelles	parcelles	1	2	1	1	2	1	2	3	3	2	4	4	1
nombre de sites	sites	1	2	1	1	2	1	2	1	3	2	2	2	1
nombre d'espèces vivrières cultivées	vivrier	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	3
nombre d'espèces fruitières cultivées	fruitier	5	10	3	7	7	8	4	9	9	5	6	9	6
nombre d'espèces maraichères cultivées	maraichage	1	10	6	1	2	4	3	6	10	4	2	2	9
nombre d'espèces de rente cultivées	rente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
nombre total d'espèces cultivées	cultures	8	23	11	10	11	14	10	17	22	12	12	13	18
temps de jachère maximum	jachere	0	5	15	0	3	4	0	0	5	0	6	4	10
dispositifs anti érosifs	antierosif	0	1	0	0	2	2	0	1	1	3	0	1	1
% perte (ravageurs et vol)	perte_prod	0	70	35	70	50	10	50	60	25	50	60	60	70
% autoconsommation PV	autoconso_pv	90	35	80	90	80	50	80	15	10		40	20	20
temps depuis installation	installation	31	35	19	35	16	18	25	15	45	25	60	35	40
travail (h/semaine)	travail	18	42	14	36	14	21	5	33	12	6	42	35	12
nombre d'interventions aide technique et entrepreneurs	conseil_entr	1	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1
nombre fonctions extérieures (autres que l'agriculture)	fonctions_ext	2	0	2	0	5	1	2	2	2	2	0	0	2
% des revenus agricoles dans le revenu total	revenu_agri	5	100	5	100	5	5	100	100	70	100	100	100	100

(Communications personnelles)

Annexe 8 : Typologie : script utilisé sur R

```
#Statistiques descriptives des données#
#Ouverture des données#
getwd()
pv<-read.table("pv3bis.csv",dec="," ,header=TRUE, row.names=1,sep=";" )
pv
attach(pv)

#Description des variables – analyses univariées#
names(pv)
str(pv)
summary(pv)
boxplot (pv)

#ACP#
#Chargement du package FactoMineR#
library(FactoMineR)

#Représentation graphique de l'ACP#
#Cercle de corrélation#
acppv<-PCA(pv)

#Décomposition de l'inertie#
round(acppv$eig,2)
barplot(acppv$eig[,2],names=paste("Dim",1:nrow(acppv$eig)))

#Etude des variables#
round(acppv$var$contrib[,1:2],2)
round(acppv$var$coord[,1:2],2)

#Etude des individus#
round(acppv$ind$coord[,1:2],2)
round(acppv$ind$contrib[,1:2],2)
round(acppv$ind$cos2[,1:2],2)

#Edition des tableaux#
#Tableau des variables#
round(cbind(acppv$var$coord[,1:2], acppv $var$cos2[,1:2], acppv $var$contrib[,1:2]),2)
#Tableau des individus#
round(cbind(acppv $ind$coord[,1:2], acppv $ind$cos2[,1:2], acppv $ind$contrib[,1:2]),2)

#Description des axes#
lapply(dimdesc(acppv),lapply,round,2)
```



```
#CAH#
#Chargement du package cluster#
library(cluster)

#Execution de la CAH, dendrogramme#
classif<-agnes(scale(pv[,1:21]),method="ward")
plot(classif,xlab="Individu")

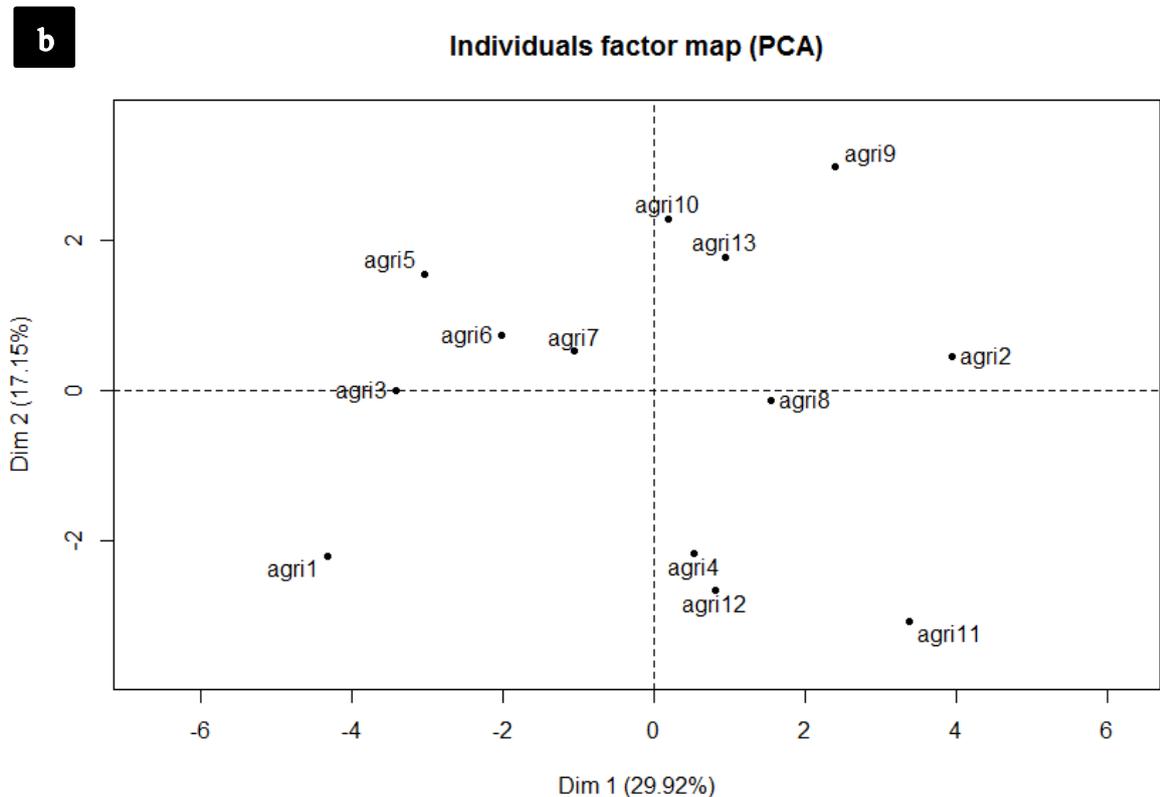
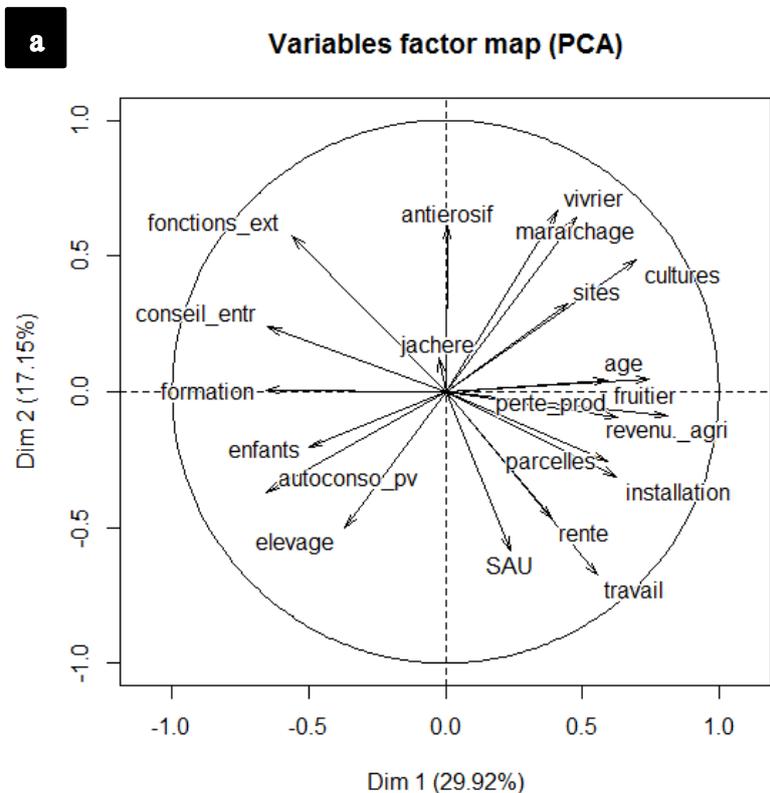
#Details de la CAH#
classif
classif$diss

#Coupure de l'arbre hiérarchique#
classif2<-as.hclust(classif)
classif2
plot(rev(classif2$height),type="h",ylab="hauteurs")
classes<-cutree(classif,k=3)
classes

#Caractérisation des classes#
car<-cbind(pv,classes)
car
means<-aggregate(car,list(car$classes),mean)
means
```

(Création personnelle)

Annexe 9 : Typologie : Résultats bruts principaux de l'ACP (cercle de corrélation des variables (a), graphique de répartition des individus (b), décomposition de l'inertie (c), tableaux des variables et des individus (d)) et de la CAH (dendrogramme (e), coupure de l'arbre hiérarchique (f), caractérisation des classes (g))



c

	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	6.28	29.92	29.92
comp 2	3.60	17.15	47.07
comp 3	2.34	11.14	58.21
comp 4	2.06	9.83	68.03
comp 5	1.87	8.91	76.94
comp 6	1.49	7.10	84.04
comp 7	1.10	5.24	89.28
comp 8	0.97	4.63	93.91
comp 9	0.63	3.01	96.92
comp 10	0.37	1.76	98.68
comp 11	0.22	1.02	99.70
comp 12	0.06	0.30	100.00

d

Variables

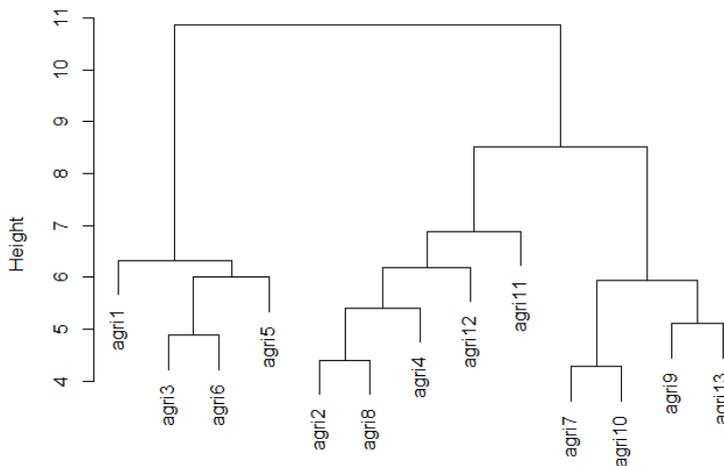
Individus

	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
age	0.75	0.05	0.56	0.00	8.86	0.06
formation	-0.66	0.01	0.43	0.00	6.92	0.00
enfants	-0.50	-0.21	0.25	0.04	3.98	1.19
SAU	0.24	-0.58	0.06	0.34	0.88	9.50
parcelles	0.59	-0.26	0.35	0.07	5.53	1.81
sites	0.45	0.32	0.20	0.11	3.17	2.93
vivrier	0.41	0.67	0.17	0.44	2.65	12.32
fruitier	0.59	0.04	0.35	0.00	5.55	0.05
maraichage	0.48	0.64	0.23	0.41	3.60	11.38
rente	0.39	-0.47	0.15	0.22	2.41	6.07
cultures	0.70	0.49	0.49	0.24	7.73	6.55
jachere	-0.02	0.12	0.00	0.02	0.01	0.42
antierosif	0.01	0.61	0.00	0.37	0.00	10.34
perte_prod	0.63	-0.09	0.40	0.01	6.33	0.24
autoconso_pv	-0.66	-0.37	0.43	0.14	6.86	3.80
elevage	-0.37	-0.50	0.14	0.25	2.16	7.03
installation	0.62	-0.31	0.39	0.10	6.20	2.71
travail	0.55	-0.68	0.31	0.46	4.89	12.73
conseil_entr	-0.65	0.24	0.42	0.06	6.74	1.56
fonctions_ext	-0.56	0.57	0.31	0.33	5.01	9.08
revenu_agri	0.81	-0.09	0.66	0.01	10.52	0.22

	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
agri1	-4.31	-2.21	0.58	0.15	22.75	10.42
agri2	3.95	0.45	0.66	0.01	19.10	0.44
agri3	-3.41	-0.01	0.44	0.00	14.20	0.00
agri4	0.54	-2.18	0.02	0.31	0.36	10.12
agri5	-3.03	1.55	0.35	0.09	11.23	5.14
agri6	-2.01	0.73	0.31	0.04	4.96	1.14
agri7	-1.05	0.52	0.09	0.02	1.34	0.57
agri8	1.56	-0.14	0.20	0.00	2.97	0.04
agri9	2.41	2.98	0.25	0.37	7.10	18.91
agri10	0.20	2.28	0.00	0.33	0.05	11.12
agri11	3.38	-3.07	0.34	0.28	14.00	20.17
agri12	0.81	-2.67	0.03	0.31	0.81	15.24
agri13	0.95	1.77	0.06	0.21	1.11	6.70

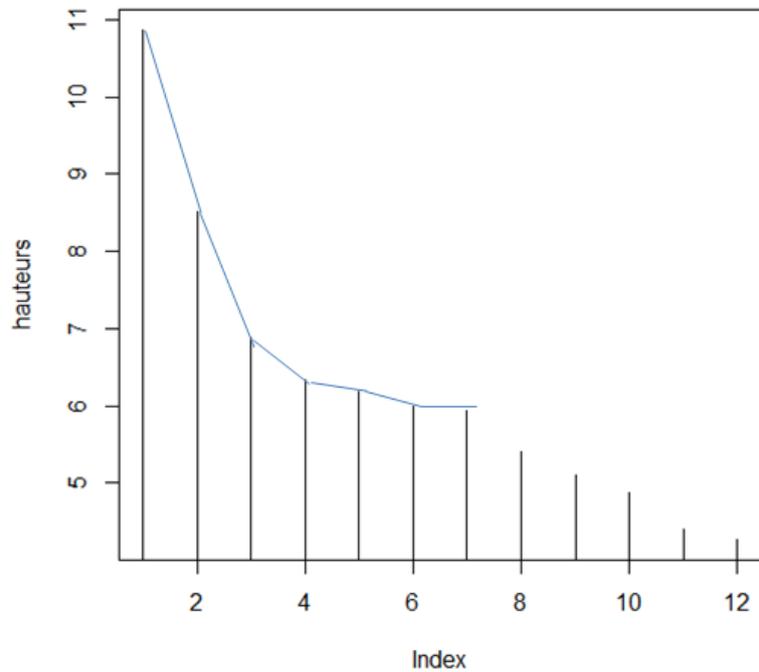
e

Dendrogram of agnes(x = scale(pv[, 1:21]), method = "ward")



Individu
Agglomerative Coefficient = 0.52

f



g

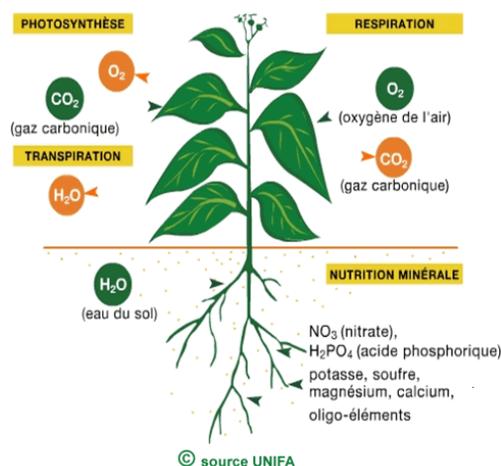
Group.1	age	formation	enfants	SAU parcelles	sites	vivrier	fruitier		
1	1	-0.895650	1.1191457	0.404400	-0.200900	-0.741525	-0.56175	-0.75960	-0.470525
2	2	0.418740	-0.6776479	-0.296540	0.836540	0.648420	-0.02366	-0.36462	0.660500
3	3	0.372225	0.4096466	-0.033725	-0.844825	-0.068975	0.59130	1.21530	-0.355125
maraichage									
rente	cultures	jachere	antierosif	perte_prod	autoconso_pv	elevage			
1	-0.413125	-0.27740	-0.622100	0.332625	0.08065	-1.00920	0.769775	0.35610	
2	-0.125680	0.44372	0.229200	-0.221780	-0.33864	0.74370	-0.345060	-0.01074	
3	0.570225	-0.27740	0.335625	-0.055450	0.34265	0.07955	-0.743250	-0.34265	
installation									
travail	conseil	entr	fonctions_ext	revenu_agri	classes				
1	-0.745050	-0.4128369	1.0963225	0.691075	-1.41700	1			
2	0.407980	1.1359444	-0.6139406	-0.818220	0.70420	2			
3	0.235025	-1.0070935	-0.3288968	0.331700	0.53675	3			

(Création personnelle d'après les résultats obtenus sur R)

Annexe 10 : Notions évoquées pendant la formation de pédologie (certains schémas réalisés au tableau ne sont pas présentés dans le document)

Introduction

Les grands échanges plante/sol/atmosphère : schéma plante



Composition du sol : air, eau, fraction minérale, fraction organique

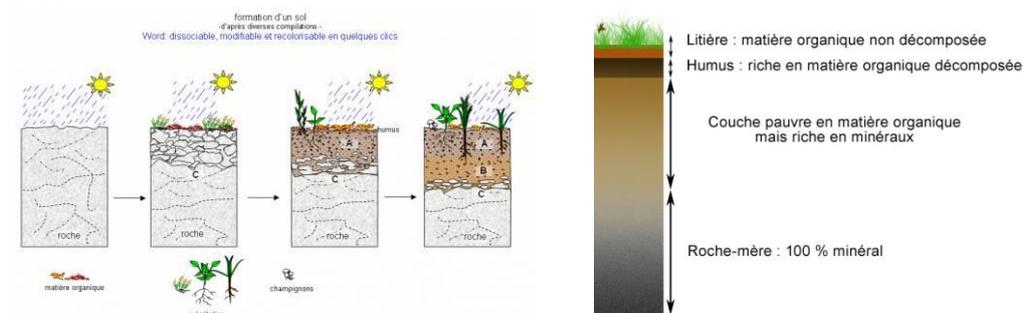
Pédogenèse :

Attaque des roches par eau, microorganismes, ... → pierres, sables, limons, argiles -

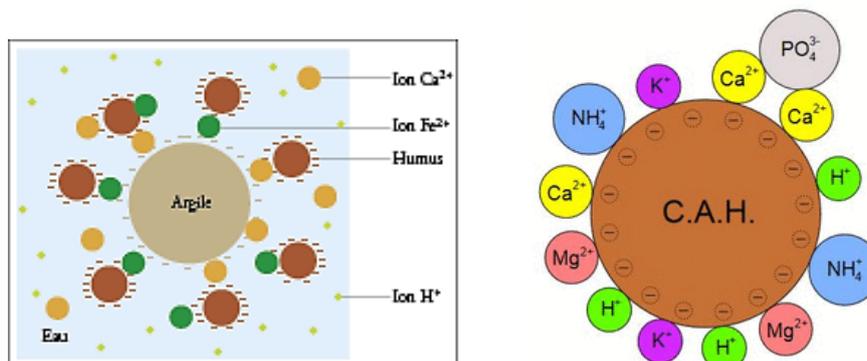
Attaque de la litière par les organismes du sol → humus -

→ Gradient minéral (roche mère), gradient organique (litière)

schémas formation du sol et horizons



→ Complexe argilo-humique chargé négativement et stabilisé par les cations bivalents qui viennent de la roche mère ; retenue des ions sur le CAH: *schémas CAH 1 et CAH 2*



Fertilité des sols :

Définition : aptitude du sol à produire, aptitude variable selon ses caractéristiques intrinsèques mais aussi selon les conditions de culture (actions de l'Homme)

Fertilité physique : circulation de l'air, circulation et rétention de l'eau, érodibilité

- texture : sable (très perméable, rétention faible), argile (peu perméable, rétention forte) → *schéma de circulation et la rétention de l'eau selon la texture*

microporosités → rétention de l'eau // macroporosités → infiltration
→ très difficile d'agir dessus

- structure du sol :

structure particulaire : sédiments sans cohésion (graviers)

structure massive : sédiments en bloc (argiles lourdes)

structure agrégée (le plus souvent) : cohésion entre argiles et MO → agrégats (taille et forme varie)

→ meilleure quand : racines, MO, argile, sol vivant

- stabilité structurale : résistance des agrégats à la destruction par l'eau

goutte pluie → casse la cohésion argile/MO → érosion

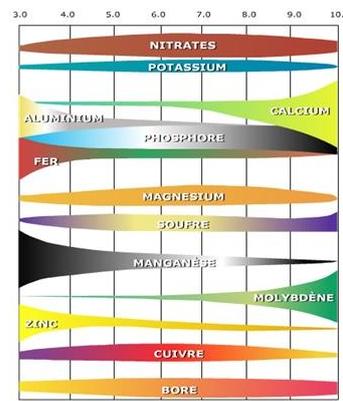
Fertilité chimique : accès des plantes aux éléments nutritifs du sol : macroéléments (N, P, K) et oligoéléments (Ca, Mg, S, ...)

- CAH libre ou stocke les éléments nutritifs : dépend teneur MO + teneur argile + type d'argile

→ fertilité meilleure quand CAH a grande capacité absorption

- pH : *schéma pH*, différentes formes des éléments selon le pH du sol, meilleure assimilation vers pH neutre

Les sols s'acidifient (pluies acides, lixiviation, décomposition de la matière organique, apport de certains engrais, ...) → sol acide (métaux se solubilisent, toxicité Al, Fe) → apport de chaux



- besoin eau → apport de nutriments

Fertilité biologique : organismes du sol (animaux, végétaux, champignons, protozoaires, bactéries), nombreux dans rhizosphère, nombreux services

- transformation du carbone et recyclage des nutriments par leur participation aux cycles biogéochimiques (C, N, P,...) : broyage des résidus végétaux et animaux, décomposition de la matière organique, formation de l'humus, dissolution de minéraux issus de la roche mère et fabrication de nouveaux minéraux.

- maintenance de la structure du sol : brassage du sol (favorisation de l'association entre MO et argile), formation de pores et de galeries (aide à la circulation de l'eau et de l'air), formation et stabilisation des agrégats

- régulation des populations: contrôle des bioagresseurs par les auxiliaires de cultures et maintien de l'équilibre entre les espèces du sol.

→ sol fertile : riche en organismes (sol vivant)

- 2 symbioses importantes:

- légumineuses / bactéries du genre Rhizobium (*schéma*)
diazote atmosphérique N_2 → l'ion ammonium NH_4^+ assimilable → NO_3^-
- mycorhize : champignons / majorité des végétaux (schéma)
améliorent la nutrition en eau, phosphore et oligo-éléments des cultures

Erosion des sols :

Définition, étapes

Terre arrachée du sol

Détachement, transport (formation rigoles/ravines), sédimentation : *schéma*

2 processus : effet splash et ruissellement

schema effet splash : destruction des agrégats

Facteurs

pluie : érosion potentielle d'un sol

autres facteurs qui vont limiter ou accentuer effet pluie : couvert végétal (variations 1 à 1000), puis la pente (1 à 50), le type de sol (1 à 10) et les pratiques anti-érosives (1 à 10)

Pluie :

ruissellement : que si pluie > infiltration

événements d'érosion rares : les plus fortes pluies

hauteur pluie, intensité pluie, répartition saisonnière

Couvert végétal :

Végétation naturelle : très peu érosion // sol nu : énormément érosion // sol cultivé : intermédiaire

→ végétation protège de la pluie + apport MO

densité de plante, période de plantation : couvrir le plus possible le plus rapidement

Topographie (pente) :

inclinaison, longueur → augmente vitesse écoulement eau → augmente le ruissellement

Sol

Stabilité structurale : texture et teneur en MO (cohésion sol)

Taux de cailloux en surface

(Création personnelle)

Annexe 11 : Informations complémentaires aux solutions proposées par les agriculteurs

Thème 1 : manque d'eau

- **Se rapprocher des sources d'eau** : toit, autre terrain
- Laisser les résidus au sol → **couper les mauvaises herbes à 5/10 cm** au-dessus de la surface (retenue des branches dans les pentes)
- Concentrer l'eau au niveau des plantes : **cuvettes zaï** et **demi-lune** (terre coté aval)
- **Stockage eau pluie toit** : retenue collinaire ou autre stockage (caisse 1 m³)

Thème 2 : caractéristiques du sol

1) Comment enrichir le sol ?

- **Epuisement chimique** : surtout P (**phosphore**) → ex : Choisir fertilisant riche en P (*annexe 1*)
- Utiliser fertilisant qui donne de l'**humus** (matières compostées, fumier de bovin) (*annexe 2*)
- **Ordures ménagères** : créer un compost pour commune
- **Déjections animales** : ramasser les déjections à terre des autres éleveurs
- **Sciure de bois** : broyer ses propres arbres (éviter les bois traités)
- Eviter **engrais chimiques** : emportés par pluie
- Utiliser des **légumineuses** :
Cultivées :
ambrevade, haricot, moringa, tamarin, niébé, dolique, haricot riz, ambérique, pois mascate (fourrage), siratro (fourrage), puéraria faux-haricot (fourrage), luzerne tropicale (fourrage), arachide pérenne (fourrage)
Forestières: bois noir, arbre de charan, *Acacia mangium*, faux mimosa
- Laisser les **racines des adventices** au maximum (pas sarclage) → fauche si possible
- **pH : chaulage (si nécessaire)**
 - Chaux (achat) ou corail/coquillages broyés
 - Incorporer produit dans terre
 - Ne pas appliquer en même temps que fumier/compost
 - Cible pH: 5,0 à 5,5 (ne pas dépasser 6)
 - À prévoir quand utilisation d'un fertilisant (*annexe 3*)

2) Comment ameublir le sol ?

- **Labour** : pas conseillé
- Travail du sol concentré **sur zone de plantation** : pas de sarclage sur toute la micro-parcelle
- **Travail du sol réduit** : petits outils, ne pas retourner le sol, favoriser un travail superficiel

3) Jachères et rotations

- **Bruis** : uniquement si la période de **jachère** est suffisante (**au moins 20 ans**)
- Plantes au **système racinaire différent** : légumineuses et céréales (associations ou successions)
maïs-dolique (*Dolichos lablab*)
maïs- haricot riz (*Vigna umbellata*) sous la strate d'espèces pérennes (cocotier, agrume, bananier)
maïs-ambrevade (*Cajanus cajan*)
maïs-niébé (*Vigna unguiculata*) ou sorgho -niébé (*V. unguiculata*)
maïs-amberique (*Phaseolus mungo var aureus*)

- **Associations :**

Associations bénéfiques	Associations néfastes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ cultures - arbres (intérêt multiple de l'agroforesterie) ➤ ananas - banane ➤ papaye - ananas/agrume ➤ banane - vanille (la banane constitue un support pour la vanille) ➤ banane - aubergine - piment - brède (pissenlit) ➤ riz - banane ➤ manioc - patate douce (la patate douce agit comme une plante de couverture) ➤ haricot - maïs (le maïs constitue un support pour le haricot) ➤ poivron - laitue 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ manioc - banane (la banane rend les maniocs amers) ➤ citrouille - manioc ➤ ambrevade - banane ➤ ambrevade - manioc ➤ pastèque - citrouille - melon blanc (compétitivité pour l'espace car espèces rampantes)

Thème 4 : érosion

1) Pentes

- **Pas cultures sur buttes** (concentre eau) : planter à plat
- **Diminuer inclinaison pente :**
Terrasses : planter sur talus pour tenir la terre ; ne pas désherber le talus
Visite Attou : total 4500€ (700€/h environ)
- **Diminuer longueur pente :**
 - Cuvettes zaï et demi-lune (terre coté aval)
 - Chemins incurvés
- **Plantes en lignes :** moringa (très riche en minéraux et retient bien terre), arbustes

2) Structure du sol

- Travail du sol réduit (pas de sarclage)
- Systèmes racinaires complémentaires (céréales et légumineuses) :
voir thème 2 (jachère et rotations)

3) Couverture du sol

- **Contrôle de l'érosion selon la pente :**
pentes < 13% : suivre le conseil de densité de plantation (*annexe 4*)
pentes : 13 à 35 % : utiliser le paillage
pentes > 35 % : couverture végétale permanente
- **Plantes de couverture** (morte/vivante ; association/bandes végétalisées) :
Alimentation humaine : patate douce, haricot, cucurbitacées

Légumineuses	Céréales
<ul style="list-style-type: none"> - Mucuna (<i>Mucuna cocheninensis</i>) : espèce annuelle très envahissante - Siratro (<i>Macropitium atropurpureum</i>) : espèce vivace fourragère volubile envahissante - Puéraria faux-haricot (<i>Pueraria phaseoloides</i>) : espèce vivace fourragère très envahissante - Luzerne tropicale (<i>Stylosanthes guianensis</i>) : espèce vivace fourragère, enracinement profond - Arachide pérenne (<i>Arachis pintoï</i>) : espèce vivace fourragère rampante 	<ul style="list-style-type: none"> Graminées vivaces fourragères : - Brachiaria brizantha - Brachiaria ruziziensis - Panicum : espèces annuelles et vivaces - Pennisetum

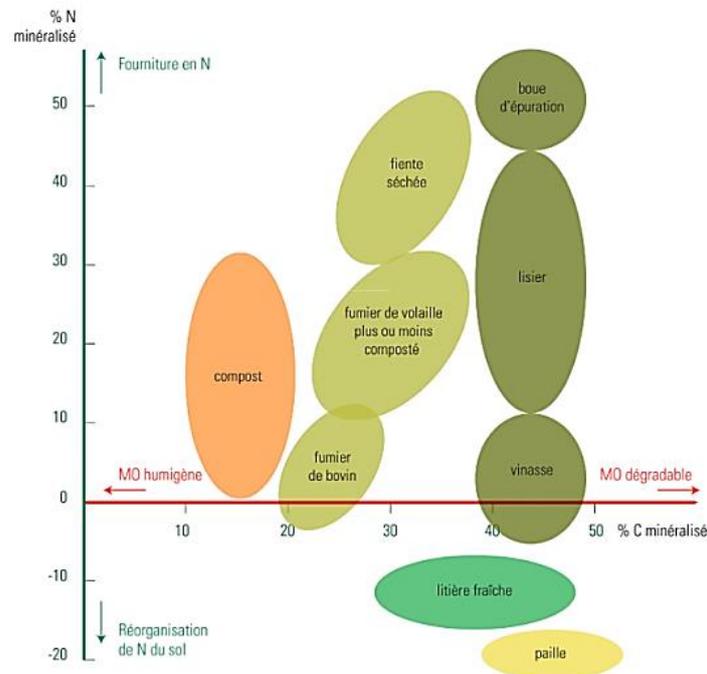
- **Bandes enherbées** : 3 m de large, en amont des chemins ; autour parcelle ; graminée : *Chrysopogon zizanioides* ou gazon naturel
- **Végétalisation des ravines** : arbres fruitiers
- **Re-végétalisation padza** :
 - Espèces forestières :
 - Acacia mangium (envahissante !) (leg)
 - Arbre de charan (*Gliricidia sepium*) (leg)
 - Faux mimosa (*Leucaena leucocephala*) (leg)
 - Filao (*Casuarina equisetifolia*)
 - Espèces fruitières :
 - Anacardier (*Anacardium occidentale*)
 - Prunier de Cythère (*Spondias dulcis*)
 - Graminée : Vétivier (*Chrysopogon zizanioides*)
- **Stopper la pratique du brûlis** → défricher de manière progressive
- **Jachères longues**
- **Système agroforestier**

Annexes

Annexe 1 : Classement des matières organiques en fonction du taux de matière sèche, de la teneur en azote, phosphore et potassium (MS : matière sèche ; N : azote ; P : phosphore, K : potassium)

	Pauvre MS : < 140 N : < 5 P : < 5 K : < 5	Moyen MS : 140 à 350 N : 5 à 20 P : 5 à 15 K : 5 à 10	Riche à très riche MS : > 350 N : > 20 P : > 15 K : > 10
Matière sèche (kg/t de produit brut)	- Lisier de poule pondeuse - Lisier de bovin	- Fumier de bovin	- Fiente séchée de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair - Compost de déchets verts urbains - Fumier et compost de fumier de poule pondeuse - Fumier de caprin
Teneur en azote (kg N/t de produit brut)	- Lisier de bovin	- Fumier, compost de fumier et lisier de poule pondeuse - Compost de déchets verts urbains - Fumier de caprin - Fumier de bovin	- Fiente séchée de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair
Teneur en phosphore (kg P₂O₅/t de produit brut)	- Lisier de poule pondeuse - Compost de déchets verts urbains - Fumier de caprin - Fumier et lisier de bovin	X	- Fiente séchée, fumier et compost de fumier de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair
Teneur en potassium (kg K₂O /t de produit brut)	- Lisier de bovin	- Lisier de poule pondeuse - Fumier de bovin - Compost de déchets verts urbains	- Fiente séchée, fumier et compost de fumier de poule pondeuse - Compost de fumier et fumier de poulet de chair - Fumier de caprin

Annexe 2 : Classement des matières organiques en fonction des caractéristiques de minéralisation à court terme (3 à 6 mois) de l'azote et du carbone (MO : matière organique ; N : azote total ; C : carbone total)



Annexe 3 : Effet des fertilisants sur le pH du sol : coefficients d'équivalence en chaux
 « Equivalent chaux » : quantité de chaux qu'il faudrait apporter pour neutraliser le changement de pH induit par apport de fertilisant. La valeur de l'équivalent CaO est positive quand le fertilisant est alcalinisant (ne rien apporter) et négatif s'il acidifie le sol (chaulage nécessaire).

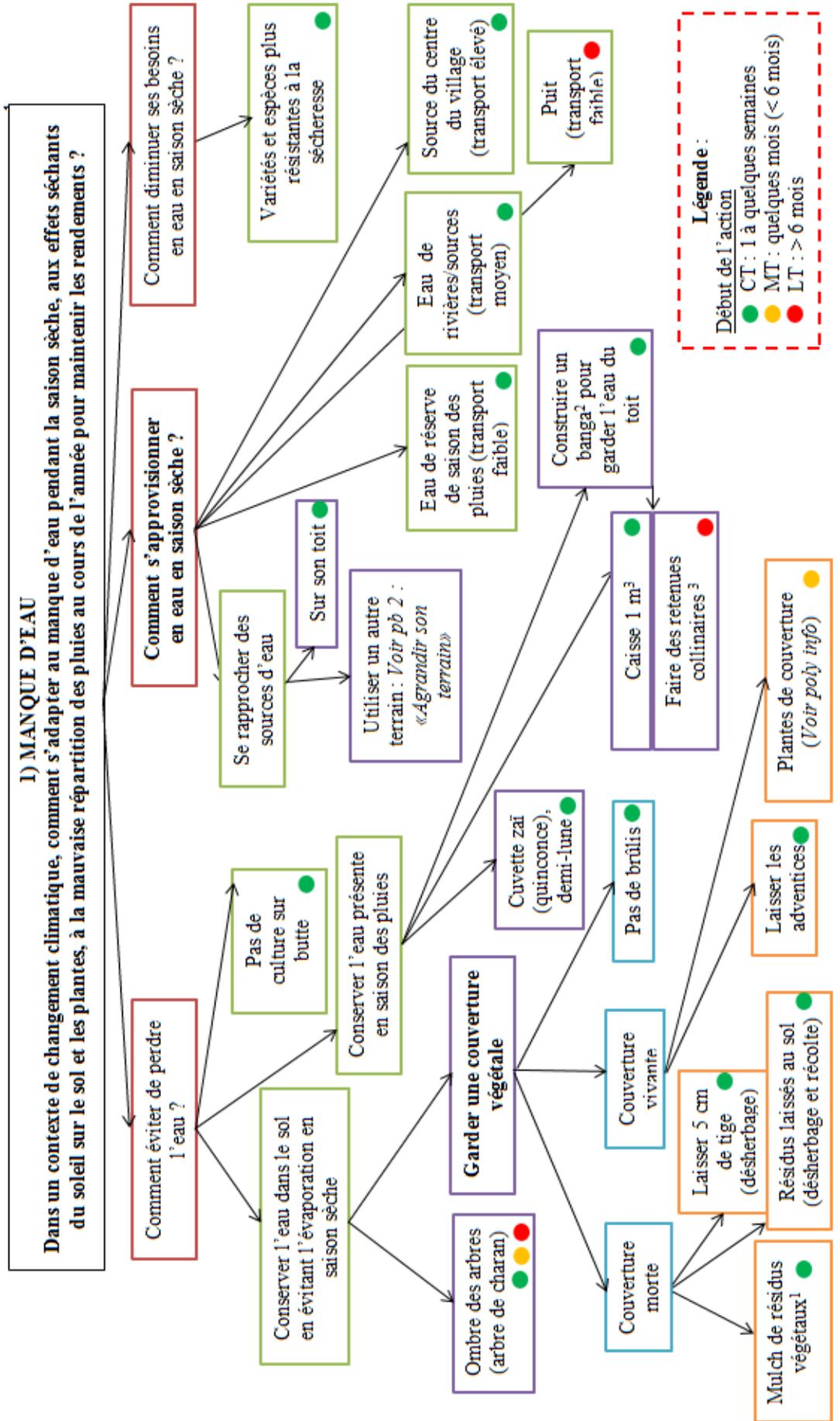
Effet sur le sol		Doses recommandées de produit brut (pour 150 à 200 kg/ha N)	Equivalent chaux (kg/ha CaO) pour les doses recommandées*
Alcalinisant	Fiente de volaille pondeuse	5 t/ha	+ (50 et plus)
	Fumier d'ovin	20 t/ha	+ (70 et plus)
	Compost de fumier de porc	10 t/ha	+ (50 et plus)
Acidifiant	Ammonitrate à 28 % N (pour 196 kg/ha N)	700 kg/ha	- (231 et plus)
	Urée (pour 180 kg/ha N)	400 kg/ha	- (184 et plus)
	Fumier de poulet de chair	5 t/ha	- (130 et plus)
	Fumier de porc	20 t/ha	- (130 et plus)
	Fumier mou de bovin	20 t/ha	- (50 et plus)
Neutre	Fumier de bovin compact, compost de fumier de bovin	10 t/ha	0
	Lisier de porc, lisier de bovin	20 m ³ /ha	0
	Fumier de porc sur litière accumulée	20 t/ha	0

* : en l'absence de volatilisation de l'ammoniac

Annexe 4 : Densités de plantation qui limitent l'érosion jusqu'à 13 % de pente pour les principales cultures à Mayotte

Correspondance : Densité de plantation et nombre de pieds/objets par m²		
arbres	Densité par ha	Nb. de pieds/objets par m ²
agrumes	400	0.04
arbre à pain	100	0.01
bananier	1600	0.16
cocotier	150	0.015
goyavier	750	0.075
jacquier	150	0.015
manguier	200	0.02
papayer	1000 à 2500	0.1 à 0.25
Pomme cannelle	750	0.075
vivriers		
ambrevade	20000	2
maïs	20000 à 60000	2 à 6
manioc	6000 à 10000	0.6 à 1
niébé	50000	5
riz	250000	25
fouillage		
canne fourragère	10000 à 20000	1 à 2
Mixte vivrier/couverture ou mixte fouillage/couverture ou couverture simple		
Arachis pintoï (c)	40000	4
Brachiaria (f/c)	40000	4
Patate douce (v/c)	40000	4
Correspondance : Nb. de plant/objet par m² et écartement entre plant/objet en mètre (m).		
	Densité/m ²	Ecartement entre plant/objet
	1	1
	2	0.71
	4	0.50
	8	0.35
	10	0.32
	20	0.22
	40	0.16
	80	0.11

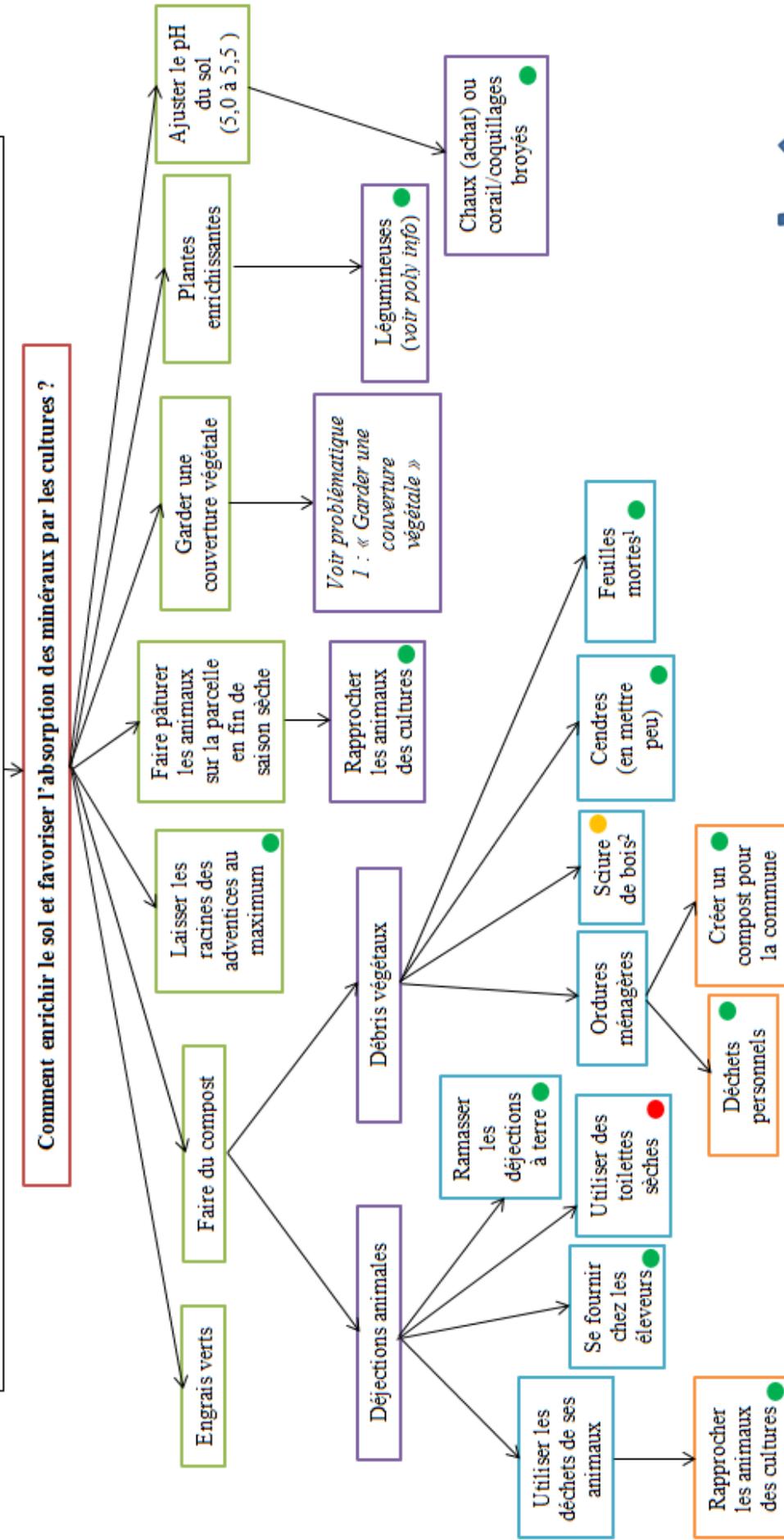
(Création personnelle à partir des résultats de la recherche bibliographique)



1. Autour des pieds : feuilles de bois noir (leg ; avec banane oui, manioc non), d'arbre de charan (leg), de moringa ; paille ; BRF
2. Cabane en bois/tôle mahoraise
3. Trou avec bâche géotextile ; petites ; fermées en saison sèche ; haut de parcelle

2) CARACTERISTIQUES DUSOL

Comment améliorer le sol en tenant compte de son appauvrissement en minéraux, de son manque de profondeur, de sa dureté, des rotations et jachères, des effets néfastes de la monoculture et de l'intensification afin de lui redonner de la vie ?



1. Bois noir, arbre de charan, moringa

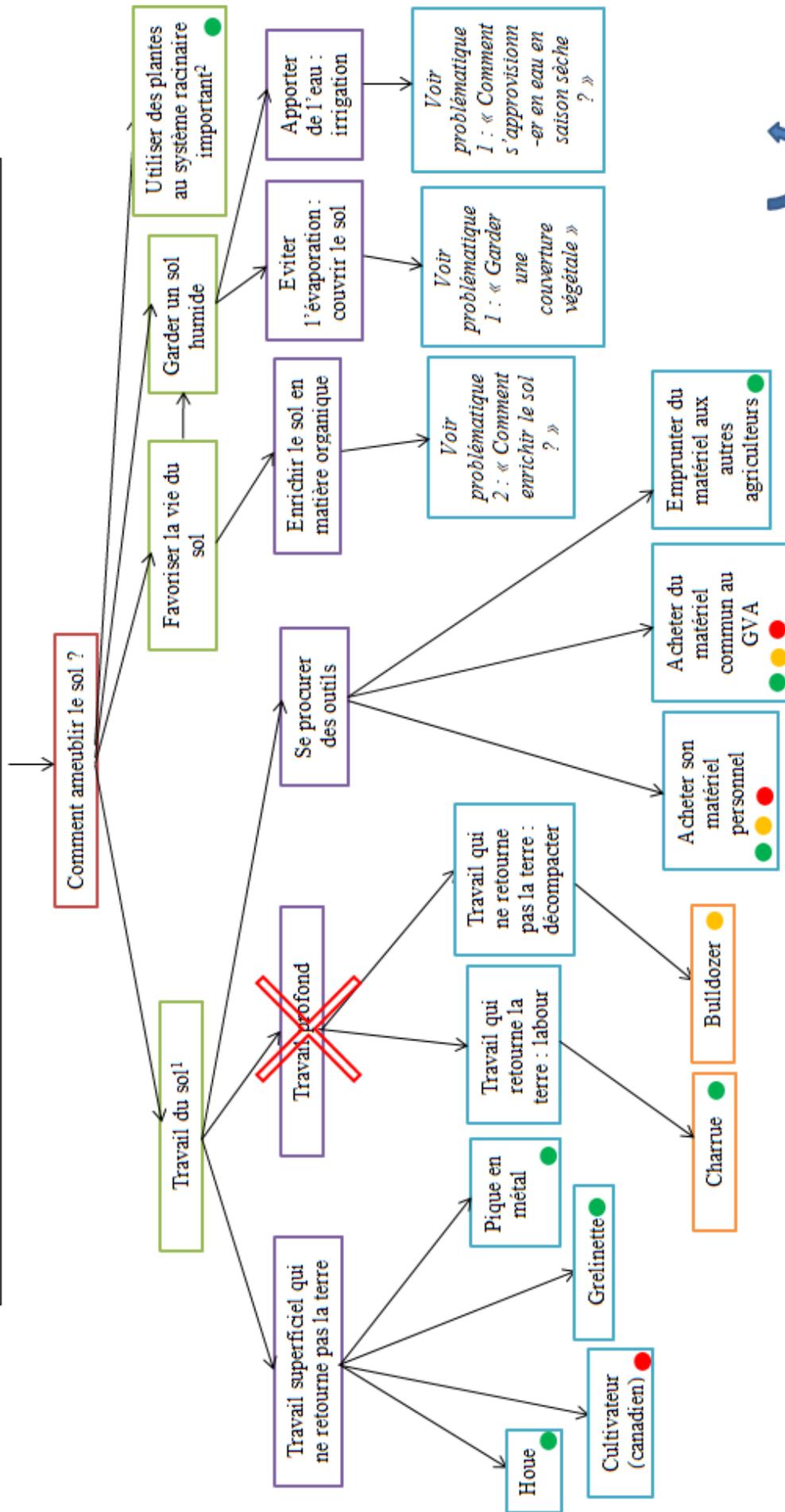
2. Ne pas utiliser de bois traité (privilégier ses propres arbres)



Suite sur la prochaine page

2) CARACTERISTIQUES DUSOL

Comment améliorer le sol en tenant compte de son appauvrissement, de son manque de profondeur, de sa dureté, des rotations et jachères, des effets néfastes de la monoculture et de l'intensification afin de lui redonner de la vie ?



1. En fin de saison sèche, avant la plantation ; concentré sur zone de plantation (pas de sarclage sur toute la micro-parcelle) ; attention son effet sur l'érosion

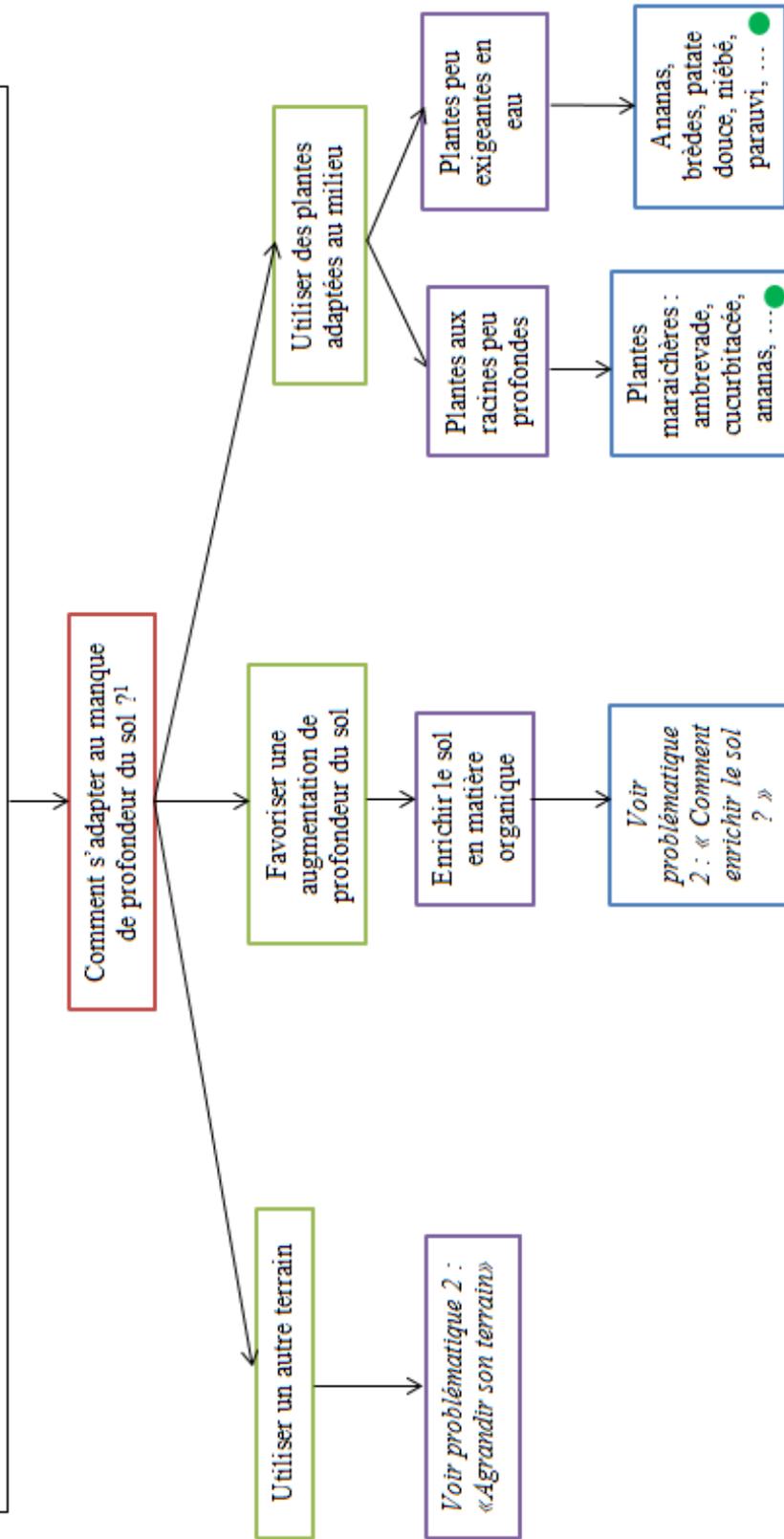
2. Exemples : palmiers, manguiers, moulimba (lantana), céréales, patate douce, moringa



Suite sur la prochaine page

2) CARACTERISTIQUES DUSOL

Comment améliorer le sol en tenant compte de son appauvrissement, de son manque de profondeur, de sa dureté, des rotations et jachères, des effets néfastes de la monoculture et de l'intensification afin de lui redonner de la vie ?

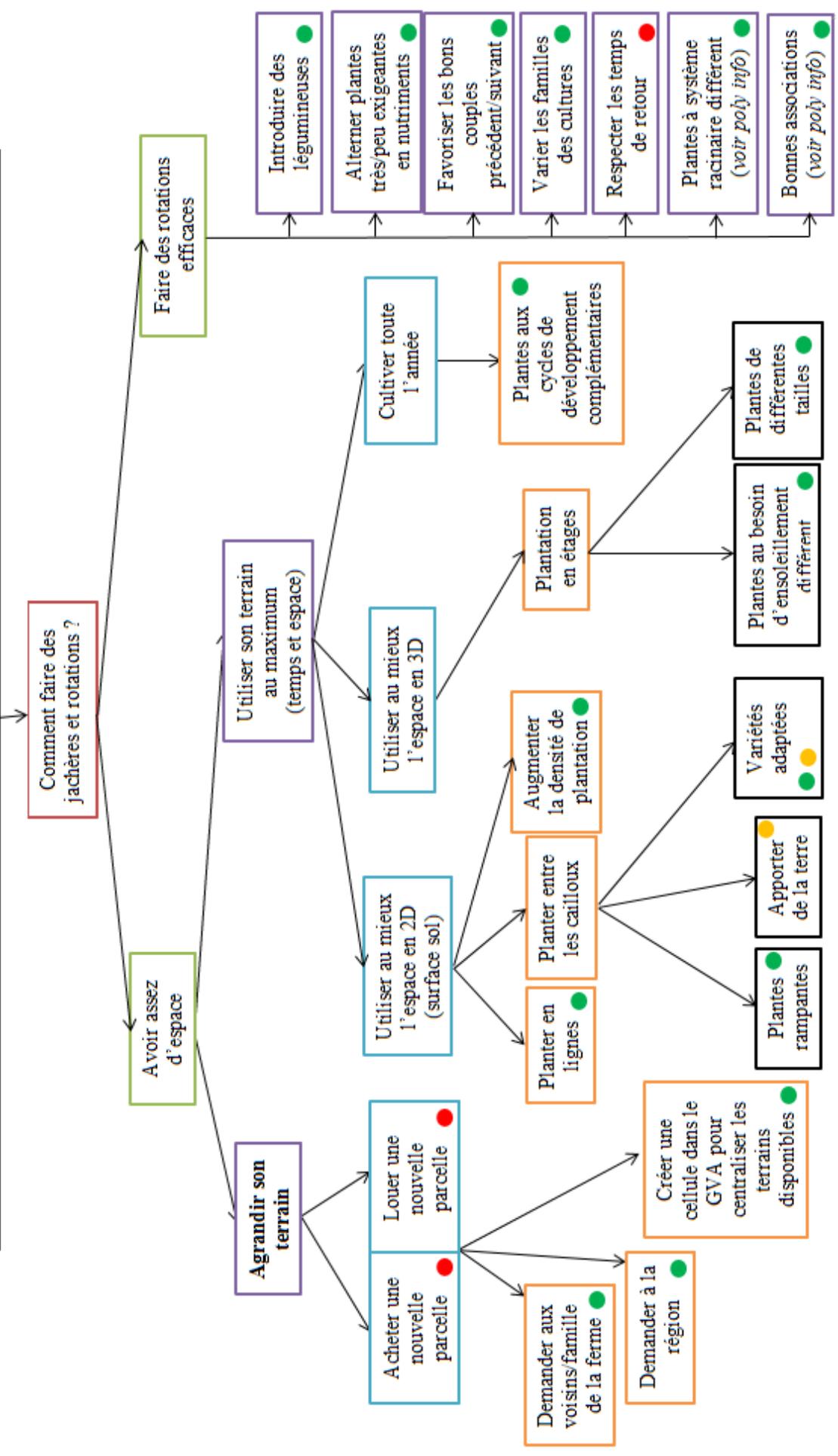


1. Vatousic (sol peu profond) : roche mère à faible profondeur de nature poreuse (vatousic humide) ou non (vatousic sec)



Suite sur la prochaine page

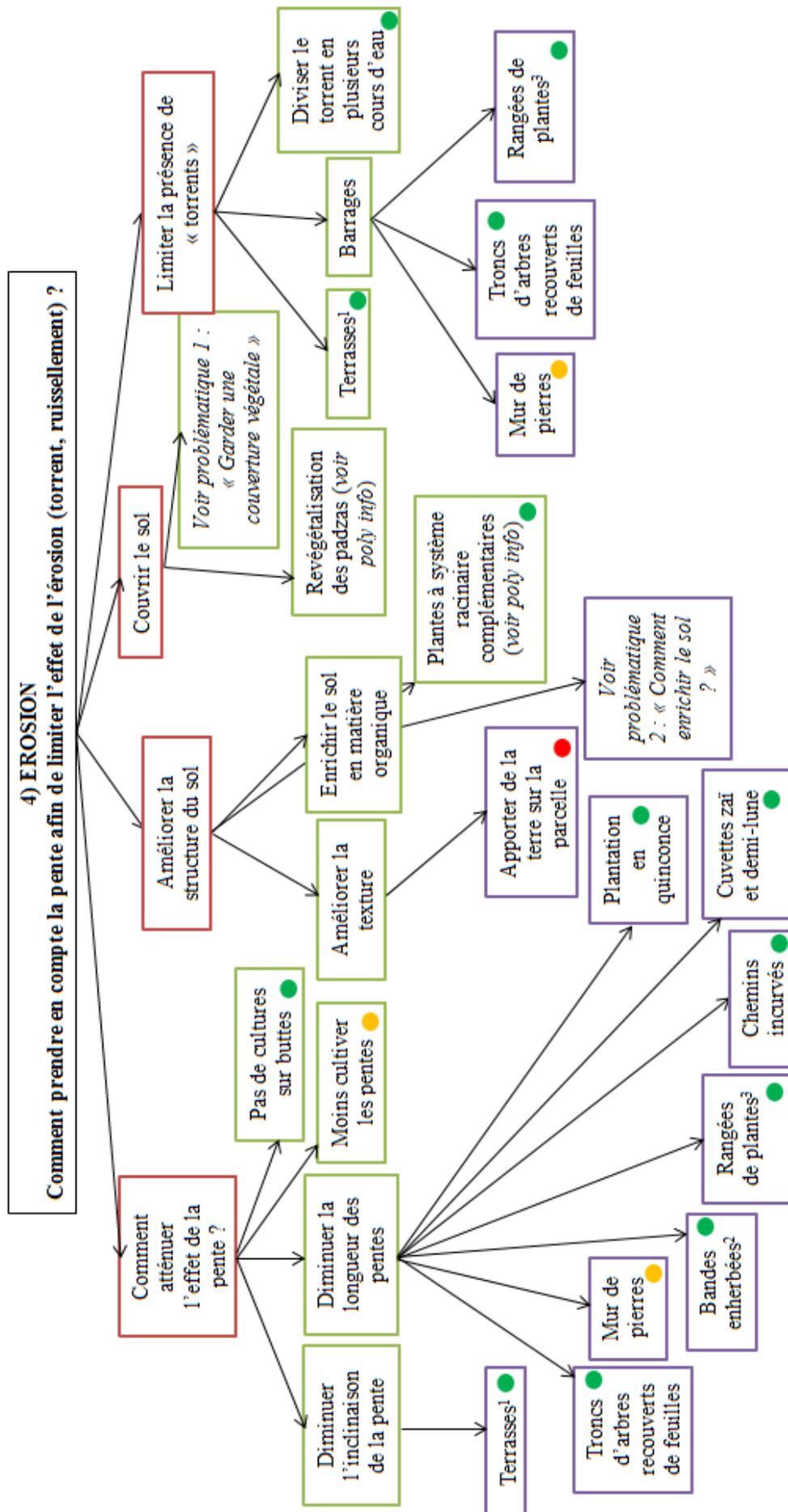
2) CARACTERISTIQUES DUSOL
Comment améliorer le sol en tenant compte de son appauvrissement, de son manque de profondeur, de sa dureté, des rotations et jachères, des effets néfastes de la monoculture et de l'intensification afin de lui redonner de la vie ?



3) SOL NU
Comment protéger le sol pour qu'il ne soit jamais nu ?



*Voir
problématique
1 : « Garder
une
couverture
végétale »*



1. Avec fascines pour consolider les terrasses (bois ou feuilles de coco tressées) ; planter sur talus pour tenir la terre ; ne pas désherber le talus
2. 3 m de large, en amont des chemins ; autour parcelle ; graminée : *Chrysopogon zizanioides* ou gazon naturel
3. Sur plusieurs niveaux ; arbustes, arbres (fruitiers pour les ravines), ananas, canne à sucre, moringa (bandes végétalisées)

(Création personnelle)

a) Manioc

1. Préparation du terrain

Désherbage : Couper les adventices le plus bas possible et arracher celles qui risquent de repousser. Sarcler si présence de gazon. Les résidus sont séchés au sol dans la parcelle. Si la couche de résidus est trop épaisse, mettre le surplus en bord de parcelle.

Travail du sol : Juste avant la plantation, ameublir le sol sur 50 cm x 50 cm x 30 (profondeur) cm. Ceci permet d'aérer la couche dans laquelle se développeront les racines. Il n'est pas nécessaire de former une butte.

2. Implantation

Période : Début de saison des pluies (octobre/novembre)

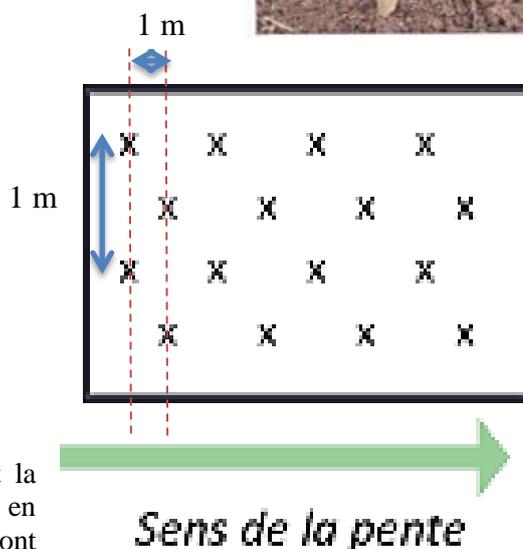
Bouturage : Utilisation des boutures saines, bien lignifiées, de l'année précédente et de 20/30 cm de long avec au moins 5 yeux. S'il est planté tôt, faire une bouture courte pour qu'elle ne sèche pas au soleil. Enfouir en oblique les 2/3 (ou plus selon les pluies) de la bouture dans le sol, les yeux vers le haut et la coupure en biseau vers le bas.

Remplacer au bout de 2/3 semaines environ après plantation les boutures qui n'auraient pas bourgeonné.

Disposition : Planter en lignes, en quinconce.

Densité de plantation :

10 000 plants/ha = 1 plant/m² (1 m entre plants sur la même ligne, 1 m entre les lignes)



3. Entretien de la culture

Gestion des adventices : Désherber deux fois pendant la saison des pluies (décembre/janvier et mars/avril) en coupant les adventices le plus bas possible. Elles sont arrachées uniquement lorsque cela est nécessaire. Les résidus de désherbage sont laissés au sol.

4. Récolte

Période : 6 à 12 mois après la plantation selon la variété.

Fréquence : récolte unique (arrachage du pied).

Gestion des résidus de récolte : laissés au sol en dehors de la parcelle

b) Banane

1. Préparation du terrain et du rejet

Désherbage : Couper les adventices le plus bas possible et arracher celles qui risquent de repousser. Les résidus sont laissés au sol dans la parcelle. Si la couche de résidus est trop épaisse, mettre le surplus en bord de parcelle.

Parage du rejet : Le parage permet d'assainir les rejets avant la plantation et de limiter le développement de parasites sur la parcelle (nématodes et charançons notamment). Lorsque le rejet est dégagé du pied mère : enlever la terre, les racines et les parties nécrosées au chombo de manière à obtenir un bulbe blanc. Les bulbes présentant des galeries de charançons ou des nécroses doivent être éliminés.

2. Implantation

Période : Début de saison des pluies (octobre/novembre)

Bouturage : Utilisation des rejets sains.

Le trou de plantation doit être de dimension 40 cm x 40 cm x 40 cm. Ceci permet d'aérer la couche dans laquelle se développeront les racines. On sépare en deux la terre dégagée (terre profonde / terre de surface). Les premiers 20 cm sont ensuite remplis de terre de surface. On place le rejet préalablement paré dans les 20 cm supérieurs. On comble le trou avec la terre profonde.

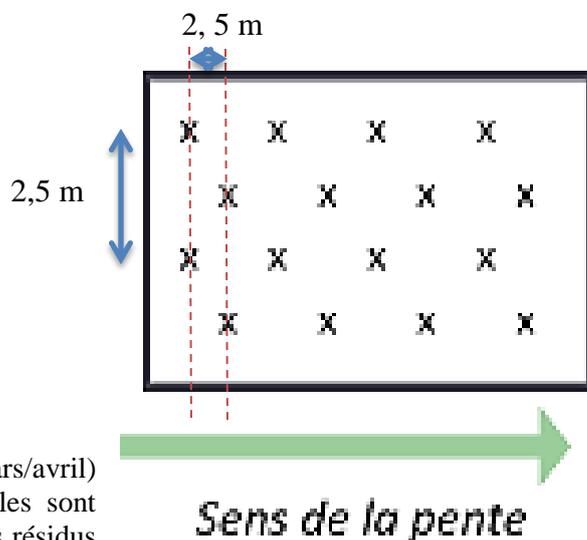
Le rejet paré ne doit pas être planté au-delà de 2 jours après sa préparation car il risque d'avoir du mal à se développer. Cependant, il donnera des rejets vigoureux. Si le plant est séché quelques jours avant la plantation, il doit être placé debout et à l'ombre.

Disposition : Planter en lignes, en quinconce.

Densité de plantation :

1 600 pieds/ha = 0,16 pieds/m²

(2,5 m entre pieds sur la même ligne, 2,5 m entre les lignes)



3. Entretien de la culture

Gestion des adventices : Désherber deux fois pendant la saison des pluies (décembre/janvier et mars/avril) en coupant le plus bas possible les adventices. Elles sont arrachées uniquement lorsque cela est nécessaire. Les résidus de désherbage sont laissés au sol.

Il est nécessaire de laisser un espace sans adventices de 20 cm autour du pied quelle que soit la saison afin d'éviter une concurrence vis-à-vis des ressources du sol. Si le bananier est cultivé en association, laisser 50 cm minimum.

Paillage : En saison sèche, le pied du bananier doit être paillé avec des résidus de désherbage afin de conserver un maximum d'humidité dans le sol.

Coupe de la fleur mâle : Couper la fleur 3 semaines après la sortie des fruits permet de gagner 1 à 2 kg sur le poids du régime final.

Effeuillement : Pour donner un régime de qualité, le bananier doit comporter 7 feuilles vertes saines. Il faut impérativement couper toutes les feuilles mortes ou attaquées, qui permettent la conservation des agents pathogènes sur le plant. Les feuilles pourront être utilisées en paillage, face supérieure sur le sol pour limiter la propagation des spores dans le cas de la cercosporiose noire.

Gestion des touffes : Dans un objectif de production de qualité, laisser au maximum 3 pieds par touffe (enlever les rejets à partir de 3 mois). Au-delà de 5 pieds par touffe, les rejets sont en compétition pour les ressources du sol et fournissent des régimes beaucoup moins gros.

4. Récolte

Période : 6 à 11 mois après la plantation selon la variété et l'âge du rejet.

Fréquence : Après la récolte du régime, la pousse principale périclite, c'est à partir d'un rejet latéral qu'un nouveau cycle de culture redémarre. Un bananier ne produit qu'un seul régime à la fois, d'où l'importance de le couper après la récolte pour laisser la place au suivant. Les souches produisent pendant cinq ans. Au-delà, il faut replanter à partir d'un rejet latéral prélevé sur un plan sain.

Gestion des résidus de récolte : Laissés au sol

(Chambre d'agriculture Martinique, 2007a, 2007b; Lycée agricole de Coconi et al., 2014; Soulezelle and Dessauw, 2016)

Annexe 14 : Récupération d'eau de pluie : la quantité d'eau récoltée est-elle suffisante pour combler les besoins des cultures ? Détails des calculs

Eau de pluie stockée disponible en saison sèche		Agriculteur 8	Agriculteur 6	Remarques
Pluviométrie annuelle moyenne		1441		Source : Météo France, 2016
Pluviométrie saison humide moyenne (mm/an ou L/m ² /an)		1224,85		85 % de la pluviométrie annuelle moyenne Source : Pariaud, 2003
Surface du toit (m ²)		25	28	Possibilité de construction des agriculteurs
Eau récoltée en saison humide (L)		30621,25	34295,8	Pluviométrie saison humide moyenne x Surface du toit
Quantité d'eau nécessaire pour irrigation		Agriculteur 8	Agriculteur 6	Remarques
Nombre de jours/an avec besoin d'irrigation		150		5 mois/an (besoins non satisfaits : < 100 mm/mois) Source : Météo France, 2016
Banane	Besoin d'un pied (mm/jour ou L/m ² /j)	5		Source : Chambre d'agriculture Martinique, 2007
	Emprise (m ²)	1		Source : communication personnelle
	Besoin d'un pied (L/pied/j)	5		Besoin d'un pied (L/m ² /j) x Emprise
	Nombre de pieds irrigués (eau de pluie) année 1	30	0	3 répétitions (10 pieds/répétition)
	Besoin total en eau banane, année 1 (L)	22500	0	Nombre de pieds irrigués x Besoin d'un pied (L/pied/j) x Nombre de jours irrigation
	Besoin total en eau banane, année > 1 (L)	67500	0	3 pieds/touffe à partir de la 2e année Résultat année 1 * 3
Manioc	Besoin d'un pied (mm/jour ou L/m ² /j)	3,3		Source : Chambre d'agriculture Martinique, 2007
	Emprise (m ²)	0,5		Source : communication personnelle
	Besoin d'un pied (L/pied/j)	1,65		Besoin d'un pied (L/m ² /j) x Emprise
	Nombre de pieds irrigués	30		3 répétitions (10 pieds/répétition)
	Besoin total en eau manioc (L)	7425		Nombre de pieds irrigués x Besoin d'un pied (L/pied/j) x Nombre de jours irrigation
Besoin total manioc et banane (L/an), année 1		29925	7425	
Besoin total manioc et banane (L/an), année > 1		74925		
Bilan		Agriculteur 8	Agriculteur 6	Remarques
Eau de pluie stockée - besoins en eau (année 1) en L		696,25	26870,8	Excès d'eau récupérée : suffisamment d'eau pour l'essai
Eau de pluie stockée - besoins en eau (année > 1) en L		-44303,75		Déficit de plus de 44 000 L d'eau pour l'agriculteur 8 !

(Chambre d'agriculture Martinique, 2007a, 2007b; Météo France, 2016; Pariaud, 2003)

Annexe 15 : Composition des amendements organiques testés (ISB ou Indice de Stabilité Biochimique : relation étroite avec le coefficient isohumique k1, 0 (non stable) à 100 (très stable) ; coefficient équivalent engrais : utilisation en éléments fertilisants par les cultures, varie de 0 à 1, ex : 0,4 pour l'azote : 40 % de la quantité d'azote total apporté par la MO aura le même effet qu'un engrais l'année de l'apport ; MS : matière sèche ; MO : matière organique)

Nom amendement	fumier de caprins	compost de fumier de poulets de chair	compost de déchets verts
C/N	9 à 14	12,1	16,1
ISB	40 à 60	40 à 60	20 à 60
pH	7,8 à 8,5	7 à 8	7 à 8
Coeff eq engrais N	0,1 à 0,4	0,40	< 0,1
Coeff eq engrais P ₂ O ₅	1	0,65	0,5
Coeff eq engrais K ₂ O	1	1	1
Coeff eq engrais CaO	1	1	1
Coeff eq engrais MgO	1	1	1
Azote total (kg/t)	9,1	24,7	9,1
P total (P ₂ O ₅) (kg/t)	3,1	17,3	4,3
K total (K ₂ O) (kg/t)	13,9	19	5,8
Ca total (CaO) (kg/t)	5,5	23,1	20,9
Mg total (MgO) (kg/t)	3,1	5,3	9,0
Matières minérales (kg/t)	34,8	89,4	49,1
MS (kg/t)	377	683	547
MO (kg/t)	269	559	278
Valeur amendante (kg d'humus/t de produit)	140	300	200

(Chabalier et al., 2006)

Annexe 16 : Quantité de fertilisant à apporter en une année selon les cultures et les agriculteurs : détails des calculs

Sorties : Exportations		Agri. 10	Agri. 5	Agri. 1	Agri. 2	Remarques
Banane	Rendement actuel (kg/pied)	7	11	6	14	Source : Communications personnelles
	Objectif de rendement (kg/pied)	10,5	16,5	9	21	objectif : augmenter le rendement de 50 % (rendement actuel x 1,5)
	Exportations (kg/t de fruit et hampe)	0,47				Source : Lassoudière, 2007
	Besoin en P₂O₅ (kg/1 pied)	0,004935	0,007755	0,00423	0,00987	objectif de rendement x exportations/1000
Manioc	Rendement actuel (kg/pied)	5	7	1,5	6,5	Source : Communications personnelles
	Objectif de rendement (kg/pied)	7,5	10,5	2,25	9,75	Objectif : augmenter le rendement de 50 % (rendement actuel x 1,5)
	Exportations (en kg/t de racines)	2,3				Source : Roy and FAO, 2006
	Besoin en P₂O₅ (kg/1 pied)	0,01725	0,02415	0,005175	0,022425	objectif de rendement x exportations/1000
Entrées : Fertilisation		Agri. 10	Agri. 5	Agri. 1	Agri. 2	Remarques
Fertilisant		fumier de caprin (déjections + litière)		compost de fumier de poulet de chair (fientes + litière)	compost de déchets verts (déchets broyés)	Choix des agriculteurs selon les carences des sols mahorais
Composition en phosphore total (P₂O₅) (kg/t)		3,1		17,3	4,3	Source : Chabalier et al., 2006
Quantité de fertilisant à apporter (kg)						
Banane	1 pied	1,6	2,5	0,2	2,3	besoin en P ₂ O ₅ x 1000/composition en phosphore total (fertilisant)
	3 pieds	4,8	7,5	0,7	6,9	idem
Manioc	1 pied	5,6	7,8	0,3	5,2	idem

(Chabalier et al., 2006; Lassoudière, 2007; Roy and FAO, 2006, Communications personnelles)

Annexe 17 : Conseils de préparation et de stockage du fumier et du compost

FUMIER

L'ENFOUISSEMENT DIRECT DU FUMIER

Le fumier est un mélange de litière (par exemple : copeaux de bois) et de déjections d'animaux d'élevage (bovin, poule, caprin, etc). La matière organique est rapidement disponible pour les plantes mais la transformation en humus est faible.

Le fumier doit être enfoui profondément (25 à 30 cm) au moins 15 jours avant la plantation pour réduire les risques de brûlures sur les jeunes plants.



* Données issues d'une enquête menée chez 20 maraîchers en 2013

LE COMPOSTAGE PARTIEL DU FUMIER

Le compostage des fumiers (de 1 semaine à 6 mois) permet de diminuer les risques de contamination des cultures par les maladies. Le compostage commence par la formation d'un tas de fumier de 1 m de haut par 1 m de large, à l'abri du soleil et de la pluie (arbre ou feuilles de coco tressées). Le tas va chauffer et après 1 semaine minimum à 60-65 °C le fumier est prêt à être enfoui.

La forte demande en amendements organiques chez les maraîchers de Mayotte doit inciter les éleveurs à conserver les fumiers de leurs élevages. Pour une qualité optimale, les fumiers doivent être stockés dans des zones de stockage couvertes et étanches (avec dalle en béton, bassin de rétention des effluents et toit).

COMPOST

Le compost est constitué d'humus. Il possède des propriétés physiques et chimiques qui améliorent la structure, la texture, l'aération, la fertilité, la capacité de rétention en eau et l'écologie des sols.

Le compostage consiste à fermenter des déchets organiques en présence d'oxygène. Il doit se faire à l'abri du soleil et de la pluie. Le compost est prêt lorsqu'il dégage une bonne odeur de terre et est de couleur noir.

Le compost = Simple et peu coûteux

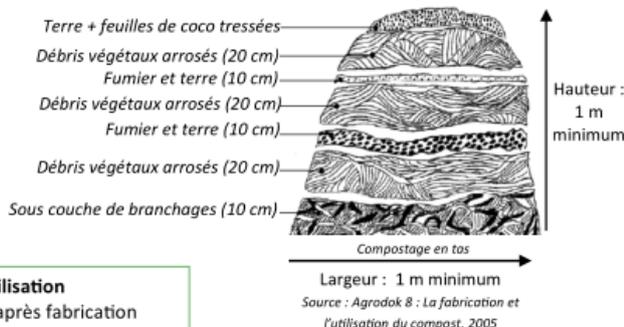
LE COMPOSTAGE EN TAS

<p>Débris végétaux Mauvaises herbes, feuilles mortes, déchets de récolte, etc.</p>	<p>Fumier Fumier de poule pondeuse, de bovin, de cheval, etc.</p>
<p>Contrôle de l'humidité (1 x / semaine) Trop humide --> trous avec un bâton Trop sec --> idem + arrosage</p>	<p>Retournement Toutes les deux semaines</p>

<p>Composition</p> <p>50 % matière sèche : feuilles, herbes sèches, etc</p> <p>50 % matière verte : fumier, déchets de récolte frais, herbe de tonte</p>

<p>Utilisation 3 à 6 mois après fabrication</p>
--

Exemple de formation d'un tas de compost en couches



LE COMPOSTAGE RAPIDE : LE FUMIER RÉCYCLÉ EN ANDAIN

Le fumier recyclé commence par la formation d'un andain de 1m de haut, 1 m de large et légèrement tassé. Il doit être à l'abri du soleil et de la pluie. Le contrôle de l'humidité se fait chaque semaine : si l'humidité est trop forte on place des bâtons dans l'andain, s'il est trop sec on l'arrose. Le retournement de l'andain s'effectue après deux semaines. Le fumier recyclé est utilisé après refroidissement complet de l'andain.

LE COMPOSTAGE TOTAL DU FUMIER

Pour un compostage total d'un andain de fumier, le retournement doit être répété toutes les deux semaines jusqu'à obtenir un amendement ressemblant à de la terre noire. Il est utilisable de 3 à 6 mois après formation.

Temps de compostage conseillé :

- **fumier de caprin** : le tas de fumier doit atteindre de façon homogène une température élevée (60 à 65 °C) pendant au moins une semaine (compostage partiel)
- **compost de fumier de poulet de chair** : au moins 3 mois de compostage
- **compost de déchets verts** : au moins 3 mois de compostage

(Chabalier et al., 2006; Lycée agricole de Coconi et al., 2013)

Annexe 18 : Script modèle et aide d'interprétation (en bleu : les conseils d'interprétation ; en rouge : les actions à réaliser sur R) pour un essai indépendant

```
# Ouverture des données - structure des données - analyses univariées#
#Fichier, changer le répertoire courant, sélectionner le dossier dans lequel le
#fichier csv est situé#
rm(list = ls())
getwd()
agril<-read.table("agril.csv",dec="," ,header=TRUE, sep=";" )
agril
attach(agril)
names(agril)
str(agril)
summary(agril)
boxplot (agril)

#Analyse du 1er indicateur en fonction du traitement#
mean(diam_ban)
var(diam_ban)
trait1<-agril[traitement=="témoin",]
trait2<-agril[traitement=="test",]
tapply(diam_ban,traitement,mean)
tapply(diam_ban,traitement,var)
par(mfrow=c(1,2))
hist(trait1$diam_ban,main="témoin - diam_ban")
hist(trait2$diam_ban,main="test - diam_ban")
par(mfrow=c(1,1))
plot(diam_ban, col=c('blue', 'red')[traitement], data=agril)

#Comparaison de moyennes deux à deux#

#Test de normalité des variables#
shapiro.test(trait1$diam_ban)
#si p-value > 0,05 : normalité de la variable // si p-value < 0,05 : non
normalité de la variable ; TCL : on considère la variable normale si n supérieur
ou égal à 30 (si n < 30 : pas de possibilité de continuer le test)#
shapiro.test(trait2$diam_ban)

#Test de comparaison des variances (homoscédasticité)#
var.test(trait1$diam_ban,trait2$diam_ban)
#si p-value > 0,05 : variances homogènes // si p-value < 0,05 : variances
hétérogènes#

#Test de comparaison des moyennes deux à deux#
#si variances homogènes : test de Student#
t.test(trait1$diam_ban,trait2$diam_ban,var.equal= TRUE)
#si variances hétérogènes : test d'Aspin-Welch#
t.test(trait1$diam_ban,trait2$diam_ban,var.equal= FALSE)
#si p-value > 0,05 : pas de différence significative entre les moyennes des
traitements comparés (pas d'effet significatif du facteur sur la variable
étudiée) // si p-value < 0,05 : différence significative entre les moyennes des
traitements comparés (effet significatif du facteur sur la variable étudiée)#

#Comparaison de tous les traitements en même temps : Anova (1 facteur)#

#Analyse de variance#
agri.aov<-aov(diam_ban~traitement)
anova (agri.aov)
#si p-value (Pr(>F)) > 0,05 : pas de différence significative entre les moyennes
des traitements comparés (pas d'effet significatif du facteur sur la variable
étudiée) // si p-value < 0,05 (Pr(>F)) : différence significative entre les
moyennes des traitements comparés (effet significatif du facteur sur la variable
étudiée) ; plus le nombre d'étoiles est élevé, plus l'effet est significatif#
```


#Analyse des résidus#

```
residus<-residuals(agri.aov)
shapiro.test(residus)
#si p-value > 0,05 : normalité de la variable // si p-value < 0,05 : non
normalité de la variable ; TCL : on considère la variable normale si n supérieur
ou égal à 30 ; si n < 30 : pas de possibilité de continuer le test#
bartlett.test(residus~traitement)
#si p-value > 0,05 : variances homogènes // si p-value < 0,05 : variances
hétérogènes ; refaire l'ANOVA en utilisant comme variable le log de la variable
étudiée ; si les variables des résidus restent hétérogènes, on ne peut pas
utiliser les résultats de l'ANOVA#
par(mfrow=c(2,2))
plot(agri.aov)
#vérification de la bonne spécification du modèle : graphique 1 (en haut à
gauche) : la courbe rouge doit être horizontale et comprise entre -2 et +2 (axe
des ordonnées) // QQ plot (en haut à droite) : doit former quasiment une ligne
// graphique 4 (en bas à droite) : l'amplitude des différents points doit être
assez proche#
```

#Classement des moyennes#

#Classement des moyennes - test de Tukey (test de comparaisons multiples)#

```
tukey.sum<-aov(diam_ban~C(traitement,sum))
TukeyHSD(tukey.sum)
plot(TukeyHSD(tukey.sum))
#si p-value (p adj)> 0,05 : pas d'effet significatif du facteur entre les deux
traitements (sur le graphique : la barre passe par 0) // si p-value (p adj)<
0,05 : effet significatif du facteur entre les deux traitements (sur le
graphique : la barre ne passe pas par 0)//On peut classer les traitements entre
eux selon les différences observées #
```

#Graphique de synthèse#

#Graphique de synthèse#

```
#Installer le package « multcomp » : Packages, Installer le package, France
(Lyon 2), multcomp#
```

```
library(multcomp)
summary(glht(agri.aov,linfct=mcp(traitement="Tukey")) )
grp1 = cld(glht(agri.aov,linfct=mcp(traitement="Tukey")) );grp1
grpbardiv=grp1$mcletters$Letters
m=aggregate(agri[,2],by=list(traitement),mean)
sd=aggregate(agri[,2],by=list(traitement),sd)$x
x11();bardiv=barplot(m$x,ylim=c(0,80),names.arg=m$Group.1,xlab="Traitements",yla
b="Diametre des
tiges");segments(bardiv,m$x,bardiv,m$x+sd);segments(bardiv,m$x,bardiv,m$x-
sd);text(bardiv,m$x+sd+3,grpbardiv)
abline(h=40,col=2);abline(h=70,col=3)
text(0.35, 38, "limitinf", col=2)
text(0.35, 68, "limitsup", col=3)
```

(Création personnelle)

Annexe 19 : Script modèle pour comparer tous les essais du réseau de fermes de référence

```
# Ouverture des données - structure des données- analyses univariées#
rm(list = ls())
getwd()
ferti<-read.table("fertilisation.csv",dec=",",header=TRUE, sep=";" )
ferti
attach(ferti)
names(ferti)
str(ferti)
summary(ferti)
boxplot (ferti)

#Analyse du 1er indicateur en fonction du traitement#
mean(diam_ban)
var(diam_ban)
trait1<- ferti [traitement=="temoin",]
trait2<- ferti [traitement=="caprin",]
trait3<- ferti [traitement=="compost_manguier",]
trait4<- ferti [traitement=="poulet_chair",]
tapply(diam_ban,traitement,mean)
tapply(diam_ban,traitement,var)
par(mfrow=c(2,2))
hist(trait1$diam_ban,main="témoin - diam_ban")
hist(trait2$diam_ban,main="caprin - diam_ban")
hist(trait3$diam_ban,main="compost_manguier - diam_ban")
hist(trait4$diam_ban,main="poulet_chair - diam_ban")
par(mfrow=c(1,1))
plot(diam_ban, col=c('blue', 'red', 'yellow', 'green')[traitement], data= ferti)

#Comparaison de moyennes deux à deux#

#Test de normalité des variables#
shapiro.test(trait1$diam_ban)
shapiro.test(trait2$diam_ban)
shapiro.test(trait3$diam_ban)
shapiro.test(trait4$diam_ban)

#Test de comparaison des variances (homoscédasticité)#
var.test(trait1$diam_ban,trait2$diam_ban)
var.test(trait1$diam_ban,trait3$diam_ban)
var.test(trait1$diam_ban,trait4$diam_ban)
var.test(trait2$diam_ban,trait3$diam_ban)
var.test(trait2$diam_ban,trait4$diam_ban)
var.test(trait3$diam_ban,trait4$diam_ban)

#Test de comparaison des moyennes deux à deux#
#si variances homogènes : test de Student#
t.test(trait1$diam_ban,trait2$diam_ban,var.equal= TRUE)
t.test(trait1$diam_ban,trait3$diam_ban,var.equal= TRUE)
t.test(trait1$diam_ban,trait4$diam_ban,var.equal= TRUE)
t.test(trait2$diam_ban,trait3$diam_ban,var.equal= TRUE)
t.test(trait2$diam_ban,trait4$diam_ban,var.equal= TRUE)
t.test(trait3$diam_ban,trait4$diam_ban,var.equal= TRUE)

#si variances hétérogènes : test d'Aspin-Welch#
t.test(trait1$diam_ban,trait2$diam_ban,var.equal= FALSE)
t.test(trait1$diam_ban,trait3$diam_ban,var.equal= FALSE)
t.test(trait1$diam_ban,trait4$diam_ban,var.equal= FALSE)
t.test(trait2$diam_ban,trait3$diam_ban,var.equal= FALSE)
t.test(trait2$diam_ban,trait4$diam_ban,var.equal= FALSE)
t.test(trait3$diam_ban,trait4$diam_ban,var.equal= FALSE)
```


#Comparaison de tous les traitements en même temps : Anova (4 facteurs)#

#Analyse de variance#

```
agri.aov<-aov(diam_ban~traitement)
anova(agri.aov)
```

#Analyse des résidus#

```
residus<-residuals(agri.aov)
shapiro.test(residus)
bartlett.test(residus~traitement)
par(mfrow=c(2,2))
plot(agri.aov)
```

#Classement des moyennes#

#Classement des moyennes - test de Tukey (test de comparaisons multiples)#

```
tukey.sum<-aov(diam_ban~C(traitement,sum))
TukeyHSD(tukey.sum)
plot(TukeyHSD(tukey.sum))
```

#Graphique de synthèse#

#Graphique de synthèse#

```
library(multcomp)
summary(glht(agri.aov,linfct=mcp(traitement="Tukey")))
grp1 = cld(glht(agri.aov,linfct=mcp(traitement="Tukey")));grp1
grpbardiv=grp1$mcletters$Letters
m=aggregate(ferti[,2],by=list(traitement),mean)
sd=aggregate(ferti[,2],by=list(traitement),sd)$x
x11();bardiv=barplot(m$x,ylim=c(0,100),names.arg=m$Group.1,xlab="Traitements",yl
ab="Diametre des
tiges");segments(bardiv,m$x,bardiv,m$x+sd);segments(bardiv,m$x,bardiv,m$x-
sd);text(bardiv,m$x+sd+3,grpbardiv)
abline(h=40,col=2);abline(h=70,col=3)
text(0.35, 38, "limitinf", col=2)
text(0.35, 68, "limitsup", col=3)
```

(Création personnelle)

Annexe 20 : Fiche de présence en travail collectif (les croix indiquent les agriculteurs présents)

Date	Sujet	Harithi Mahaboubi	Baban said	Jack	Bacar Moussa	Gaucher	Hamidouini Assani	Echati Soula	Chadhouli Ousséni	Oulia Ayouba	Adidja Chaaka	Abou Ali-Ada	Harouna Amada	Assani Maandhi	Total (sur 13)
25/06	Présentation des problématiques	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	11
28/06	Recherche de solutions	x	x	x	x		x	x	x			x	x		9
30/06	Recherche de solutions	x		x	x		x	x			x	x	x	x	9
13/07	Recherche de solutions						x	x	x	x	x	x		x	7
15/07	Recherche de solutions		x	x	x				x	x	x	x		x	8
16/07	Recherche de solutions	x		x	x	x						x		x	6
20/07	Recherche de solutions		x		x	x	x		x		x				6
22/07	Recherche de solutions		x	x	x		x	x	x					x	7
24/07	Recherche de solutions	x				x	x		x						4
27/07	Recherche de solutions		x				x		x		x	x		x	6
29/07	Diffusion de vidéos	x		x			x		x	x	x		x		7
31/07	Visites à Mtsangamouji			x		x	x		x	x					5
15/08	Apport d'informations			x	x	x									3
19/08	Conception des essais	x	x	x		x	x			x			x		7
20/08	Conception des essais	x		x		x	x								4
26/08	Conception des essais	x	x	x		x	x			x	x			x	8
27/08	Conception des essais	x	x	x		x	x			x	x				7
02/09	Conception des essais						x			x			x		3
03/09	Conception des essais			x		x	x			x					4
09/09	Conception des essais, bilan sur le projet		x	x		x	x							x	5
Nombre de réunions / personne (sur 20)		10	9	15	8	12	17	5	10	10	9	7	5	9	

(Création personnelle)

Annexe 21 : Bilan réalisé par les agriculteurs participant au projet

Question 1. Par rapport à vos attentes initiales, êtes-vous satisfait de cette expérience de travail au niveau personnel ?	
Réponses	<p>1 : Oui, ça m'a permis d'apprendre ce que les autres connaissaient. J'ai aussi pu comparer mes pratiques et mes rendements aux autres.</p> <p>2 : Oui.</p> <p>3 : Oui, parce que j'ai pu recueillir beaucoup d'idées.</p> <p>4 : Oui, j'ai appris des choses.</p> <p>5 : Oui.</p> <p>6 : Oui, tout à fait.</p> <p>7 : Oui, j'ai appris d'autres techniques de plantation.</p> <p>8 : Ça m'a donné des idées de travailler en groupe.</p>

Question 2. Par rapport à vos attentes initiales, êtes-vous satisfait de cette expérience de travail au niveau du collectif ?	
Réponses	<p>1 : Non, il a peu de personnes qui viennent aux réunions. Si les gens ne viennent pas, on doit revenir en arrière pour eux la fois d'après : on avance lentement.</p> <p>2 : Oui.</p> <p>3 : Oui, chacun apporte sa connaissance aux autres.</p> <p>4 : Oui, beaucoup d'idées apportées par tout le monde.</p> <p>5 : Oui, car tout le monde avance.</p> <p>6 : Oui, chacun a pu apporter ses idées.</p> <p>7 : Pas trop car il y a beaucoup d'absences.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

Question 3. Les réunions ont-elles été suffisantes et pertinentes ?	
Réponses	<p>1 : Oui, il y a eu assez de réunions mais le planning était trop contraignant. Les réunions se chevauchaient parfois avec des évènements importants au village (mariages, ...).</p> <p>2 : Oui, les réunions étaient nombreuses. Il y avait une discussion, c'était pertinent.</p> <p>3 : Oui il y avait assez de réunions et c'était intéressant. Par contre, c'était contraignant en termes de planning. J'avais d'autres choses à faire parfois.</p> <p>4 : Il n'y a pas eu assez de réunions. C'était bien de travailler en groupe.</p> <p>5 : Oui, il y en a eu assez. Mais à la fin, je ne pouvais plus y aller : je construis la maison de ma fille qui se marie bientôt. Le contenu était pertinent.</p> <p>6 : Oui, il y eu assez de réunions mais je n'ai pas pu toujours me libérer pour venir, c'est dommage.</p> <p>7 : Oui.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

Question 4. Les documents utilisés (présentation powerpoint, photocopiés, vidéos) et les visites ont-ils été pertinents ?	
Réponses	<p>1 : Oui, car on voyait la théorie mais aussi la pratique. Des fois, on voit que du théorique, c'est difficile d'accepter les choses qu'on nous présente. Au cours des visites, j'ai pu vraiment voir les pratiques dont on a parlé, être appliquées. C'était intéressant de voir des choses à Mayotte et ailleurs dans le Monde.</p> <p>2 : Pas de réponse.</p> <p>3 : Oui, c'était pertinent. On pourra choisir ce qu'on va mettre en place chez nous après.</p> <p>4 : Oui, j'ai beaucoup aimé les visites, voir comment d'autres agriculteurs cultivent.</p> <p>5 : Oui. J'ai aimé voir comment d'autres agriculteurs de pays étrangers font pour cultiver. Ça donne beaucoup d'idées. Les visites étaient très intéressantes.</p> <p>6 : Oui, ça me donne beaucoup d'idées.</p> <p>7 : Oui.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

Question 5. Comment avez-vous perçu votre rôle d'acteur dans ce travail ?	
Réponses	<p>1 : C'était bien car souvent, au contraire, des techniciens viennent nous obliger à mettre en place du théorique. Vous nous avez obligés à faire sortir nous-mêmes les solutions. On discute pour trouver ensemble les solutions. Ça ne sort pas des livres. Et on partage les idées.</p> <p>2 : Je n'ai pas beaucoup participé car j'oubliais les rendez-vous des réunions.</p> <p>3 : J'ai aimé pouvoir participer et donner mon avis.</p> <p>4 : J'ai aimé participer.</p> <p>5 : Je voulais parler aux réunions mais parfois je n'osais pas car je maîtrise mal le français. Il faut déjà bien comprendre de quoi on parle avant de pouvoir participer.</p> <p>6 : Tout c'est bien passé pour moi.</p> <p>7 : Pas de réponse.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

Question 6. Pouvez-vous citer 3 points positifs de ce projet ?	
Réponses	<p>1 : Les photocopiés distribués (idées de légumineuses, ...). Les informations apportées sur les sols à Mayotte. Aborder la thématique du manque d'eau.</p> <p>2 : On a appris ce qu'on peut ou ne pas pratiquer. Souvent on a l'habitude de travailler avec Anthoumani : même s'il n'est pas là on peut avancer (mais il est indispensable pour traduire).</p> <p>3 : Se réunir pour apprendre.</p> <p>4 : Travail en groupe. Apprendre. On a vu des choses que je peux appliquer chez moi.</p> <p>5 : Le travail en groupe. Apprendre beaucoup de choses que je ne connaissais pas. Ce projet était intéressant en général, j'ai aimé participé.</p> <p>6 : Les connaissances apportées.</p> <p>7 : Voir de nouvelles techniques pour augmenter la production.</p> <p>8 : Le projet était bien en général.</p>

Question 7. Pouvez-vous citer 3 points négatifs de ce projet ?	
Réponses	<p>1 : On n'a pas eu le temps de concrétiser, de mettre en place les essais pendant le stage : est-ce que les gens vont vraiment faire ce qu'ils ont dit ? Le planning contraignant. Les absences aux réunions.</p> <p>2 : Pas de réponse.</p> <p>3 : Beaucoup d'absence aux réunions. Problèmes de planning : je n'ai pas pu me libérer pour venir.</p> <p>4 : Personne n'arrivait à l'heure aux réunions : ça laisse peu de temps pour la réunion ensuite.</p> <p>5 : La langue. Je n'ai pas pu venir à toutes les réunions.</p> <p>6 : Les agriculteurs du projet n'étaient pas assez sérieux ce qui a provoqué beaucoup d'absences.</p> <p>7 : L'absence des agriculteurs aux réunions et le manque de ponctualité.</p> <p>8 : Je ne comprenais pas toujours ce que l'on disait en réunions. J'aurais voulu qu'on me propose quelque chose de tout préparé à tester directement sur les parcelles.</p>

Question 8. Quelles améliorations auraient pu limiter ces points négatifs ?	
Réponses	<p>1 : Si les réunions étaient rémunérées les gens seraient plus venus. Tu aurais pu continuer à travailler avec nous sur le projet mais on n'a pas les moyens d'embaucher quelqu'un.</p> <p>2 : Pas de réponse.</p> <p>3 : On aurait pu mettre les réunions d'autres jours de la semaine.</p> <p>4 : Donner des punitions aux gens qui ne viennent pas à l'heure : devoir apporter des fruits pour tout le monde la fois suivante par exemple.</p> <p>5 : Je n'ai pas d'idées.</p> <p>6 : Je ne sais pas.</p> <p>7 : Il n'y pas de solutions pour moi.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

Question 9. Envisagez-vous, en dehors des essais, de mettre en œuvre certaines techniques discutées lors de ce projet ? Ou en avez-vous déjà mis en œuvre ?	
Réponses	<p>1 : Certaines techniques sont déjà utilisées à Mayotte. Je veux développer un autre type de production mais pas forcément utiliser les techniques que l'on a vues ensemble.</p> <p>2 : Oui, je vais utiliser des déjections de cabris.</p> <p>3 : J'ai déjà mis des choses en place : des barrières anti-érosives, je n'ai pas fait de brûlis.</p> <p>4 : J'ai déjà commencé à construire un banga pour récupérer l'eau. Je vais faire un compost.</p> <p>5 : Oui je vais mettre en place certaines choses chez moi : je vais cultiver plus de plantes différentes. Je ne me suis pas encore organisé pour mettre en place des techniques nouvelles.</p> <p>6 : Pour l'instant non.</p> <p>7 : Oui : je vais faire l'essai sur la papaye aussi.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

Question 10. Envisagez-vous la mise en place d'un dispositif collectif, similaire à celui réalisé, sur d'autres thématiques ?	
Réponses	<p>1 : Oui, c'est mon unique projet au GVA : travailler sur le problème de foncier. J'aimerais qu'on travaille sur la production de banane et manioc avec un terrain collectif où tous les agriculteurs produisent dessus car c'est cela qui manque aux agriculteurs.</p> <p>2 : Oui, sur le vol.</p> <p>3 : Oui sur le vol. Il faut trouver des solutions à ce problème.</p> <p>4 : Oui.</p> <p>5 : Oui, j'aimerais mais je ne sais pas sur quelle thématique.</p> <p>6 : Oui mais je ne sais pas sur quelle thème.</p> <p>7 : Oui, mais je ne sais pas sur quelle thème.</p> <p>8 : Pas de réponse.</p>

(Communications personnelles)



VetAgro Sup

Moreau, Camille, 2016, Restauration de la fertilité et limitation de l'érosion des sols : conception d'essais expérimentaux par une méthode de co-développement - Cas du GVA d'Acoua (Mayotte), 214 p., Mémoire de fin d'études, Lempdes, 2016.

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES:

- ◆ Groupement de Vulgarisation Agricole d'Acoua (GVA d'Acoua)

ENCADRANTS :

- ◆ Maître de stage : ABOU, Anthoumani (GVA d'Acoua)
- ◆ Tuteur pédagogique : BALARD, Eve

OPTION : Agronomie, Productions Végétales et Environnement

RESUMÉ

Suite aux dégradations des sols et aux baisses de rendements des cultures observées par les adhérents du GVA d'Acoua, l'association d'agriculteurs, située au Nord-Ouest de Mayotte, m'a confié la mission de trouver des solutions aux problématiques de ses membres en lien avec la fertilité des sols et l'érosion. Des expérimentations seront alors mises en place en milieu paysan pour tester différents facteurs d'amélioration.

Afin d'impliquer les agriculteurs dans cette démarche de changement et de rompre avec le modèle diffusionniste inefficace des actions de développement, c'est une méthode participative de co-développement inspirée de la « méthode Gerdal » qui a été utilisée pour trouver les solutions aux problématiques des agriculteurs et concevoir ensuite les essais expérimentaux.

Le résultat est positif puisque à l'issue de ce travail, neuf des treize agriculteurs faisant partie du projet se sont engagés à mettre en place des expérimentations au sein de leurs parcelles. Des essais d'irrigation, de fertilisation par amendements organiques et d'utilisation de plantes de couverture seront testés sur les deux cultures principales de l'île, la banane et le manioc. Ces essais, unifactoriels, seront poursuivis pendant au moins cinq ans, en intégrant une amélioration continue des protocoles.

Cette expérience, concrète et formatrice, a été bénéfique aux agriculteurs. Cependant, les résultats auraient pu être meilleurs dans une situation culturelle différente. La méthode utilisée n'est pas adaptée à un contexte où les participants ne parlent pas tous la même langue. De plus, une thématique plus importante pour les agriculteurs aurait favorisé leur motivation.

Mots clés : Mayotte, sol, fertilité des sols, érosion des sols, méthode Gerdal, co-développement