



ÉCOLE SUPÉRIEURE DES
SCIENCES AGRONOMIQUES



DEPARTEMENT
AGRICULTURE



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Agronomie



**INTEGRATION DE RANGS DE *Jatropha curcas* DANS LA CULTURE DE
MANIOC EN VUE DE REDUIRE L'ÉROSION HYDRIQUE**



Soutenu publiquement le 25 février 2011 par :
RAMONGOLALAINA Clarissien
Promotion AMPINGA (2005-2010)

Membre du jury

Président :

Dr. RAKOTONDRAVELO Jean Chrysostome

Examineur (1) :

Pr. RAZAFINDRAKOTO Marie Antoinette.

Examineur (2) :

Mr RAKOTO Benjamin

Tuteur :

Mme RAZAFINDRAMANANA Norosoa Christine

Remerciements

Ce travail de recherche n'aurait pas pu être mené à terme sans la collaboration et la participation de plusieurs personnes physiques et morales dont je tiens à remercier ici très chaleureusement. Tout d'abord j'exprime mon profond remerciement envers l'EnBW-fondation et l'Université de Hohenheim en Allemagne.

Ensuite, nous adressons notre profonde gratitude particulièrement à :

- Monsieur **RAKOTONDRAVELO Jean Chrysostome**, Docteur en Agro-économie, Maître de conférence, Enseignant chercheur et Chef du Département Agriculture à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), qui malgré ses nombreuses obligations, nous a fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance.
- Madame **RAZAFINDRAKOTO Marie Antoinette**, Professeur, Enseignant-chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), notre premier Examineur qui a fait l'honneur de nous accorder un peu de son temps pour examiner ce travail.
- Monsieur **RAKOTO Benjamin**, Enseignant Chercheur au Département Agriculture de l'ESSA, notre second Examineur qui nous a montré de la bienveillance et de la sympathie en acceptant avec spontanéité d'examiner ce mémoire.
- Monsieur **INGWERSEN Joachim**, Docteur en Géophysique du sol, Enseignant chercheur à l'Université de Hohenheim, notre encadreur technique qui nous consacrer une part de son temps pour la réalisation ce travail.
- Madame **RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA Norosoa Christine**, Ingénieur Agronome, Enseignant Chercheur au Département Agriculture de l'ESSA, notre Encadreur pédagogique qui, malgré ses multiples occupations, a encadré notre travail avec sérénité. Ses remarques, ses conseils et ses critiques constructives nous ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer également nos sincères remerciements à :

- Tous le corps enseignant et le personnel de l'ESSA et du Département Agriculture de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques,
- Tous mes amis des promotions Fanasina et Ampinga, surtout ceux du Département Agriculture, pour leurs sympathies tout au long de notre formation durant cinq ans,
- Personnel du laboratoire d'accueil surtout Madame EKELE Feiertag et Monsieur BAÜMGARTEN Hermann
- Tous les membres du Projet Jatropha-Madagascar, plus particulièrement Monsieur BEKKER Klaus, Madame BIRGITTE Bolinger et Monsieur PHILIPP Nuß.
- Toute ma famille.

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre 1: Synthèse bibliographique	4
1. Etat de connaissance sur l'érosion hydrique.....	4
11. Facteurs d'érosion hydrique.....	4
12. Processus d'érosion hydrique.....	6
13. Lutttes antiérosives.....	7
2. Etat de connaissance sur le <i>Jatropha curcas</i>	8
21. Caractéristiques du <i>Jatropha</i>	8
22. Utilisation de <i>Jatropha curcas</i>	9
23. Erosion hydrique et <i>Jatropha curcas</i>	10
3. Etat de connaissance sur le manioc	10
31. Généralité sur le manioc	10
32. Morphologie	11
33. Caractéristiques du manioc et érosion hydrique	12
Chapitre 2 : Matériels et méthodes	14
1. Zone d'étude	14
2. Dispositif expérimental et traitements étudiés.....	16
21. Dispositif d'érosion.....	16
22. Différents traitements étudiés	19
3. Mesures et prélèvements.....	20
31. Hauteur et intensité de la pluie.....	20
32. Taux de couverture végétale	20
33. Mesure des pertes en terre.....	21
34. Rendement du manioc	21
4. Analyse au laboratoire.....	22
41. Analyse granulométrique	22
42. Analyse de la teneur en carbone et azote.....	23
5. Traitement statistique	24
Chapitre 3 : Résultats et discussions	25
1. Résultats	25
11. Précipitation et intensité de la pluie	25

12.	Taux de couverture végétale du sol	26
13.	Pertes en terre.....	27
14.	Caractéristiques des sédiments.....	28
141.	Granulométrie	28
142.	Teneur en azote et en carbone	28
15.	Rendement du manioc	29
2.	Discussions.....	31
21.	Effets des <i>Jatropha curcas</i> sur les pertes en terre	31
211.	Effets sur la quantité des pertes en terre.....	31
212.	Effets sur les caractéristiques des sédiments.....	33
22.	Effets des <i>Jatropha curcas</i> sur le rendement du manioc	35
23.	Matrice de corrélations	36
24.	Limite du travail et recommandations	37
	Conclusion	39
	Références bibliographiques	41
	Annexes	47
	Annexe 1 : Répartition de la précipitation en plusieurs événements	47
	Annexe 2 : Dates de mesure du taux de couverture végétale	47
	Annexe 3 : quantité des pertes en terre par parcelle et par événement.....	48
	Annexe 4 : Texture des pertes en terre (pourcentage de chaque particule)	51
	Annexe 5 : Les teneurs en carbone et azote de la perte en terre	53
	Annexe 7 : le manioc dans la région de Haut Matsiatra.....	61

Liste des abréviations

°C : degré Celcius

C/N : carbone – azote ratio

ER : enrichissement ratio

ESSA : Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques

FOFIFA : FOibem-pirenena momba ny Fikarohan ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra

g : gramme

kg : kilogramme

L : litre

Mg : mégagramme ou tonne

ml: millilitre

mm : millimètre

mn : minute

PLAE : Programme de Lutte Anti-Erosive

s : seconde

Liste des figures

Figure 1. Triangle de la prédiction de l'érodabilité du sol d'après Yared (2003)	5
Figure 2. Carte de localisation de la zone d'étude (A, B et C sont les trois sites d'études)	15
Figure 3. Courbe ombrothermique de Gaussen de Ranohira.....	15
Figure 4. Dispositif expérimental d'érosion de trois sites d'étude (Clarissien, 2010).....	17
Figure 5: Une parcelle d'érosion (Clarissien, 2010).....	18
Figure 6: Pluviographe, RAIN-O-MATIC professionnel (Clarissien, 2010).....	19
Figure 7 : Représentation des trois types de traitements (Clarissien, 2010).....	20
Figure 8 : Pipette de Robinson (Clarissien, 2010).....	23
Figure 9. Cumul des précipitations durant la période d'expérimentation sur les trois sites étudiés.....	25
Figure 10: Fréquences des pluies et ces intensités dans chaque site	26
Figure 11. Evolution du taux de couverture végétale de chaque site.	26
Figure 12 : Pourcentage de sables, de limons et d'argile dans les sédiments.....	28
Figure 13: Moyenne par rang de la production fraîche du manioc obtenue.....	30

Liste des photos

Cliché 1. Mise en place d'une parcelle d'érosion à Amberomena Ouest (Prise de vue : Clarissien, 2009).....	18
Cliché 2 : Récupération des sédiments dans le canal collecteur: (i) ramassage et (ii) tamisage (Clarissien, 2010)	21
Cliché 3. Récolte de manioc (Clarissien, 2010).....	22

Liste des tableaux

Tableau 1. Cumul des pertes en terre, exprimé en $Mg.ha^{-1}$, durant la période d'expérimentation.....	27
Tableau 2 : Teneur en du azote ($g.N.kg^{-1}sol$) et carbone ($g.C.kg^{-1}sol$).....	29
Tableau 3: Rendements du manioc frais par parcelle, exprimé en $Mg.ha^{-1}$	29
Tableau 4 : Matrice de corrélation.....	37

RESUME

Le manioc est une culture vivrière porteuse de plusieurs régions de Madagascar, mais elle est favorable à l'érosion hydrique. Afin de réduire les effets de l'érosion hydrique, le *Jatropha curcas* plante cultivée principalement pour le biocarburant, était intégré dans le champ de manioc. L'étude a été menée dans la Commune de Fenoarivo sur 3 sites d'expérimentations A, B et C à pente respectivement 10%, 5% et 4%. Chaque site avait 3 traitements et 3 répétitions. Les traitements étaient T0 témoin à manioc pure, T1 à un rang de J.C. et T2 à 3 rangs de *Jatropha curcas*. La parcelle élémentaire était 20 m de long et 5 m de large, et était munie de canal d'érosion (5 m) en aval.

Les quantités des pertes en terre diminuent avec le nombre de rangs de *Jatropha curcas* dans le site C et surtout dans le site B, mais elles sont similaires pour les 3 traitements dans le site A ; celles des sites A et B sont similaires, et supérieures à celles du site C. Des analyses en laboratoire montrent que les textures des sédiments des 3 traitements ne sont pas différentes dans chaque site, et ont une forte proportion en fraction sableuse. Les teneurs en carbone et azote des sédiments du T1 et surtout du T2 sont faibles dans les sites A et B, mais elles sont similaire à celles du T0 dans le site C ; celles des sites A et B sont similaires, et inférieures à celles du site C. Les rendements du manioc des T1 et T2 sont élevés par rapport à ceux du T0 dans les 3 sites ; la production des maniocs proches des rangs de *Jatropha curcas* est élevée. Donc, l'intégration des rangs de *Jatropha curcas* dans la culture de manioc réduit les quantités des pertes en terre, et améliore le rendement de manioc.

Mots clés : *Jatropha curcas*, manioc, érosion hydrique, Fenoarivo, Haut Matsiatra, Madagascar.

ABSTRACT

The cassava is an asset food crop of several regions of Madagascar, but it is a culture prone to water-induced erosion. In order to reduce erosion effects, *Jatropha curcas* trees, plant cultivated mainly for bioenergy, were integrated in the cassava plots. The study was carried out on 3 sites A, B and C with different slopes 10%, 5% and 4% respectively. Each site was consisting of 3 treatments according to the *Jatropha curcas* row number in the cassava plot, to wit T0 control with cassava only, T1 one row of *Jatropha curcas* and T2 with 3 rows of *Jatropha curcas*. The plot was 20 m long and 5 m wide, and it had a collect trench on its width 5 m laid out on the downslope.

The soil loss quantities decrease with the *Jatropha curcas* hedges' number in the site C, and especially in the site B, but they are similar the 3 treatments in site A; those of site A and B are similar, and higher than those of site C. The soil analyses in laboratory shows that the soil loss textures of the 3 treatments are not different in each site and contain a high percentage of sand fractions. Furthermore, the carbon and nitrogen losses of the T1 and especially of the T2 are low in site A and site B; however they are close to those of the T0 in site C; those of site A and B are similar, and lower than those of site C. The cassava yields of the T1 and T2 are higher and the cassava close the *Jatropha curcas* hedges have a highest yield per tree in the 3 sites. Therefore, the integration of *Jatropha curcas* hedges in the cassava culture reduces the soil loss quantities and improves the cassava yield.

Key words: *Jatropha curcas*, cassava, water-induced erosion, Fenoarivo, Haut Matsiatra, Madagascar.

Introduction

1. Contexte général et problématique de recherche

La dégradation est la réduction de la capacité du sol à produire des bénéfices à partir d'une surface particulière utilisée sous une autre forme ménagée (Lynden *et al.*, 2005). L'érosion constitue une des principales sources de dégradation du sol dans le monde, sur le sol agricole, elle entraîne une dénaturation du sol par le décapage de l'horizon humifère en éléments nutritifs et des matières organiques (Foster and Dabney, 1995). D'après Robert & Steingel (1999), sur les 1214 millions d'hectare des sols dégradés, les 748 millions d'hectare sont détruits par l'érosion hydrique, soit environ 62 % du total de la superficie dégradée dans le monde. Les pays tropicaux sont les plus touchés, le climat chaud et humide ainsi que l'agressivité des pluies tropicaux (Hudson, 1973 ; Roose, 1976) permettent d'expliquer en grande partie la vulnérabilité des sols tropicaux à l'érosion hydrique. Madagascar n'échappe pas à cette situation. En effet, ce phénomène constitue une des sources de dégradations des champs de cultures pluviales en versant de collines appelés localement *tanety*.

Par rapport aux autres études antérieures à Madagascar sur l'érosion hydrique, la présente recherche accorde plus d'importance à l'étude de l'érosion hydrique sur le champ de culture de manioc dans la Région de Haute Matsiatra, Sous-préfecture d'Ambalavao et Commune Rurale de Fenoarivo. Etant donné que dans la frange ouest de la CIRAGRI de Fianarantsoa (Zones d'Ankaramena, Ambalavao Ouest, Ikalamavony), la culture de manioc a une importance notable dans la vie des paysans. D'après Bünner (2009), dans la Commune Rurale de Fenoarivo, la majorité des ménages ont une exploitation de manioc sur plus d'un hectare. Le résultat du compte d'exploitation des ménages montre également que la spéculation manioc est une culture porteuse. En effet, parmi les cultures vivrières, le manioc est le peu exigeant (Putthacharoen *et al.*, 1993, 1998 ; Iijima *et al.*, 2003), car il ne demande pas beaucoup d'entretiens, ni d'intrants agricole (Monographie de la région du Haut Matsiatra, 2003). Que ce soit à Madagascar ou ailleurs, la culture du manioc est souvent implantée dans des terrains en pente (Suyamto & Howeler, 2001). Or, il est reconnu que les terrains en pente sont plus vulnérables à l'érosion hydrique (Carreker *et al.*, 1978 ; Dunne *et al.*, 1991 ; Carroll *et al.*, 2000). Plusieurs études effectuées en Thaïlande ont rapporté que les pertes en terre sous culture de manioc sont deux à trois fois plus élevées que celles sous d'autres cultures pluviales (Putthacharoen *et al.*, 1998). Le problème majeur qu'il faut gérer au niveau du champ de culture de manioc est l'érosion hydrique.

L'introduction de *Jatropha curcas*, plante peu exigeante, dans le champ de culture de manioc a été proposée dans la présente étude pour réduire le risque d'érosion hydrique. Entre autre, le *Jatropha curcas* présente un intérêt environnemental, en tant que source d'énergie renouvelable. L'huile de *Jatropha curcas* est fortement sollicitée pour préparer le biocarburant dans les pays industrialisés depuis la crise énergétique de 1970 (Heller, 1996). Dans cette optique, depuis 1980, le gouvernement allemand soutien des projets de culture de *Jatropha curcas* dans quelques pays d'Afrique. Citons parmi tant d'autres le Cap Vert, le Tanzanie, le Mali et Madagascar.

À Madagascar, afin de tester l'effet du *Jatropha curcas* associé avec le manioc pour contrôler l'érosion hydrique, une expérimentation au champ a été menée entre fin novembre 2009 et février 2010 dans la Commune Rurale de Fenoarivo (Région de Hautes Matsiatra). La présente étude fait suite aux travaux de recherches entreprises par Fabienne (2009) et a été financée par la fondation EnBW. Fabienne (2009) a conclu que les effets de l'introduction des rangs de *Jatropha curcas* dans la culture de manioc sur l'érosion sont confus.

À partir de l'expérimentation au champ, nous avons essayé de répondre dans ce document la question générale de la recherche suivante : **l'intégration des *Jatropha curcas* dans le champ de culture de manioc contrôle-t-elle l'érosion hydrique ?**

2. Objectif et hypothèses de l'étude

Les objectifs généraux de cette étude sont (i) d'évaluer l'effet du *Jatropha curcas* sur le contrôle de l'érosion hydrique en tant que culture associée au manioc et (ii) de tester l'effet du *Jatropha curcas* sur l'amélioration de rendements du manioc dans la Commune Rurale de Fenoarivo.

Afin d'atteindre ces objectifs principaux, les trois hypothèses suivantes ont été émises :

- Première hypothèse : les pertes en terre sur les parcelles à monoculture de manioc sont plus élevées par rapport à celles à système de culture manioc- *Jatropha curcas*.
- Deuxième hypothèse : les traitements à trois rangs de *Jatropha curcas* sont meilleurs que les traitements à un rang.
- Troisième hypothèse : l'adoption de ce nouveau système de culture (association *Jatropha curcas* – manioc) améliore le rendement de la culture de manioc.

3. Structure du manuscrit

Ce mémoire de fin d'étude est organisé en trois chapitres bien distincts :

Chapitre 1 : une synthèse bibliographique qui concerne la généralité sur le processus d'érosion hydrique, les caractéristiques des deux plantes étudiés : *Jatropha curcas* et le manioc.

Chapitre 2 : une description des matériels et des méthodes adoptées pour répondre aux questionnements des recherches.

Chapitre 3 : une présentation des résultats suivis des discussions.

Chapitre 1: Synthèse bibliographique

1. Etat de connaissance sur l'érosion hydrique

D'une manière générale, le phénomène d'érosion hydrique correspond (i) au détachement des particules des sols suite à l'effet de *splash* (terme utilisé pour désigner le phénomène de rejaillissement des particules solides et de l'eau en toutes directions), (ii) au transfert de ces fractions mobilisées par le ruissellement et (iii) au dépôt de ces fractions transportées vers l'aval.

11. Facteurs d'érosion hydrique

Les caractéristiques de la précipitation, la nature du sol, la topographie du terrain, la couverture végétale et les activités anthropiques (Napier *et al.*, 2000) constituent les principaux facteurs prédisposant le phénomène d'érosion hydrique.

- **Caractéristiques de la précipitation**

L'énergie des gouttes de pluies est fonction de trois variables, à savoir : (i) l'intensité de la pluie « i », (ii) la hauteur de la pluie « h » et (iii) la période retour de gouttes de pluies « P » (Petan *et al.*, 2010).

Le ruissellement est fonction du débit de la pluie, de deux paramètres : la hauteur de la pluie et la durée de la pluie (Petan *et al.*, 2010). Le ruissellement correspond aux quantités de pluie qui ne s'infiltrent pas dans le sol (Gilley, 2005). En général, il se produit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité (i.e. la capacité d'infiltration) du sol (Pierce & Frye, 1998).

- **Nature du sol**

La susceptibilité des particules et des agrégats du sol au détachement est influencée par des caractéristiques du sol. La texture du sol, la teneur en matière organique, la structure, et la perméabilité ont une influence sur l'érodabilité du sol (Gilley, 2005).

Les sols argileux sont faiblement érodables, parce qu'ils sont résistants au détachement. Les sols à texture grossière tels que les sols sableux sont faiblement érodables, en raison du faible ruissellement quoique ces sols soient facilement détachables. Les sols limoneux sont les fortement érodables (Yared, 2003). L'érodabilité du sol par l'érosion hydrique est en relation avec la teneur en matière organique du sol. La matière organique réduit l'érodabilité parce qu'elle augmente l'infiltration et la résistance du sol au détachement. Les sols perméables et à structure améliorée ont une plus grande résistance à l'érosion (Le Bissonnais & Arrouays, 1997). L'érodabilité des sols en fonction de leurs textures pourrait être illustrée dans la Figure 1 ci-dessous.

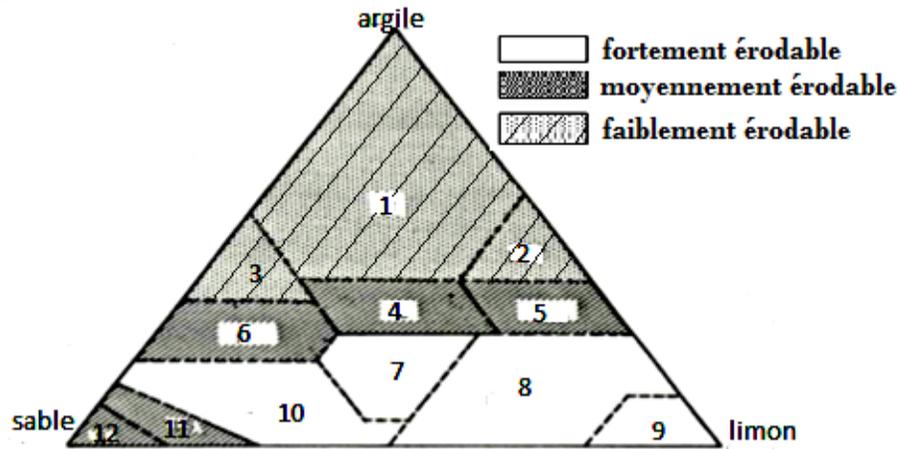


Figure 1. Triangle de la prédiction de l'érodabilité du sol d'après Yared (2003)

Légende :

(1) Sols argileux, (2) Sols limono-argileux, (3) Sols argilo-limoneux, (4) Sols argilo-limono-sableux, (5) Sols argilo-limoneux, (6) Sols argilo-sableux, (7) Sols sablo-limoneux, (8) Sols limoneux loameux, (9) Sols limoneux, (10) Sols limono-sableux, (11) Sols sableux loameux, (12) Sols sableux).

- **Topographie du terrain**

L'érosion est influencée par l'inclinaison et la longueur de la pente (Ward & Elliot, 1995). La vitesse du ruissellement devient plus grande à mesure que le degré de la pente augmente (Lal, 1999). Entre autre, une longue pente entraîne une accumulation du ruissellement. L'augmentation de sa vitesse et sa force (Napier *et al.*, 2000). Yared (2003) a catégorisé l'inclinaison de la pente comme suit :

- Une inclinaison de la pente entre 0-5% correspond à un faible risque d'érosion ;
- Une inclinaison de la pente compris entre 5-15% correspond à un risque modéré,
- Une inclinaison de la pente entre 15-30% correspond à un risque élevé, et
- Une inclinaison de la pente supérieure à 30%, le risque d'érosion est extrêmement élevé.

- **Couverture végétale**

Parmi les facteurs conditionnels de l'érosion hydrique, le couvert végétal est certainement le facteur le plus important pour contrôler l'érosion hydrique. Par son couvert, la végétation permet de diminuer l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de réduire ainsi l'effet splash (Aussenac, 1981 ; Bonnet, 1983 ; Woo *et al.*, 1997 ; Geddes et Dunkerley, 1999). Les système racinaires des plantes permettent de lutter contre le ruissellement et d'érosion hydrique en augmentant l'infiltration de l'eau dans le sol (Cerdà, 1998a) et en fixant les sols (Handel *et al.*, 1997).

- **Activités anthropiques**

Les activités anthropiques ont des influences notables sur l'érosion hydrique, elles favorisent ce phénomène. Elles s'agissent des pratiques agricoles inadéquates telles que la pratique de labour conventionnel, le surpâturage, le défrichement, le raccourcissement de la jachère etc. (Laflen *et al.*, 2000 ; Floret & Pontanier, 2001 ; Vägen *et al.*, 2006). Ces pratiques agricoles réduisent le couvert végétal, modifient les

caractéristiques physico-chimiques du sol (stabilité structurale, porosité, capacité d'infiltration, population microbienne, teneur en matière organique etc.), ce qui augmente l'érodabilité du sol agricole (Gilley, 2005).

12. Processus d'érosion hydrique

Le processus de l'érosion hydrique est un ensemble de mécanismes complexes, comprenant trois phases : le détachement, le transport et le dépôt.

Détachement : Emerson et Greenland (1990), Le Bissonnais et Le Souder (1995) ont identifié quatre principaux mécanismes de désagrégation du sol : (i) l'éclatement lors de l'humectation ; (ii) la désagrégation mécanique due à l'énergie dissipée lors de l'impact des gouttes de pluie ; (iii) la microfissuration produite par le gonflement différentiel des argiles ; et (iv) la dispersion physico-chimique qui résulte de la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales.

Transport : Le transport résulte de l'action conjointe des gouttes de pluie et du ruissellement (Kinnell, 1990). Quoi qu'il en soit, le ruissellement est l'agent principal de l'exportation des fragments de sol mis en mouvement sur une surface (Leguedois, 2003). Le mode de transport d'un fragment de sol dépend de sa masse et de ses caractéristiques (Moss *et al.*, 1980). Foster (1990) et Foster *et al.* (1995) ont utilisé le terme « capacité de transport » pour décrire la capacité du ruissellement à transporter des sédiments. Ce terme est utilisé de deux manières : la masse totale des sédiments qui peut être transportée par le ruissellement (g/l ou kg/m³) et la taille maximale des sédiments qui peut être transportée à un débit et vitesse d'écoulement donnés. La quantité de sédiments transportés dans un écoulement par unité de temps (kg/s) est égale à la concentration en sédiments (kg/m³) fois le débit (m³/s).

Les particules fines (le sable fin, le limon, l'argile) et la matière organique peuvent facilement être emportées lors du *splash* ; les gouttes des pluies plus fortes (dissipant plus d'énergie) et un plus grand ruissellement pourraient faire déplacer les plus grosses particules de sable et gravier (Arnold *et al.*, 1989).

Dépôt : Dès que la vitesse du ruissellement commence à diminuer, les premières fractions qui se déposent sont les plus grossières. Au fur et à mesure que la vitesse de l'écoulement diminue les fractions de tailles de plus en plus fines se sont déposées (Kinnell, 2000a). L'écoulement dans un cours d'eau représente donc une zone de tri sélectif dans laquelle il y a des zones de sédiments grossiers là où la vitesse d'écoulement est rapide et des zones de sédiments fins là où la vitesse d'écoulement est lente (Kinnell, 1990).

Le dépôt peut se faire à l'intérieur d'une parcelle sur le même versant, dans le fossé en limite de parcelle, sur la route, dans le ruisseau, dans la rivière, dans la mer... Très souvent les conséquences provoquées par le dépôt des sédiments dans les cours d'eau ont des impacts négatifs sur leurs propriétés

physico-chimiques, comme l'eutrophisation. Par définition, le phénomène d'eutrophisation est un entraînement de produits phytosanitaires en solution ou liés aux matières en suspension dans de cours d'eau. L'eutrophisation entraîne des perturbations physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème aquatique (Razo *et al.*, 2004; Hope, 2004 ; Haygarth *et al.*, 2005 ; Béliveau *et al.*, 2009).

13. Lutttes antiérosives

- **Aménagements physiques**

Les principes d'aménagement consiste à diminuer la vitesse du ruissellement, à favoriser l'infiltration de l'eau et à évacuer les eaux excédentaires que la zone aménagée ne peut pas absorber (Ruelle *et al.*, 1990). Pour les terrains à pente faible ou modérée, PLAE (2006) propose trois techniques :

- Les cordons pierreux : composés de blocs de pierre disposés selon une courbe de niveau tracée préalablement.
- Les ados en terre ou diguettes en terre: constituent un obstacle imperméable, ce qui entraîne fréquemment des concentrations d'eau en amont de l'ados.
- Les fascines en paille, en branches et en piquets de bois, sont surtout recommandées pour ralentir le ruissellement dans les passages d'eau lorsque les pierres ne sont pas disponibles.

Pour les terrains à forte pente, les eaux de ruissellement peuvent être canalisées par un fossé de diversion creusé juste au-dessus de la zone à aménager. Les eaux excédentaires, qui circulent dans la zone aménagée, peuvent être canalisées par des fossés à faible pente creusés en amont des ados ou des banquettes. Elles peuvent ainsi être évacuées vers les exutoires naturels.

Généralement, ces aménagements physiques sont renforcés par la plantation d'arbres, d'arbustes ou de graminées pérennes (Reij *et al.*, 1996).

Le travail du sol peut être également une pratique permettant de diminuer le ruissellement. En effet, il accroît la capacité de stockage de l'eau dans le sol pendant environ un mois après sa réalisation. Le labour accroît la rugosité du sol et limite la vitesse de ruissellement des premières pluies. Cet effet est encore plus remarquable lorsque le labour est réalisé en billons perpendiculairement à la pente (Turkelboom *et al.*, 1997). Mais la pratique du labour protège le sol d'une façon temporaire par rapport aux autres techniques physiques.

- **Aménagement biologique**

Bandes enherbées : disposées perpendiculairement à la pente, elles peuvent provenir du défrichement raisonné de la végétation naturelle lorsque le paysan met en culture une parcelle après une période de - l'ampleur. Elles fonctionnent comme un filtre (Le Bissonais *et al.*, 2002).

Lignes de graminées pérennes : des lignes de graminées pérennes peuvent constituer un ouvrage efficace contre l'érosion (Carl, 2005). Ce dispositif peut être associé avec une ligne d'arbustes épineux, généralement plus résistants à la sécheresse et au passage du bétail pour le renforcer.

Défrichement raisonné : les arbres peuvent aussi constituer un frein à l'érosion dans les zones cultivées. Les haies vives d'arbustes plantés à forte densité (50 cm entre deux pieds) constituent des barrières filtrantes qui ralentissent efficacement le ruissellement. Le maintien d'un nombre limité d'arbres dans les parcelles cultivées (20 à 40 arbres/ha placées en quinconces) limite l'érosion hydrique et participe au maintien de la fertilité des sols (Ruelle *et al.*, 1990).

Systèmes de culture en semis direct : la couverture permanente du sol est une façon très efficace de limiter l'érosion (Carl *et al.*, 2005). Les agronomes et les paysans dans diverses régions tropicales mettent au point des méthodes de culture sans travail du sol et avec une couverture végétale permanente du sol. Cette couverture peut être obtenue en laissant à la surface du sol les résidus de culture ou un *mulch* obtenu par l'installation d'une plante de couverture comme le *mucuna* ou le *pueraria*. Plusieurs études dans le monde ont déjà rapporté l'effet bénéfique des systèmes en semis direct pour contrôler l'érosion hydrique (Carroll *et al.*, 2000 ; Seguy *et al.*, 2001).

2. Etat de connaissance sur le *Jatropha curcas*

21. Caractéristiques du *Jatropha*

Le *Jatropha* est une plante qui a été très peu étudiée à Madagascar. Ainsi, il s'impose une nécessité de mettre en place la recherche fondamentale sur le *Jatropha curcas* à Madagascar (Henning, 2004). Cependant, il existe une certaine connaissance sur ce dernier (Henning, 2009) que nous avons essayé de développer dans ce paragraphe.

Le *Jatropha curcas* est une plante sauvage buissonnante, appartenant à la famille des Euphorbiaceae. Il peut atteindre jusqu'à 8 m de hauteur. Le *Jatropha* compte 177 espèces, parmi lesquelles se trouvent le *Jatropha curcas* et le *Jatropha Mahafalensis*. Ce dernier est endémique au sud de Madagascar et a aussi des graines oléagineuses. Il semble que le *Jatropha Mahafalensis* soit mieux adapté que le *Jatropha curcas* en climat aride. Malheureusement, le *Jatropha Mahafalensis* n'est pas bien documenté que le *Jatropha curcas* (Freudenberger, 2006). Le *Jatropha curcas* résiste aux longues périodes de sécheresse, ceci est attribué au fort pouvoir de rétention d'eau de son tronc et à leurs systèmes racinaires profonds. Lors de la conférence internationale «JATROPHA WORLD 2008» sur le *Jatropha curcas*, il a été déduit que pour produire des fruits, il faut une précipitation minimale d'environ 600 mm par an, voire 800 mm par an si on veut obtenir une production plus rentable.

D'après Henning (2002 et 2004), le *Jatropha curcas* est favorable pour des sols à pH entre 6 à 8. Le *Jatropha curcas* pousse également sur des sols dégradés, mais les sols plus riches ont une influence nettement positive sur le rendement. L'apport d'engrais organiques ou minéraux favorise la croissance et la concentration en huile du *Jatropha curcas*.

Sur les Hauts Plateaux et dans les régions plus arides du Sud de Madagascar, la multiplication par graines donne un meilleur résultat. Dans les régions de l'Ouest ou de l'Est de Madagascar, la multiplication par boutures a donné de bons résultats (Üllenberg, 2007). Ce dernier mode de multiplication a aussi un avantage tel que la plante croît plus rapidement et donne des fruits plus tôt.

Par la multiplication végétative, le système racinaire est fortement développé (une racine pivotante et quatre racines latérales fortes). Ainsi, cette mode de multiplication paraît plus apte pour la protection antiérosive (Rockefeller, 1998). D'ailleurs, la plante développe une racine pivotante qui peut explorer jusqu'à 7 m dans la profondeur (Üllenberg, 2007).

Lorsqu'on procède à la transplantation, les jeunes plants doivent être suffisamment robustes. Il est généralement recommandé de ne pas transplanter les jeunes plants avant 3 mois (Henning, 2004). Le semis-direct semble être la technique plus économique d'effectuer une multiplication. Mais, il est aussi la plus risquée puisque la semence est sensible aux attaques des insectes et organismes nuisibles (Bonnet, 2008). Les plantes plus âgées, par contre, résistent généralement aux attaques des insectes nuisibles ou aux feux de brousse (Henning, 2009).

22. Utilisation de *Jatropha curcas*

Le *Jatropha curcas* fut introduit à Madagascar au 17^{ème} siècle, probablement par les Portugais. Initialement, les graines de *Jatropha curcas* contiennent 27 à 40 % d'huile. L'huile n'est pas comestible, voire toxique (à cause de sa teneur en ester phorbélique) mais largement utilisé à d'autres fins. En effet, l'huile fut utilisée à l'échelle industrielle pour la production de savon (« savon de Marseille »), les produits secondaires ont été utilisés pour la production de la cire. Par ailleurs, l'huile a été utilisée directement comme carburant des moteurs diesels ou mélangée avec l'huile d'origine fossile (Henning, 2002). Ce mode d'utilisation fut le plus répandu pendant la 2^{ème} guerre mondiale.

Les graines de *Jatropha curcas* (sans écorce) sont utilisées comme bougie ; l'huile extraite des graines par cuisson est utilisé à des fins cosmétiques. Dans le domaine de l'agriculture, il y a de nombreuses utilisations de la plante de *Jatropha curcas*. Les résidus de l'extraction d'huile sont utilisés comme engrais (Üllenberg, 2007 ; Bonnet, 2008). Les plantes entières sont utilisées comme haie de protection contre les feux de brousse, haie de clôture des fermes, des champs ou du « parc à boeuf ». Elles sont

utilisées aussi pour la délimitation des propriétés, pour être tuteur des plantes de vanille et de poivre, surtout au nord-est du pays (Henning, 2009).

23. Erosion hydrique et *Jatropha curcas*

Heller (1996), Gübitz et al. (1997), et Henning (2002) ont rapporté que les «haies vives» ou les rangs des *Jatropha curcas* luttent contre l'érosion éolienne et l'érosion hydrique. Les racines de la plante se développent tout près de la surface du sol, fixant le sol comme des buttes. Ces digues ralentissent effectivement le ruissellement et favorisent l'infiltration. De plus, le tourteau, résidu obtenu après l'extraction de l'huile, est un engrais organique de haute qualité (Henning, 2002). Cet engrais contient une composition minérale semblable à celle du fumier de poules. Ce sous-produit a donc une grande valeur pour l'agriculture.

Le Programme de Lutte Anti-Erosive (PLAE) travaille à Madagascar depuis le début de l'année 2008 sur 5 sites (Marovoay, Soavina, Bezaha, Ambanja et Andapa). Il soutient des travaux de lutte antiérosive. Dans ce contexte, PLAE encourage la culture de *Jatropha*, qui s'est avéré utile dans la réduction des érosions hydrique et éolienne. La plantation de *Jatropha* renforce les mesures prises pour la lutte contre l'érosion. Outre ses caractéristiques positives de blocage de l'érosion (aussi bien l'érosion du vent que celle de l'eau), le *Jatropha curcas* a été choisi, non seulement parce qu'il est déjà connu et accepté par les paysans, mais aussi parce qu'il améliore la qualité du sol à long terme. De plus, elle donne aussi aux paysans la possibilité d'avoir des revenus supplémentaires, grâce à l'exploitation des graines (Henning, 2009).

3. Etat de connaissance sur le manioc

31. Généralité sur le manioc

- **Description**

Le manioc ou « *Manihot sp* » est une plante originaire du Venezuela. Il est largement répandu dans tous les pays de climat tropical humide et équatorial. Le manioc est une plante arbustive pérenne de certaines dizaines de centimètres à quatre mètres de hauteur. Une ou plusieurs tiges principales se développent simultanément sur la bouture. Leur nombre, caractéristique de la variété, est modifié par la qualité et le mode de plantation des boutures. Selon les milieux, le nombre de tiges et les types de ramification conditionnent en partie le choix des techniques culturales : écartement entre plants, pratique et nature des associations culturales (Carter *et al.*, 1992).

Une bouture émet des racines au niveau des nœuds en contact avec le sol humide (racines nodales) et à la base (racines basales, plus nombreuses). Le nombre potentiel de racines diffère selon les variétés.

Chaque racine primaire est un site potentiel de stockage des réserves amyloides et commence à accumuler de l'amidon sur un secteur dès les premières semaines (Izumi & Iijima, 2002).

Les feuilles sont palmées. Le pétiole (1 à 25 cm de long), le nombre de lobes (un à treize), leur forme et l'orientation générale du limbe sont des critères de différenciation variétale. Le nombre de lobes peut évoluer au cours du temps : faible au début, il est au maximum entre trois et six mois pour devenir unique à la fin du cycle (Raffaillac, 1996 ; Izimi *et al.*, 1999).

Etant une espèce monoïque, les fleurs unisexuées sont groupées en inflorescences avec des fleurs mâles au sommet et femelles à la base. La fécondation est facile à contrôler. Le fruit est une capsule qui libère trois graines. Le genre *manihot* contient trente-six chromosomes (Izimi *et al.*, 1999).

Le manioc est cultivé dans toute la zone intertropicale avec des régimes pluviométriques à une ou deux saisons des pluies et des pluviosités annuelles variant de 600 mm à 4000 mm. La température minimale est de 12°C, le taux maximum de croissance se situe entre 25 et 29°C (Carter *et al.*, 1992)

- **Utilisation**

Le manioc est essentiellement cultivé pour ses racines. Il existe deux principales variétés, le manioc amer (*Manihot utilissima*) et le manioc doux (*Manihot opi*). Le premier sert à l'alimentation de millions d'Hommes, bien qu'il renferme une toxine : la manihotoxine, qui s'élimine par simple rouissage. En effet, le manioc est parmi les plantes qui font parties des aliments de base des pays tropicaux (Kawano *et al.*, 1978). Le manioc amer, cultivé en plantations, donne le tapioca. Le Brésil, mais aussi le Nigeria, la Thaïlande, le Zaïre et l'Indonésie sont les principaux producteurs de manioc dans le monde (Raffaillac, 1996).

32. Morphologie

- **Mode de plantation**

L'installation de la bouture se fait sur sol humide (Howeler, 1987): horizontalement sous 4 à 15 cm pour des sols lourds argileux car les racines sont sensibles à l'excès d'eau ; à l'oblique ou verticale (enfoncée au deux tiers en respectant la polarité haut/bas) sur des sols légers sableux pour assurer l'émission plus en profondeur des racines basales. La coupe de la base en biseau combinée à une plantation oblique regroupe les racines sur un même secteur et implique ensuite un regroupement des tubercules (arrachage facilité) ; une coupe droite avec une plantation verticale donne des racines en rayon autour du plant.

Le buttage ou le billonnage évite l'engorgement du sol et concentre la couche supérieure humifère. Lorsque la qualité des boutures est insuffisante, une même butte peut en porter deux ou plus pour améliorer la reprise (Cock, 1985).

La densité de plantation varie de quelques milliers à 12.000 plants.ha⁻¹ en culture traditionnelle (pure ou associée), sans régularité des distances. Elle se situe entre 10 000 et 20 000 plants.ha⁻¹ en systèmes

intensifs (1 m entre les lignes ; 0,5 à 1 m entre les plants) (Raffaillac, 1996). La disposition en ligne facilite la pénétration des parcelles (sarclages) et la culture associée, car elle limite la casse des jeunes tiges fragiles (Howeler *et al.*, 2004).

- **Entretien**

La couverture du sol sous la culture de manioc est lente, et un à trois sarclages manuels sont nécessaires. La lutte contre les adventices se fait par le choix variétal (floraisons précoces), la culture associée, la densité de plantation. Les traitements chimiques sont rares (trifluraline, oxyfluorène) (Raffaillac, 1996).

- **Fumure**

Elle est peu pratiquée en milieu traditionnel. Les amendements organiques augmentent la production. La fertilisation minérale recommandée se situe entre 30 et 60 kg d'azote par hectare, en évitant l'excès par rapport de potassium. Car, les parties aériennes se développent alors au détriment des tubercules. L'apport de potassium (KCl) recommandé est de 60 à 300 kg. Les besoins en phosphore sont plus limités (20 à 40 kg d'acide phosphorique), des mycorrhizes endotrophes aident l'absorption de P (Raffaillac, 1996).

- **Récolte et rendement à Madagascar**

D'après le rapport de Dabat (2001) :

- Sur la Côte-Est et les parties Sud : on peut faire la récolte du manioc après 6 à 12 mois de la plantation.
- Sur les Hauts-Plateaux : la récolte ne peut se faire que vers l'âge de 12 à 24 mois. Il est conseillé de faire la récolte durant la saison froide, c'est-à-dire, de Mai à Octobre afin de bénéficier de la richesse maximale des racines en fécule.
- L'arrachage se fait essentiellement à la main. Les rendements varient de 3 à 15 T/ha en racines fraîches, mais ils peuvent atteindre 60 T/ha en terres fertiles.

33. Caractéristiques du manioc et érosion hydrique

Le manioc est souvent cultivé sur les terrains pauvres en matières organiques, en éléments nutritifs et en eau (Lumbanraja *et al.*, 1998; Iijima *et al.*, 1999; Iijima *et al.*, 2003). Cela ne pose pas problème pour la culture, car le manioc est la plante la peu exigeante parmi les plantes de culture vivrière (Putthacharoen *et al.*, 1993, 1998 ; Iijima *et al.*, 2003). Il n'exporte pas beaucoup de quantité d'azote et de phosphore, mais il retire une quantité relativement importante de potassium de la part du sol. En effet, le potassium-azote ratio du manioc récolté est très élevé. En outre, les teneurs en éléments nutritifs exportés par une tonne de manioc frais sur 1 ha du sol sont environ 6,22 kg.N.ha⁻¹, 0,79 kg P.ha⁻¹, 5,41 kg.K.ha⁻¹, 2,83 kg.Ca.ha⁻¹, et 0,89 kg.Mg.ha⁻¹ si toutes les plantes sont récoltées ; et les teneurs en éléments nutritifs contenants dans une tonne de manioc frais sont approximativement 2,32 kg.N, 0,39 kg.P, 3,05 kg.K,

0,47 kg.Ca et 0,27 kg.Mg (Howeler, 2001).

Les parcelles destinées à la culture de manioc sont souvent les terrains en pente. Or, les terrains en pente sont vulnérables à l'érosion (Carreker *et al.*, 1978 ; Dunne, 1991 ; Carroll *et al.*, 2000). D'autre part, la culture de manioc favorise l'érosion hydrique du sol (Howeler *et al.*, 2001), parce que les racines de manioc (tubercules) ne peuvent pas jouer un rôle de fixation du sol et que le taux de couverture végétale des parcelles sous la culture de manioc est faible. Plusieurs expériences ont montré que les quantités des pertes en terre entraînées sous la culture de manioc sont deux fois supérieures à celles sous la culture d'haricot, et trois fois supérieures à celles sous les cultures d'arachide, de maïs et de sorgho (Putthacharoen *et al.*, 1998).

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

1. Zone d'étude

L'étude a été menée dans la zone des Hautes-terres malgaches, dans la Région de Haute Matsiatra, Sous-préfecture d'Ambalavao, Commune Rurale de Fenoarivo. La Commune Rurale de Fenoarivo est entre la latitude $21^{\circ}43'36.02''$ S, et longitude $46^{\circ}23'4.14''$ E (Figure 2) et se trouve entre deux rivières, Zomandao (sud) et Mananantana (nord).

Trois sites d'études qui ont été créés par Fabienne Muriel Verzelitti en novembre 2008, ont été utilisés comme sites d'étude. Ils sont situés à:

- Amberomena Est ($21^{\circ} 74'6.61''$ S et $46^{\circ}32'6,43''$ E), dans le Fokontany de Sakafia, à environ 10 km à l'Ouest-Sud-Ouest de la Commune Rurale de Fenoarivo, près d'un cours d'eau,
- Amberomena Ouest ($21^{\circ} 74'7.14''$ S et $46^{\circ}32'0,09''$ E), dans le Fokontany de Sakafia aussi, environ à 11,5 km à l'Ouest-Sud-Ouest du Fenoarivo (1,5 km à l'Ouest du site d'Amberomena Est), et
- Analabe ($21^{\circ} 77'4.31''$ S et $46^{\circ}26'2,93''$ E), dans le Fokontany de Sakafia, environ à 19 km à l'Ouest-Sud-Ouest de la Commune Rurale de Fenoarivo (8 km à l'Ouest-sud-Ouest du site d'Amberomena).

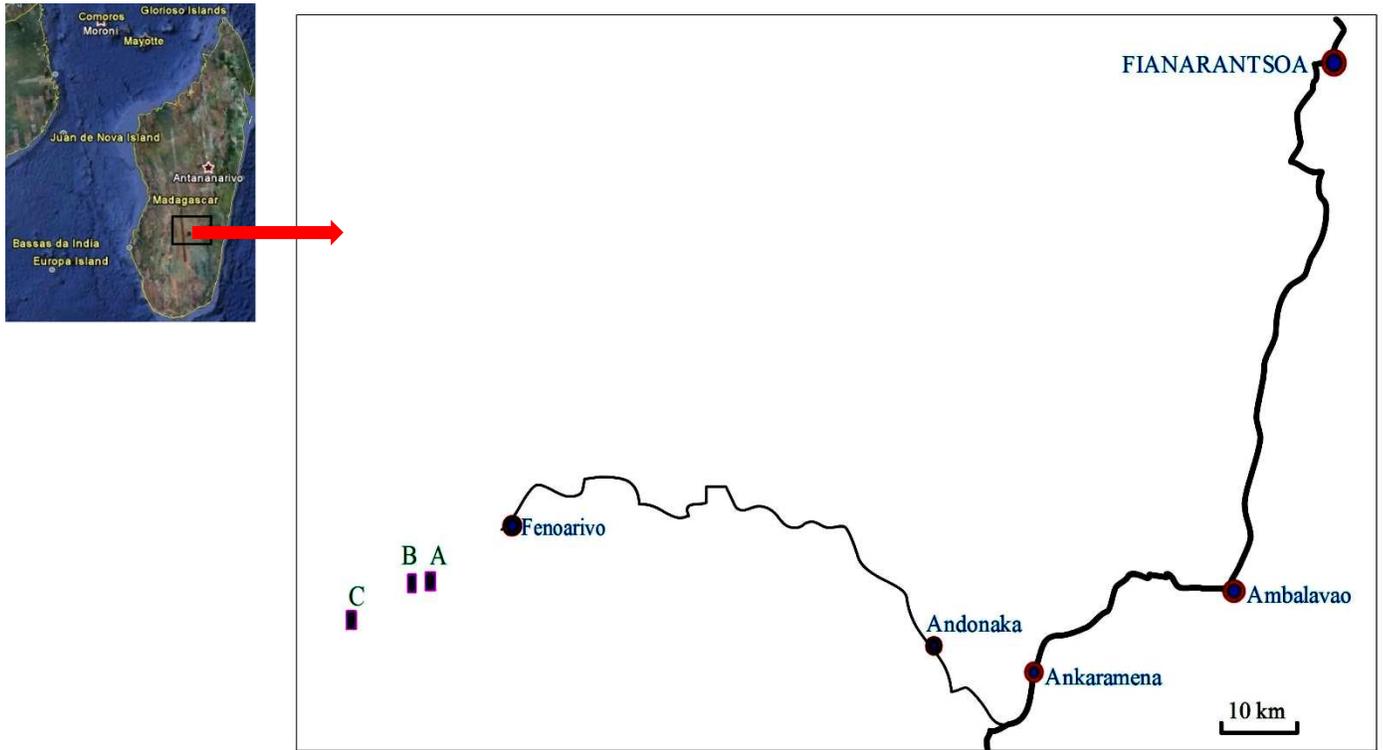


Figure 2. Carte de localisation de la zone d'étude (A, B et C sont les trois sites d'études)

Source: Google-Image 2010 Cnes/Spot Image 38K 655849.49 m E 7605484.12 m S elev 1923 m et GARMIN-MapSource.

Les données climatiques obtenues auprès de la station de Ranohira à environ 90 km (à vol d'oiseau) permettent d'élaborer la courbe ombrothermiques de Gaussen (Figure 3):

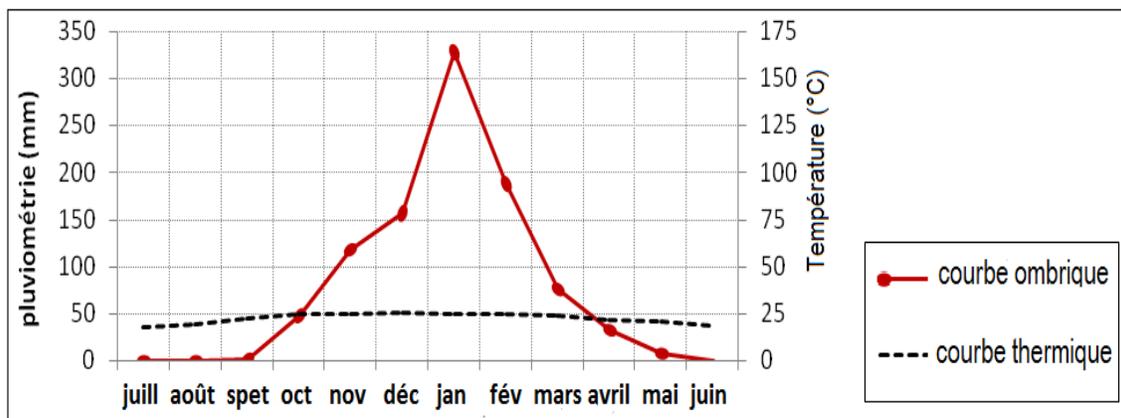


Figure 3. Courbe ombrothermique de Gaussen de Ranohira

Source : Station météorologique de Ranohira (année 2005 – 2009)

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 950 mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23 °C. Plus de 80 % de la pluie annuelle se concentre entre novembre et février.

La zone d'étude comprend deux saisons bien distinctes :

- un été (octobre à mars), la pluviométrie moyenne et la température moyenne sont respectivement de l'ordre de 900 mm et 25°C ; et

- un hiver (avril à septembre), la pluviométrie moyenne et la température moyenne durant cette période sont respectivement de l'ordre de 50 mm et 21°C.

D'après la carte de classification du climat de Köppen-Geiger, le climat de la zone d'étude est de type tropical de savane (Peel *et al.*, 2007).

Le sol de Fenoarivo a une texture argilo-sableux (sable 50 à 61%, limon 12 à 17% et argile 27 à 33%), un pH légèrement acide (5,1 à 5,7) et une saturation en base élevée (73%) (Ingwersen, 2007). D'après la classification de la FAO (1995) le sol est classifié comme Ferric Luvisols. L'étude effectuée par Fabienne Muriel Verzelitti (2009) montre que le sol, notamment au niveau des quinze premiers centimètres de profondeurs, sur les trois sites d'étude est pauvre en matières organiques avec un fort pourcentage en fraction sableuse. A Amberomena Est, la teneur en matière organique est de l'ordre de 15g.C.kg⁻¹ sol ; les éléments grossiers (>2mm) représentent 11% du sol ; les pourcentages de sables, de limon et de l'argile sont respectivement de 63%, 9% et 17% ; la porosité du sol est 46%. A Amberomena Ouest, la teneur en matière organique est de l'ordre de 12,5g.C.kg⁻¹sol ; les éléments grossiers représentent 3% du sol ; les pourcentages de sables, de limon et de l'argile sont respectivement de 53%, 8% et 36% ; la porosité du sol est 48%. Et, à Analabe, la teneur en matière organique est de l'ordre de 13g.C.kg⁻¹sol ; les éléments grossiers représentent 3% du sol ; les pourcentages de sables, de limon et de l'argile sont respectivement de 56%, 10% et 31% ; et la porosité du sol est 49%.

La commune de Fenoarivo se situe entre 600m à 900m d'altitude. Les collines y dominant ; d'où, les pentes du terrain sont relativement faibles. Ainsi, les pentes des sites d'étude A, B et C sont respectivement 10%, 5% et 4%. La végétation typique est la savane et le bozaka, principalement *Heteropogon contortus* et *Hyparrhenia rufa*.

2. Dispositif expérimental et traitements étudiés

2.1. Dispositif d'érosion

Le dispositif expérimental d'érosion a été implanté en décembre 2008 par Fabienne Muriel Verzelitti. Il est composé de 9 parcelles d'érosions disposées les unes à côté des autres groupées en 3 blocs complets (traitements T0, T1 et T2) et randomisés.

Les trois blocs sont disposés côte à côte et sont espacés de 4m à l'exception du site d'Amberomena Est, entre le deuxième bloc et le troisième bloc (Figure 4). Les parcelles entre le même bloc étaient équidistantes de 3m. Chaque dispositif expérimental a été limité à l'extérieur par un pare-feu de 2 m de

large, puis de l'intérieur d'un canal de protection d'environ 40 cm x 40 cm, suivi directement d'une digue de protection pour éviter l'entrée des eaux ruisselantes.

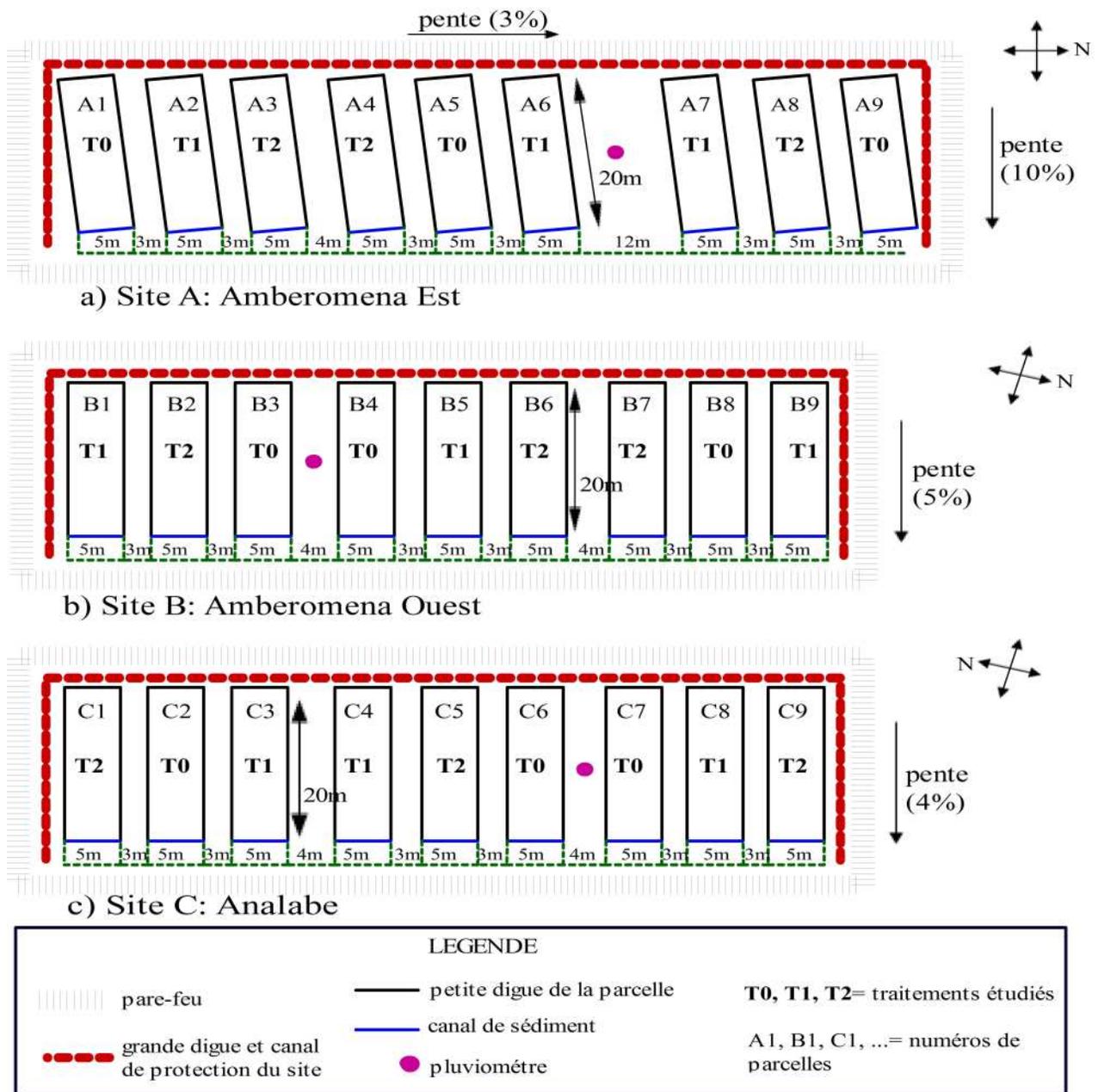


Figure 4. Dispositif expérimental d'érosion de trois sites d'étude (Clarissien, 2010)

Les 9 parcelles (A1 à A9, formant 3 blocs) du site A s'inclinent 3% dans le sens A1 vers A9 et 10% dans le sens Ouest à Est, celles du B (B1 à B9) s'inclinent 5% dans le sens Ouest-Nord-Ouest vers Est-Sud-Est, et celles du site C (C1 à C9) s'inclinent 4% dans le sens Est-Nord-Est vers Ouest-Sud-Ouest.

Une parcelle d'érosion était une surface rectangulaire de 20 m de long (le long de la pente) et 5 m de large. Chaque parcelle d'érosion a été limitée par une petite digue de protection en amont et sur les 2 côtés latéraux. En aval, il y avait un canal collecteur ou canal de sédiments de 20 cm de large, 5 m de long et 20 cm de profondeur (Figure 5)

Ce dernier a été couvert de sachet plastique cloué sur la berge de la parcelle tous les 10cm. Ce dispositif d'érosion a été implanté avec beaucoup de soin, de telle sorte qu'il évitait le cheminement préférentiel des eaux sous le sachet plastique.

La mise en place de parcelle d'érosion a été effectuée en fin 2009. Le cliché 1 montre les quelques étapes de la mise en place du dispositif expérimental.

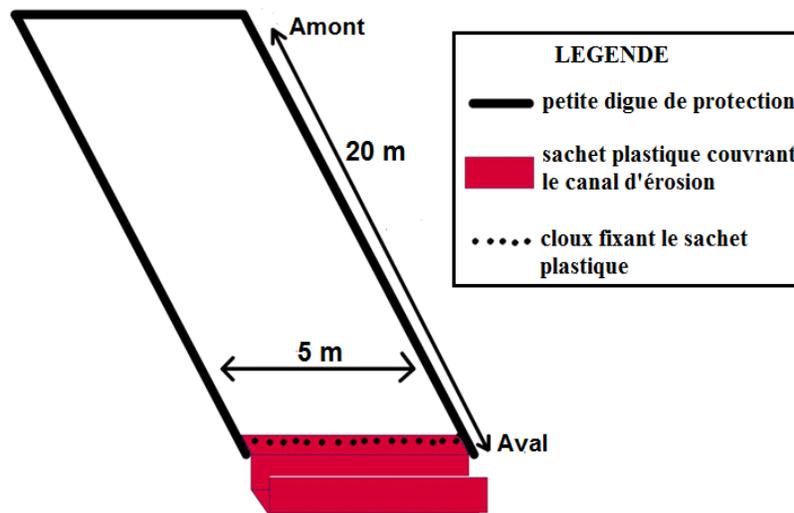


Figure 5: Une parcelle d'érosion (Clarissien, 2010)



Cliché 1. Mise en place d'une parcelle d'érosion à Amberomena Ouest (Prise de vue : Clarissien, 2009)

Chaque dispositif expérimental est doté d'un pluviographe (type RAIN-O-MATIC PROFESSIONAL et est fabriqué par « ecoTech Umwelt-Meßsysteme GmbH » - Nikolausstraß 7 D-53129 Bonn). Il a été placé à 1 m au-dessus de la surface du sol. Il a été installé, soit entre les deux parcelles T0, soit dans une surface de plus de 10 m de large afin que l'enregistrement de la pluviométrie ne soit pas perturbé par la végétation telle que le *Jatropha curcas* (Figure 6).

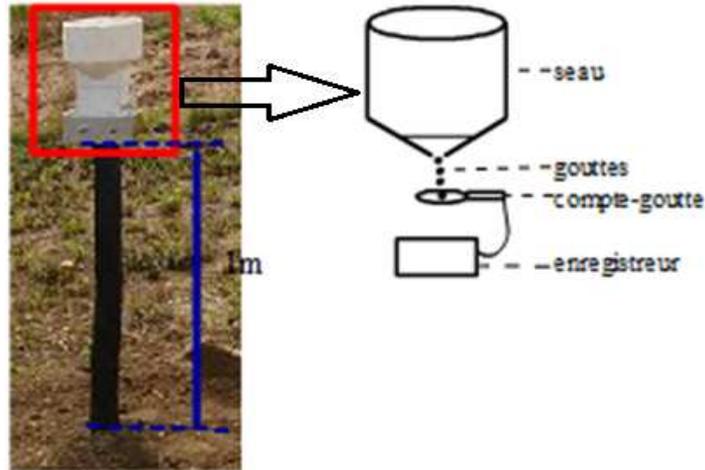
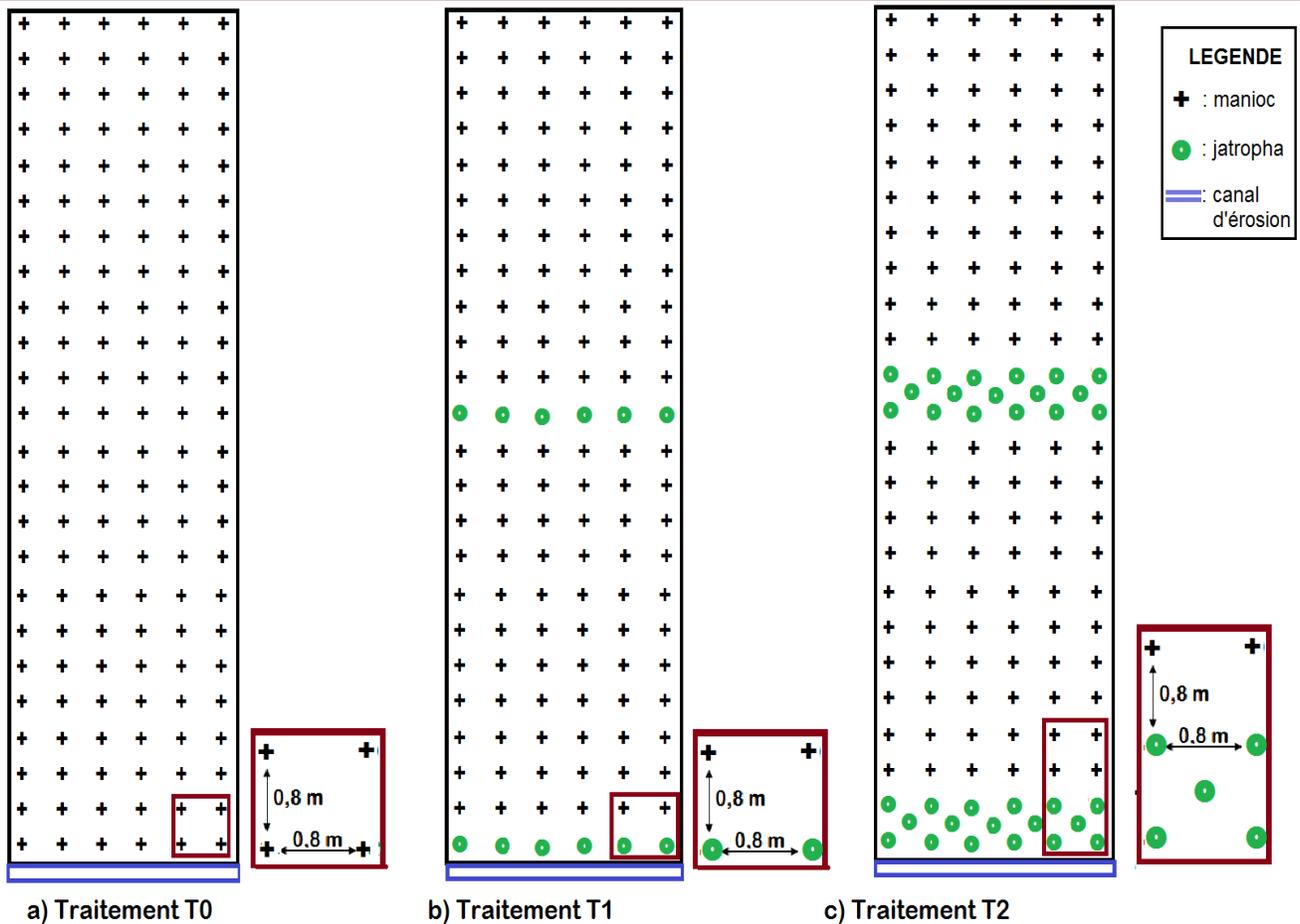


Figure 6: Pluviographe, RAIN-O-MATIC professional (Clarissien, 2010)

22. Différents traitements étudiés

Pour tester l'effet du rang de *Jatropha curcas*, toutes les parcelles d'érosion ont été traitées de la même manière : chaque pied de *Jatropha curcas* reçoit 120 g de $N_{12}P_{24}K_{12}$, sarclés et plantés en même temps. Trois traitements ont été étudiés, à savoir :

- Le Traitement T0 : considéré comme témoin, 24 rangs \times 6 colonnes de maniocs espacés de 80 cm \times 80 cm (Figure 7a).
- Le Traitement T1 : un rang de *Jatropha curcas* (6 pieds) au milieu et un autre rang à la base remplacent les rangs de manioc (Figure 7b).
- Le Traitement T2 : 2 rangs de 6 pieds de *Jatropha curcas* à distance interligne d'un mètre sont intercalés par un autre rang de 5 pieds (à 80 cm d'espace entrecolonne), l'ensemble est placé au milieu et à la base de la parcelle. Les 3 lignes de *Jatropha curcas* sont donc placées en quinconces (Figure 7c).



T0 : témoin, T1 : un rang de Jatropha et T2 : trois rangs de Jatropha.

Figure 7 : Représentation des trois types de traitements (Clarissien, 2010).

3. Mesures et prélèvements

31. Hauteur et intensité de la pluie

Le pluviographe a fourni la hauteur de la pluie. L'intensité de la pluie (mm.h^{-1}) a été obtenue par la hauteur (en mm) sur la durée de la pluie (en heure). Selon le temps de collecte des données pluviométriques, la précipitation de chaque site a été répartie en 8 groupes d'événements, noté de 1A à 8A pour le site A, 1B à 8B pour le site B et 1C à 8C pour le site C (Annexe 1).

32. Taux de couverture végétale

La mesure du taux de couverture végétale a été effectuée selon la méthode proposée par Seefeldt et Booth (2006). Elle consiste à diviser la parcelle en plusieurs carreaux, et à noter le pourcentage de la surface couverte de chaque carreau par estimation visuelle. De ce fait, la parcelle a été divisée en quatre carreaux de 5 m x 5 m. Les fréquences de mesures ont été 10 à 16 jours, et 5 mesures par site ont été fait durant la campagne (Annexe 2).

33. Mesure des pertes en terre

Les collectes des pertes en terre ont été faites une fois par semaine dans chaque site. Mais, il faut que les sédiments soient assez secs pour qu'ils soient maniable. Les sédiments sont récupérés dans le sachet plastique recouvrant le canal de collecte (Cliché 2). Ils sont homogénéisés, pesés puis tamisés avec un tamis à maille de 2 mm. Les sédiments ont été séparés en deux lots : un lot des fractions grossières (> 2 mm) et un lot des fractions fines (< 2 mm). 120 g d'aliquote de la fraction fine sont considérés comme échantillon. Après 10 à 15 jours de séchage au soleil, les échantillons sont pesés.



Cliché 2 : Récupération des sédiments dans le canal collecteur: (i) ramassage et (ii) tamisage (Clarissien, 2010)

Les pertes en terre ont été calculées à partir de la formule suivante :

$$P_T = G + S_H (E_S / E_H)$$

Avec

- P_T = masse de la perte en terre sec (g)
- S_H = masse de la perte en terre humide (g)
- G = masse des éléments grossiers (g)
- E_H = masse de l'échantillon humide (g)
- E_S = masse de l'échantillon sèche (g)

34. Rendement du manioc

La récolte de manioc a eu lieu 18 mois après la plantation faite par Fabienne en décembre 2008. Les manioc ont été récoltés par rang. Les poids de la matière fraîche ont été mesurés sur terrain, juste après la récolte. Les photos ci-dessous (Cliché 3) montrent la méthode de récolte intégrale et le pesage des tubercules de manioc qui ont été faits.



Cliché 3. Récolte de manioc (Clarissien, 2010)

4. Analyse au laboratoire

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire du sol (groupe : Géophysique – département : Science du Sol – Faculté : Agriculture) de l'Université de Hohenheim au Stuttgart – Allemagne.

41. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à séparer les différentes particules minérales contenues dans le sol suivant leur taille. 7 éléments ont été séparés : (i) sable grossier entre 2 mm et 630 µm de diamètre, (ii) sable moyen entre 630 µm et 200 µm de diamètre, (iii) sable fin entre 200 µm et 63 µm de diamètre, (iv) limon grossier entre 63 µm et 20 µm de diamètre, (v) limon moyen entre 20 µm et 6,3 µm de diamètre, (vi) limon fin entre 6,3 µm et 2 µm de diamètre et (vii) argile inférieur à 2 µm de diamètre

L'analyse a été effectuée sur une terre fine (< 2 mm) de diamètre. Elle est basée sur la destruction de la matière organique par l'action de l'ammonium NH_4OH 25% afin que l'échantillon du sol soit dissocié en éléments élémentaires. Les éléments fins (limons et argile) ont été séparés par gravité selon la méthode de pipette de Robinson (Figure 8) et les fractions grossières (sable) ont été séparées par tamisage.

10 g (avec répétition) de l'échantillon a été mis dans une bouteille plastique de 250 ml contenant 100 ml d'eau distillée. La bouteille a été secouée à la main avant de vérifier la conductivité. Puis, 1 ml de NH_4OH 25 % a été ajouté dans la bouteille. Cette dernière a été secouée manuellement. Après, elle a été mise dans un agitateur pendant environ 24 H à une vitesse de 300 tours/min, puis dans un bain ultrasonique pendant 5 mm. Ensuite, le contenu de la bouteille a passé sur trois tamis à maille différente afin d'obtenir les différents catégories de sables (630 µm pour le sable grossier, 200 µm pour le sable moyen et 63 µm pour le sable fin). Chaque catégorie de sables a été mise dans un verre numéroté. L'eau contenant des suspensions des limons et d'argile, après tamisage des sables, a été

recueillie dans une éprouvette. L'éprouvette a été remplie d'eau distillée jusqu'à un volume « V » qui est égal à un litre. L'éprouvette a été secouée manuellement, puis déposée sur une paillasse. A l'aide d'une pipette de Robinson :

- 28 secondes, un volume « v » de 10 ml a été prélevé par pipette dans les dix premiers centimètres le limon grossier pour obtenir le limon grossier et mis dans un verre, puis la pipette a été rincée avec l'eau distillée ;
- 4 mn 39 s le limon moyen a été prélevé toujours par la même méthode ;
- 46 mn 53 s pour le limon fin ;
- 3 h 46 mn suivies des mêmes opérations pour le limon moyen mais dans les 4 premiers centimètres.

Les verres contenant chaque élément ont été séchés dans une étuve à 105°C pendant plus de 12 h à la fin, puis pesées. Les poids de trois types de sable ont été obtenus par la soustraction du verre contenant l'élément sec (P) et le verre vide (P_V). Les poids des limons et de l'argile « P_X » ont été donnés par la formule suivante :

$$P_X = (P - P_V) \times V/v$$

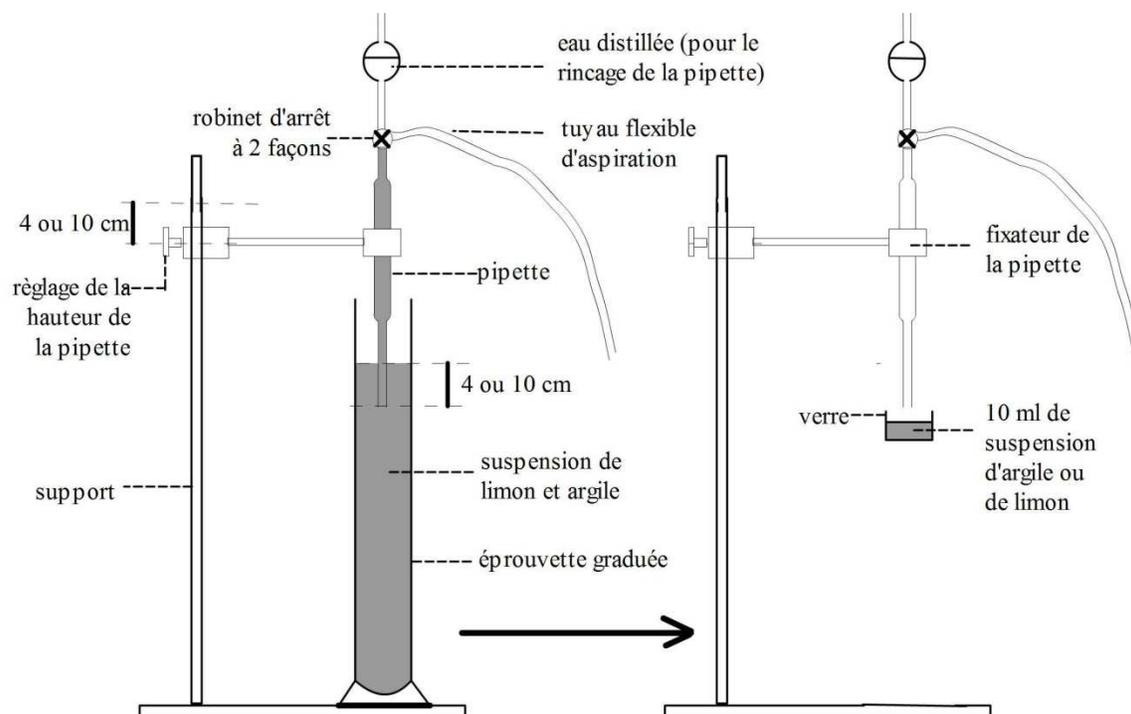


Figure 8 : Pipette de Robinson (Clarissien, 2010)

42. Analyse de la teneur en carbone et azote

L'objectif de cette analyse était de déterminer les teneurs en carbone total et en azote total de sédiments. La méthode consiste à catalyser l'échantillon par combustion suivie de la détection de carbone et d'azote. Il s'agissait d'une méthode de Dumas, réalisée à partir d'un appareil « CN Analyzer » (Type Vario Max CN, fabriqué par Elementar Analysensysteme GmbH – Donaustrasse 7 D-63452 Hanau

Germany). 800 mg de sol broyés à 0,02 mm ont été placés dans une capsule en zinc. La capsule a été ensuite placée dans l'appareil CN Analyzer qui effectue la combustion de l'échantillon. Les résultats d'analyse ont été récupérés après 4 à 5 jours.

5. Traitement statistique

Les données de bases ont été traitées à l'aide du logiciel SPSS Inc sous Windows (PASW statistical 18.0). L'analyse de la variance au seuil de signification 0,05 a été effectuée pour estimer les différences significatives entre traitements ou entre sites. Les différences des résultats de deux traitements ou deux sites étaient non significatives lorsque la probabilité observée du facteur à étudier est supérieure à 0,05 ; mais dans le cas contraire les différences de ces résultats étaient significatives.

Le test T a été utilisé pour comparer les valeurs des moyennes observées par la méthode LSD (least significant difference) ou p.p.d.s (plus petite différence significative).

Chapitre 3 : Résultats et discussions

1. Résultats

11. Précipitation et intensité de la pluie

Précipitation

Les cumuls de la précipitation durant la période d'expérimentation sont présentés dans la figure 9. Les cumuls des pluies enregistrées sur les sites A, B et C sont respectivement 346,2 mm, 349 mm et 281,6 mm. La période de forte pluie se situe en mi- janvier. Durant cette période, les hauteurs de pluies sur les sites A, B et C sont respectivement 161,6 mm, 163,4 mm et 99 mm.

Les résultats obtenus montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les sites A et B. En revanche, le cumul de la hauteur de pluies sur le site C est inférieur par rapport aux deux autres.

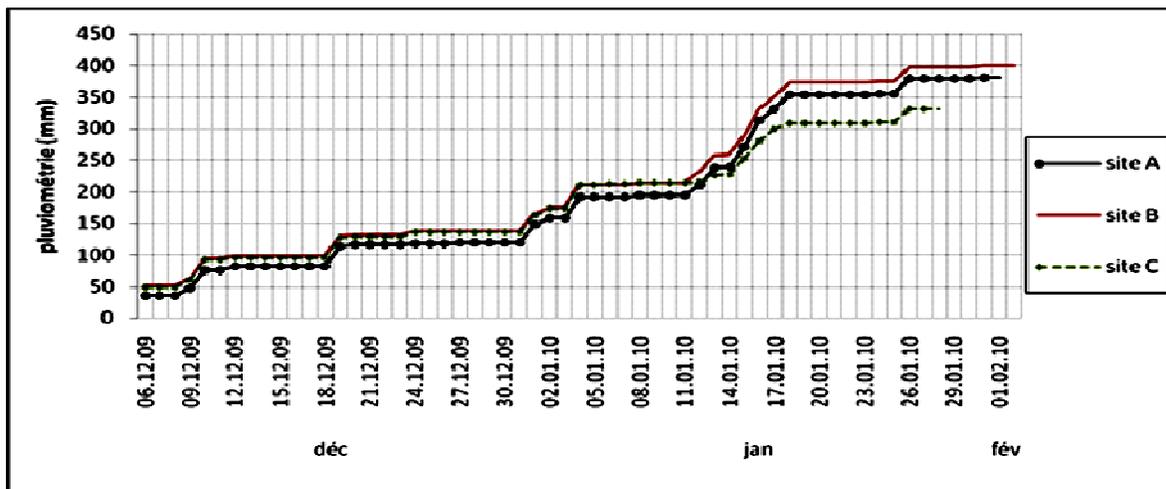


Figure 9. Cumul des précipitations durant la période d'expérimentation sur les trois sites étudiés

Intensité de la pluie

Les fréquences des pluies et leurs intensités sont montrées sur la figure 10. Ces résultats montrent que environ 80% des événements ont de faible intensité ($< 30 \text{ mm.h}^{-1}$) dans les 3 sites. Ainsi, les pluies sont moins agressives durant l'étude. Et en comparant les résultats des 3 sites, les événements dans le site B sont plus agressifs et plus fréquents, en revanche, ceux dans le site C sont moins agressifs et moins fréquents.

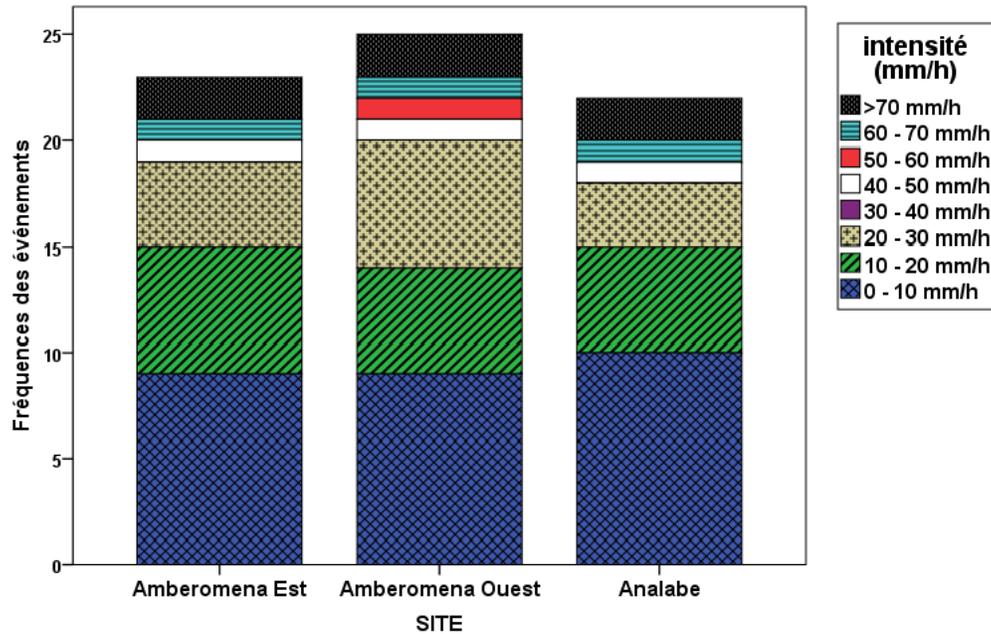


Figure 10: Fréquences des pluies et ces intensités dans chaque site

12. Taux de couverture végétale du sol

L'évolution du taux de couverture du sol sur les trois sites d'études est présentée dans la figure 11 ci-dessous.

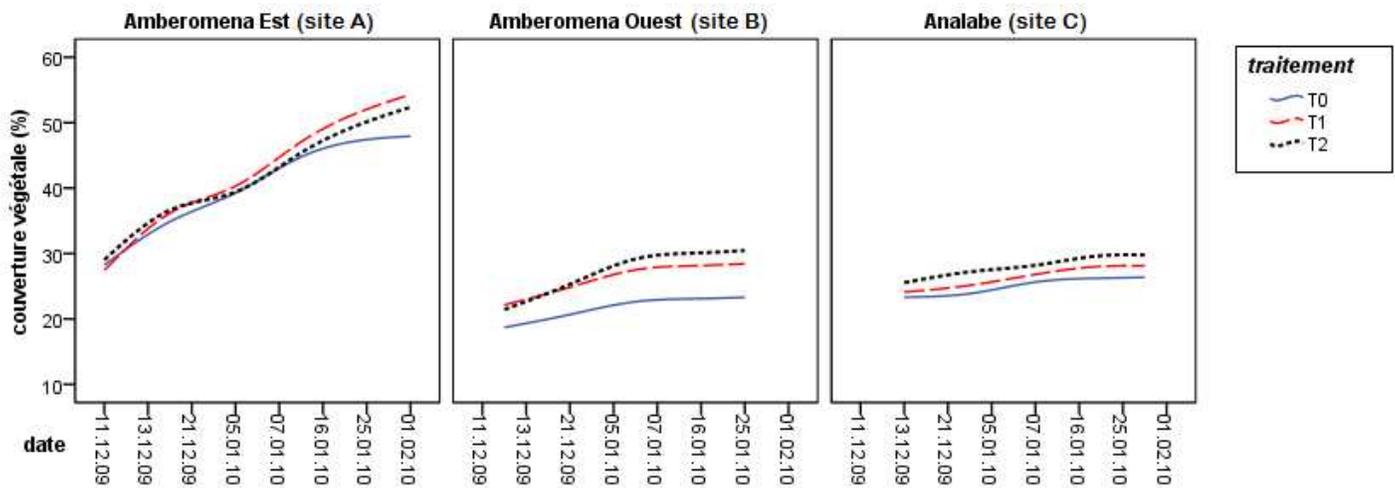


Figure 11. Evolution du taux de couverture végétale de chaque site.

T0 : traitement sans jatropha, T1 : traitement à un rang de jatropha, T2 : traitement à 3 rangs de jatropha

Pour le site A : 370 jours après semis les taux de couvertures des traitements T0, T1 et T2 sont respectivement 28%, 27% et 29% ; ils sont respectivement 48%, 54% et 52% après 433 jours. Les taux de couvertures moyennes pour les trois traitements étudiés : T0, T1 et T2 sont respectivement de 39 %, 41 % et 41 %. Les chiffres obtenus montrent une absence de différence significative entre les trois traitements étudiés. Les *Jatropha curcas* représentent en moyen 12% du taux de couverture végétale pour le traitement T1 et 30% pour le traitement T2.

Pour le site B : 368 jours après semis les taux de couvertures des traitements T0, T1 et T2 sont respectivement 19%, 22% et 21% ; ils étaient respectivement 23%, 28% et 31% après 424 jours. Les taux de couvertures moyennes des traitements T1 (26%) et T2 (27%) sont relativement similaires, mais étaient différents à celui de traitement T0 (21%). Les *Jatropha curcas* représentaient en moyen 18% du taux de couverture végétale pour le traitement T1 et 40% pour le traitement T2.

Pour le site C : 366 jours après semis les taux de couvertures des traitements T0, T1 et T2 sont respectivement 22%, 24% et 25% ; ils sont respectivement 26%, 28% et 30% après 421 jours. Les taux de couvertures moyennes des traitements T0 (24%) et T2 (28%) sont significativement différents. Les *Jatropha curcas* représentent en moyen 18% du taux de couverture végétale pour T1 et 42% de pour T2. En comparant les 3 sites, les taux de couverture des sites B et C sont assez stables depuis le début jusqu'à la fin de l'expérience et ont une tendance similaire. Ils sont inférieurs à ceux du site A. L'évolution de ceux derniers est très remarquable. Ces observations sont valables pour les trois traitements.

13. Pertes en terre

Le tableau 1 suivant montre les cumuls de pertes en terre durant l'étude.

Tableau 1. Cumul des pertes en terre, exprimé en Mg.ha⁻¹, durant la période d'expérimentation

Traitements	Sites d'études								
	Amberomena Est (A)			Amberomena Ouest (B)			Analabe (C)		
T0	11,3 ± 0,2	a	A	12,3 ± 0,2	a	A	6,0 ± 0,3	a	B
T1	10,9 ± 1,0	a	A	11,0 ± 0,2	b	A	5,6 ± 0,4	ab	B
T2	10,5 ± 1,2	a	A	9,6 ± 0,5	c	A	5,1 ± 0,1	b	B

Une lettre différente indique l'existence d'une différence significative au seuil 5% d'après le T test. Les lettres minuscules « a, b, c » représentent la différence entre traitements, et les lettres majuscules « A, B, C » représentent la différence entre sites.

Pour le site d'Amberomena Est (site A), les résultats obtenus montrent clairement l'absence de la différence significative entre les trois traitements étudiés. Pour le site d'Amberomena Ouest (site B), les résultats obtenus montrent une existence de différence significative entre les trois traitements de l'ordre décroissante T0, T1 et T2. Pour le site d'Analabe (site C), il existe une différence significative entre les pertes en terre des traitements T0 et T2. Une tendance similaire a été constatée entre les traitements T1 et T0 et entre les traitements T1 et T2.

Concernant la différence entre sites, les quantités des pertes en terre des sites A et B sont similaires, mais elles sont supérieures aux quantités des pertes en terre du site C. Ces constats sont valables pour les 3 traitements.

14. Caractéristiques des sédiments

141. Granulométrie

Il n'existe pas des différences significatives entre les compositions granulométriques des sédiments des 3 traitements étudiés dans chaque site. La figure ci-dessous (Figure 12) montre les pourcentages des fractions de sables, de limons et d'argile dans les sédiments pour les trois sites A, B et C.

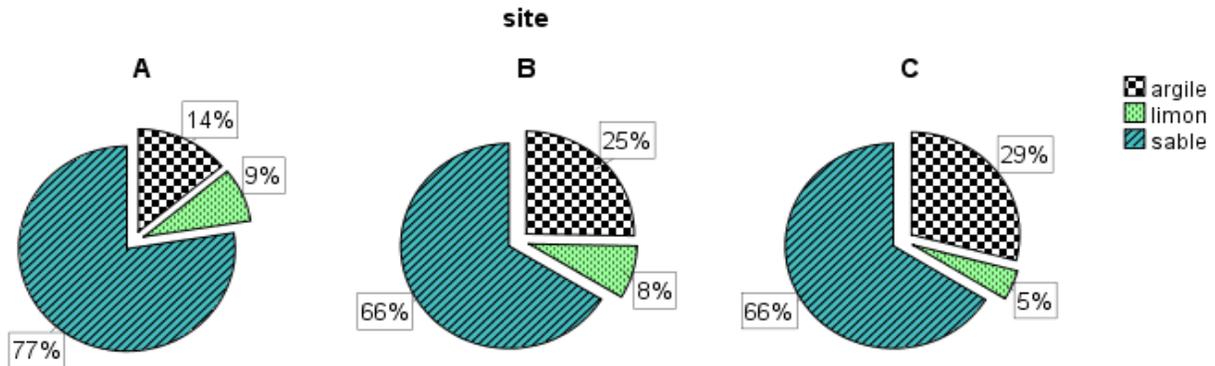


Figure 12 : Pourcentage de sables, de limons et d'argile dans les sédiments

Pour tous les sites étudiés, les sédiments ont une forte proportion en fraction sableuse. D'après le T test au seuil 0,05, le taux de fraction sableuse dans les sédiments du site A est significativement supérieur par rapport à ceux de sites B et C. Pour les limons, le pourcentage des limons dans les sédiments du site C (5%) est significativement différent à ceux de deux sites A (9%) et B (8%). Enfin, le pourcentage d'argile dans les sédiments du site A (14%) est significativement différent par rapport à ceux de deux sites B et C (respectivement 25% et 29%).

142. Teneur en azote et en carbone

Pour le site d'Amberomena Est, la teneur en N des sédiments du traitement T2 est inférieure par rapport à celles des T0 et T1. Ces deux dernières sont relativement similaires. Pour le site d'Amberomena Ouest, la teneur en N du traitement T0 est supérieure par rapport aux deux traitements T1 et T2. Pour le site d'Analabe, il n'existe pas de différence significative des teneurs en N des sédiments des trois traitements étudiés.

En comparant les résultats entre les sites : pour le traitement T0, il n'existe pas de différence significative des teneurs en azote des sédiments entre les trois sites. Pour le traitement T1, la teneur en azote des sédiments du site A est similaire à celle du site B et à celle du site C, tandis que la teneur en azote des sédiments du site B est inférieure à celle du site C. Pour le traitement T2, les teneurs en azote des sédiments des sites A et B sont similaires, mais elles sont inférieures à celle du site C.

Tableau 2 : Teneur en du azote (g.N.kg⁻¹sol) et carbone (g.C.kg⁻¹sol)

Traitements	Sites d'études									
	Amberomena Est (A)				Amberomena Ouest (B)				Analabe (C)	
Azote	T0	0,32 ± 0,01	a	A	0,33 ± 0,02	a	A	0,34 ± 0,03	a	A
	T1	0,32 ± 0,10	a	AB	0,27 ± 0,02	b	A	0,34 ± 0,01	a	B
	T2	0,25 ± 0,02	b	A	0,25 ± 0,02	b	A	0,32 ± 0,05	a	B
Carbone	T0	6,4 ± 5,4	a	A	6,4 ± 1,0	a	A	7,8 ± 0,7	a	B
	T1	6,1 ± 5,1	ab	A	5,5 ± 1,4	b	A	7,9 ± 1,2	a	B
	T2	5,6 ± 1,2	b	A	5,4 ± 0,5	b	A	7,8 ± 3,6	a	B

Une lettre différente indique l'existence d'une différence significative au seuil 5% d'après le T test. Les lettres minuscules « a, b, c » représentent la différence entre traitements, et es lettres majuscules « A, B, C » représentent la différence entre sites.

Pour le site A, la teneur en carbone des sédiments du traitement T1 est similaire à celles des traitements T0 et T2 ; or la teneur en carbone des sédiments du traitement T0 est supérieure à celle du traitement T2. Pour le site B, les teneurs en carbone des pertes en terre des traitements T1 et T2 ne sont pas statistiquement différentes, mais elles sont inférieures à la teneur en carbone des sédiments du traitement T0. Pour le site C, les teneurs en carbone des traitements sont similaires. En comparant les résultats entre sites, les teneurs en carbone des sites A et B ne sont pas significativement différentes, mais elles supérieures à celles du site C.

15. Rendement du manioc

Tableau 3: Rendements du manioc frais par parcelle, exprimé en Mg.ha⁻¹

Traitements	Sites d'études									
	Amberomena Est (A)				Amberomena Ouest (B)				Analabe (C)	
Rendement apparent	T0	9,9 ± 4,2	a	A	5,0 ± 0,7	a	B	4,8 ± 0,7	a	B
	T1	9,0 ± 2,4	a	A	7,0 ± 1,0	b	B	6,9 ± 0,2	b	B
	T2	9,6 ± 2,8	a	A	6,4 ± 0,2	b	B	6,4 ± 0,4	b	B
Rendement réel	T0	9,9 ± 4,2	a	A	5,0 ± 0,7	a	B	4,8 ± 0,7	a	B
	T1	9,9 ± 2,4	a	A	7,7 ± 1,0	b	B	7,6 ± 0,2	b	B
	T2	11,5 ± 3,4	b	A	7,7 ± 0,2	b	B	7,8 ± 0,5	b	B

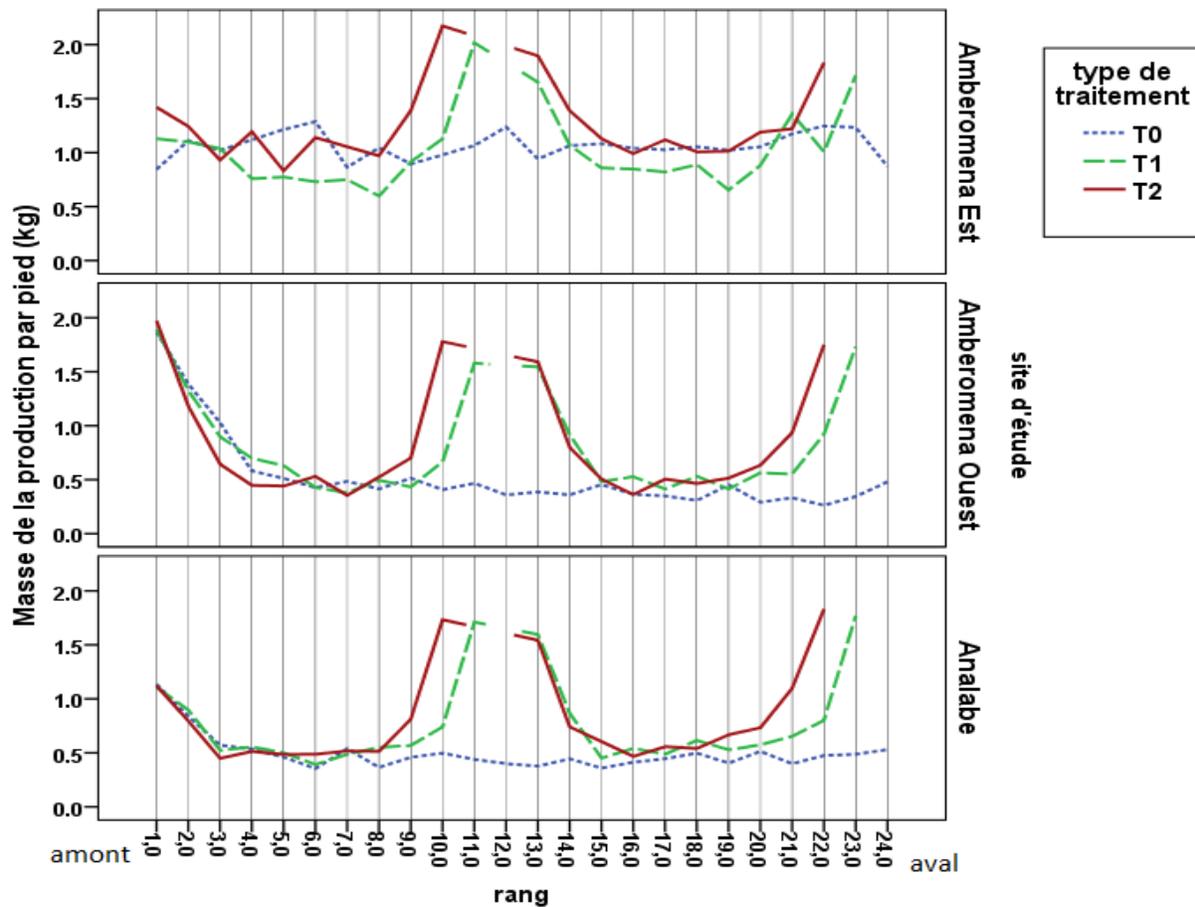
Une lettre différente indique l'existence d'une différence significative au seuil 5% d'après le T test. Les lettres minuscules « a, b, c » représentent la différence entre traitements, et es lettres majuscules « A, B, C » représentent la différence entre sites.

Pour le site d'Amberomena Est, il n'existe pas de différence significative entre les valeurs de rendements apparents des trois traitements étudiés. Tandis que le rendement réel du traitement T2 est plus élevé. Pour les sites d'Amberomena Ouest et d'Analabe une tendance similaire est observée, le

rendement apparent et le rendement réel du manioc du traitement T0 sont inférieurs par rapport aux ceux des traitements T1 et T2.

En ce qui concerne la différence entre sites, les rendements apparents et réels sur le site d'Amberomena-Est étaient supérieurs par rapport aux deux autres sites. Ces observations sont valables pour les trois traitements étudiés.

La figure ci-dessous (Figure 13) montre la production fraîche du manioc obtenue par pied.



Les nombres 1 à 24 sont les numérotations des rangs de maniocs et de *Jatropha curcas* d'amont vers l'aval. Les lignes en pointillés bleus représentent les productions moyennes du manioc frais par pied pour les traitements témoins T0 (manioc pur), les lignes de traits verts celles pour les traitements T1 dont les rangs 12 et 24 sont remplacés par les rangs de *Jatropha curcas*, et les lignes rouges celles pour les traitements T2 dont les rangs 11-12-23 et 24 sont remplacés par les rangs de *Jatropha curcas*.

Figure 13: Moyenne par rang de la production fraîche du manioc obtenue

Pour le site Amberomena Est, les productions fraîches du manioc par pied du traitement T0 étaient relativement le même d'amont en aval ($1,1 \pm 0,4$ kg). Il en est de même pour ceux des traitements T1 et T2, sauf les pieds de maniocs autour des rangs de J.C. (plus précisément les rangs 11-13-23 pour le traitement T1 et les rangs 10-13-22 pour le traitement T2). Ces derniers ont des rendements élevés (environ $1,9 \pm 0,4$ kg par pied).

Pour le site Amberomena Ouest, les 2 premiers rangs ont des productions par pied élevées ($1,9 \pm 0,2$ kg et $1,3 \pm 0,2$ kg), les rendements par pieds des rangs restants sont faibles ($0,6 \pm 0,2$ kg). Mais les maniocs autour des rangs de *Jatropha curcas* ont des productions par pied élevés ($1,6 \pm 0,2$ kg).

Pour le site d'Analabe, les 2 premiers rangs de maniocs ont des productions par pied assez élevées (1,2 kg et $0,9 \pm 0,2$ kg), les productions par pied des rangs restants sont faibles ($0,6 \pm 0,3$ kg), excepté ceux autour des rangs de *Jatropha curcas*. Ils sont élevés ($1,5 \pm 0,3$ kg).

2. Discussions

21. Effets des *Jatropha curcas* sur les pertes en terre

211. Effets sur la quantité des pertes en terre

Les résultats obtenus durant l'expérimentation montrent clairement l'effet de traitements sur la réduction de la quantité des pertes des traitements T1 et T2 dans le site d'Amberomena Ouest (B), et sur la réduction de la quantité des pertes du traitement T2 dans le site d'Analabe (C). En revanche, il n'a pas d'effet de traitements sur la quantité des pertes en terre dans le site d'Amberomena Est (A). Ces résultats peuvent s'expliquer par les taux de couverture végétale. Pour le site A : les taux de couverture de 3 traitements sont similaires, pour le site B : ceux des traitements T1 et T2 sont supérieurs à ceux du traitement témoin, et pour le site C : ceux du traitement T2 sont supérieurs à ceux du traitement témoin. Ceci vient du fait que la végétation permet de lutter contre l'effet « splash » par son rôle d'interception des gouttes de pluie, grâce aux parties aériennes des plantes (Aussenac, 1981 ; Woo *et al.*, 1997 ; Geddes et Dunkerley, 1999). Par sa couverture, la végétation permet de diminuer l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de réduire ainsi l'effet splash (Bonnet, 1983). Les caractéristiques morphologiques (feuilles et racines) de *Jatropha curcas* permettent aussi d'expliquer ces résultats. D'une part, les *Jatropha curcas* ont des feuilles plus larges et plus denses que les maniocs. Or, l'interception de la pluie par le couvert végétal est fonction de la densité de la surface foliaire (Cosandey *et al.*, 2000) et de la structure du couvert (Zordia, 1977). D'autre part, on a observé pendant l'expérimentation que les racines de *Jatropha curcas* créent des fissures sur la surface du sol. Ces fissures augmentent l'infiltration des eaux de pluies ou de ruissellements et piègent les sédiments. En plus, d'après les études de Heller (1996) et Gübitz *et al.* (1997), les racines du *Jatropha curcas* permettent de lutter contre l'érosion par fixation des sols et par la création des buttes de terres servant comme barrières aux eaux de ruissellements. Il a été constaté durant l'expérimentation qu'il y a déjà des racines secondaires et des racines nourricières de *Jatropha curcas* dans les 5 premiers centimètres de profondeurs du sol sous *Jatropha curcas*. Par ailleurs, Ogunwole *et al.* (2008) ont montré que les racines

de *Jatropha curcas* permettent en effet d'améliorer la cohésion des sols et donc de renforcer leurs propriétés mécaniques. En effet, les pertes en terre sont faibles sur les parcelles ayant des nombreux pieds ou lignes de *Jatropha curcas* telles que les parcelles du traitement T2. L'efficacité du traitement T2 par rapport au traitement T0 est due à l'emplacement en quinconce des *Jatropha curcas* du T2.

Concernant les différences entre sites, d'après Zingg (1940) et Warrington *et al.* (1989), les quantités des pertes en terre des sites d'Amberomena Ouest et d'Analabe ne doivent pas être différentes et doivent être inférieures à celles du site A à cause des pentes. Mais, les résultats obtenus pour tous les traitements montrent que les quantités des pertes en terre des sites A et B sont similaires et sont inférieures à celles du site C. C'est-à-dire que la pente explique seulement la différence entre les quantités des pertes en terre dans le site A et le site C. En effet, la hauteur de la pluie qui est l'un des principaux facteurs d'érosion hydrique de la pluie permet d'expliquer ces résultats. Les hauteurs de pluies des sites A et B sont relativement similaires, et sont supérieures à celle du site C.

Consécutivement, les quantités des pertes en terre des sites A et B sont similaires malgré la grande différence des pentes, d'abord, puisque les pluies en site B sont plus fréquentes et plus agressives que celles en site A. En plus, les taux de couverture végétale du site A sont élevés par rapport à ceux du site B. En outre, la nature du sol du site A est meilleure que celle du site B (Fabienne, 2009). Et la bonne qualité du sol (richesse en matière organique, bonne structure et texture) réduit l'érodabilité du sol (Wischmeier and Smith, 1960; Wischmeier *et al.*, 1971; Hudson, 1973).

Fabienne (2009) a obtenu les résultats suivants dans les trois sites. Les pertes en terre des traitements T0, T1 et T2 sont respectivement 18 T.ha⁻¹, 15 T.ha⁻¹ et 15 T.ha⁻¹ pour le site d'Amberomena Est ; 18 T.ha⁻¹, 15 T.ha⁻¹ et 19 T.ha⁻¹ pour le site d'Amberomena Ouest ; et 2,6 T.ha⁻¹, 2,7 T.ha⁻¹ et 2 T.ha⁻¹ pour les sites d'Analabe. En effet, ces résultats antérieurs sont généralement très différents par rapport aux présents résultats. Les quantités des pertes en terre des sites A et B étaient très élevées. Car, les parcelles étaient récemment labourées. Or, les labours récents favorisent l'érosion (Spaan *et al.*, 2005 ; Armand *et al.*, 2009). En outre, les cultures n'étaient pas encore bien développées. Et d'après Cerdà (1998a), l'agressivité de l'érosion hydrique dépend de l'âge et de la morphologie des cultures sur les parcelles à étudier. Ainsi, les sols sous une culture récente est favorable à l'érosion. Inversement, les pertes en terre du site C de la précédente étude étaient très faibles malgré le labour. Car, la précipitation durant la précédente étude était faible dans ce site (220 mm).

On peut déduire à partir de ces résultats que les rangs de *Jatropha curcas* sont très efficaces pour la réduction de la perte en terre dans le champ de manioc à Amberomena Ouest. L'introduction de rangs de *Jatropha curcas* pour réduire l'érosion hydrique est assez efficace à Analabe, puisque la réduction significative de la perte en terre n'est obtenue qu'à partir de 3 rangs de *Jatropha curcas*. De ce fait, le

traitement T2 est le plus efficace pour l'atténuation des effets de l'érosion hydrique. D'où, la première hypothèse est vérifiée ; tandis que la 2^{ème} hypothèse est vérifiée en partie.

212. Effets sur les caractéristiques des sédiments

Les compositions granulométriques des sédiments des 3 traitements sont similaires. Les textures du sol des parcelles d'érosion peuvent expliquer ces résultats. Les textures du sol sous les 3 traitements sont similaires dans chaque site d'expérimentation. En effet, ces résultats montrent que les traitements n'ont pas d'effets sur les granulométries. Les compositions granulométriques des sédiments varient suivant la texture du sol in situ.

Les résultats des 3 sites montrent un grand pourcentage des fractions sableuses dans les sédiments. Normalement, la proportion de fractions (limon et argile) fines dans les sédiments doit être élevée, puisque les fractions fines sont faciles à transporter en raison de leurs tailles et de leurs masses très petites (Ellison, 1944 ; Wan & El-Swaify, 1998). Tandis que les résultats des trois sites montrent un enrichissement en sables. D'abord, puisque les textures du sol de chaque site sont argilo-sableux. En outre, les sables sont moins cohésifs, et sont relativement faciles à détacher. Mais, leurs transports par ruissellement sont difficiles en raison de leur grande masse (Davis *et al.* 1983; Lu *et al.* 1988; Beuselinck, 1999). Consécutivement, ils sont faciles à transporter par gravité sur une grande pente d'après Farenhorst et Bryan (1995). C'est pourquoi, les fractions de sables du site A sont significativement supérieures à celles des sites B et C. En revanche, des particules d'argile sont difficiles à détacher puisqu'elles collent aisément ensemble mais sont faciles à transporter (Mazurak & Moscher, 1968).

Dans ces fractions de sables, le taux de sable moyen est 40 % dans toutes les expérimentations (42% pour le site A, 38% pour le site B et 37% pour le site C). Cette supériorité de la fraction de sable moyen est due à une sélectivité de la mise en mouvement en faveur des fractions de taille entre 200 µm et 630 µm. Aucun enrichissement de la fraction fine n'est observé car la désagrégation a été prise en compte. Ces résultats (sélectivité de la mise en mouvement) sont en accord avec ceux de Poesen & Savat (1980).

Le faible taux des fractions fines s'explique aussi par la méthode utilisée. Rappelons que chaque collecte des pertes en terre d'un site a été réalisée juste pendant une journée. Or, les sédiments devaient être relativement secs afin de faciliter leurs tamisages. Alors, pour drainer l'eau de ruissellement restante dans le canal de sédiment et pour que la perte en terre puisse être relativement séchée rapidement, le sachet plastique couvrant le canal de sédiment a été troué à l'aide d'un clou. Ainsi, les particules fines (le limon et l'argile) en suspension dans l'eau sont évacuées. En outre, comme l'argile est une particule collante, des particules argileuses étaient difficiles à détacher du sachet plastique pendant le ramassage

des pertes en terre. De plus, le tamisage des pertes en terre a été fait en plein air. D'où, certaines particules fines ont été transportées par le vent durant ce tamisage.

Les compositions granulométriques des sédiments de la précédente étude étaient différentes de celles de la présente. Les proportions de graviers (>2 mm), sables, limons et argiles étaient respectivement 7%, 75%, 6% et 12% pour Amberomena Est, 4%, 65%, 6% et 25% pour Amberomena Ouest, et 4%, 66%, 7% et 23% pour Amberomena Est. En effet, les sédiments de tous les sites étaient plutôt en fractions grossières par rapport aux présents résultats à cause du labour (Armand *et al.*, 2009).

Les teneurs en azote et en carbone des sédiments des traitements T0 sont supérieures à celle du traitement T2 dans le site A, et les teneurs en azote et en carbone des sédiments du traitement T0 sont supérieures à celles des traitements T1 et T2 dans le site B. Ce qui signifie que les rangs de *Jatropha curcas* réduisent les pertes en azote et en carbone dans les sédiments ou les enrichissements ratio ou ER (élément nutritif du sédiment sur élément nutritif du sol in situ) en azote et en carbone des sédiments. Car, il se peut que les *Jatropha curcas* utilisent l'azote et le carbone du sol pour leurs croissances et/ou les rangs de *Jatropha curcas* constituent une barrière aux éléments nutritifs et aux matières organiques transportés par les ruissellements. Les résultats obtenus dans le site C (les teneurs en azote et en carbone des sédiments des 3 traitements étaient similaires) s'opposent à cette explication, à moins que les teneurs en azote et en carbone des sols des départs fussent différentes. Autrement dit, il est certain que les rangs de *Jatropha curcas* réduisent les enrichissements ratio (ER) en azote et en carbone des sédiments si les teneurs en carbone et en azote dans le sol à l'installation des cultures (*Jatropha curcas* et des manioc) du traitement T0 étaient inférieures à celles du traitement T1, et ces dernières étaient inférieures à celles du traitement T2. On pose cette hypothèse parce qu'il n'avait pas d'analyse d'azote et de carbone de chaque parcelle au départ de l'expérimentation. Mais, les résultats obtenus dans le site C s'accorde avec l'étude de De Ploey & Poesen (1985) qui rapporte que les teneurs en éléments nutritifs et en matières organiques des sédiments sont fonction des fractions d'argiles des sédiments. Car, les compositions granulométriques des 3 traitements sont similaires.

En faisant une comparaison entre les sites, les résultats des 3 traitements montrent que la teneur en azote et surtout la teneur en carbone des sédiments dans les sites A et B sont inférieures à celles dans le site C. Puisque l'enrichissement des sédiments décroît avec l'agressivité de la pluie (Lal *et al.*, 1998), c'est-à-dire que la hauteur et l'intensité de la pluie sont faibles dans le site C par rapport aux celles dans les sites A et B. Par ailleurs, Shiettecatte *et al.* (2007) ont rapporté que l'enrichissement en carbone dans les sédiments décroît suivant la quantité de la perte en terre. Or, les quantités des pertes en terre des sites A et B sont similaires, et sont supérieures à celles du site C.

Les ratios carbone-azote du sédiment de tous les traitements et de tous les sites sont généralement faibles (< 30), c'est-à-dire que les sédiments sont favorables au développement des microorganismes du sol. Cela veut dire que les sédiments sont riches puisque c'est une érosion sélective, affectant seulement la partie superficielle du sol (Auzet *et al.*, 2004).

Alors, si les teneurs en carbone et en azote du sol au départ de tous les traitements ont été égales dans les sites A et B, et ont été différentes dans le site C (celles du traitement T0 ont été plus élevées), la 2^{ème} hypothèse est confirmée. En effet, aucune conclusion ne peut être tirée puisque les teneurs en carbone et en azote des sols au départ sont inconnues, et celles des sédiments dépendent de la texture du sédiment, de la hauteur et de l'intensité de pluie et de la quantité de la perte en terre.

22. Effets des *Jatropha curcas* sur le rendement du manioc

Pour les sites B et C, les rendements (apparent et réel) des traitements T1 et T2 sont supérieurs par rapport à ceux du traitement T0, et les productions par pied des maniocs autour des rangs de *Jatropha curcas* sont aussi très élevées. Car, avant tout, la plupart des éléments nutritifs transportés par les ruissellements ne peuvent pas franchir la barrière constituée par les lignes de *Jatropha curcas*. Ces résultats s'expliquent, en outre, par l'effet des racines des *Jatropha curcas* qui entraînent l'aération et la décompaction du sol en créant des fissures dans le sol. Les tubercules de maniocs peuvent se développer et s'accroître très bien en milieu aéré et décompacté. Ces résultats peuvent aussi s'expliquer par une quantité de 120 g de NPK (12-24-12) reçue par chaque pied de *Jatropha curcas* avait reçu à l'installation. Les pieds de maniocs autour des rangs de *Jatropha curcas* ont profité d'une partie de ces apports.

Quant à la différence entre sites, il y a une différence significative entre le rendement du site A et ceux des deux sites B et C. Cette différence est due à la qualité du sol. Le sol du site A est plus riche en matières organiques que les sols des sites B et C.

La production des maniocs en amont des parcelles est aussi élevée pour le site C et surtout pour le site B, à part la production des maniocs autour des rangs de *Jatropha curcas*. Car, d'abord, il n'y a pas des transports des éléments nutritifs et des matières organiques causés par les ruissellements en amont des parcelles. Ensuite, les maniocs en amont des parcelles bénéficiaient des éléments nutritifs provenant du curage de canal de protection du site en amont. Ces résultats peuvent aussi s'expliquer par les facteurs limitants. Pour les sites C et B, l'eau et les éléments nutritifs sont les facteurs limitants. Or, Costantini et Loch (2002) ont rapporté qu'il y a dépôt des particules fines avec transfert de fertilités dans les rigoles, sillons, canaux hors des parcelles ou des sites d'étude. Cela veut dire que les parties en amont des parcelles sont riches. En plus, il y a infiltration dans le canal de protection en amont, car ce canal n'a pas

d'inclinaison dans le sens de la parcelle A1 jusqu'à la parcelle A9. En effet, les maniocs en amont des parcelles profitent de ces eaux et de ce transfert de fertilité pour les sites B et C. En revanche, pour le site A, il existe une inclinaison 3% depuis la parcelle A1 jusqu'à la parcelle A9. Alors, il est inutile de curer le canal de protection du site A, parce que le dépôt de sédiments dans ce canal est compliqué. Aussi, il n'y a pas d'infiltration d'eau et de transfert de fertilité en amont des parcelles. En tout cas, l'eau et les éléments nutritifs n'étaient pas des facteurs limitants. Puisque le site se place près d'un cours d'eau et le sol du site est riche en matières organiques.

Cette inclinaison (3%) dans le site rend hétérogène la répétition. Comme Govers et Poesen (1988), Hook & Burke (2000) et Takyu *et al.* (2002) ont rapporté, le transfert de fertilité du sol croît dans le sens amont vers l'aval de la pente (parcelle A1 vers A9). Ainsi, les rendements entre les mêmes traitements sont différents dans ce site.

Alors, on peut déduire à partir de ces résultats que le site d'Amberomena Ouest et d'Analabe donnent un meilleur effet de la culture de *Jatropha curcas* sur le rendement de manioc. Car, les rendements (réel et apparent) des traitements T1 et T2 dans ces 2 sites sont significativement élevés par rapport à ceux du traitement témoin. Les rendements du manioc ne diminuent pas malgré le remplacement des rangs de manioc par les rangs de *Jatropha curcas*. Cela est dû à l'élévation de la production des maniocs autour des rangs de *Jatropha curcas*. Cela confirme la 3^{ème} hypothèse. En plus de l'effet des rangs de *Jatropha curcas*, la production du manioc est aussi corrélée à l'effet de curage des canaux, à l'apport d'engrais NPK et aux caractéristiques du sol.

23. Matrice de corrélations

Le tableau 4 ci-dessous résume les facteurs influençant les pertes en terre et le rendement de culture de manioc.

- Le taux de couverture végétale est le premier facteur contrôlant la quantité de la perte en terre, tandis que le labour est le premier facteur augmentant cette quantité.
- La texture du sédiment est fortement corrélée à la texture du sol in situ. Et, l'augmentation de la pente, de l'intensité et de la hauteur de la pluie, et le labour font enrichir le sédiment en fraction sableuse.
- Les teneurs en éléments nutritifs et en matières organiques du sédiment diminuent fortement avec l'intensité et la hauteur de la pluie.
- Le rendement est fortement corrélé positivement au sol in situ.

- La méthodologie réduisait la quantité des fractions fines du sédiment, ainsi que les teneurs en éléments nutritifs et en matières organiques du sédiment, car on a fait drainer les eaux de ruissellement dans le canal d'érosion. Or, les eaux de ruissellement contiennent les suspensions des fractions fines et les éléments nutritifs.

Tableau 4 : Matrice de corrélation

FACTEURS		Perte en terre			Rendement	Pente	Taux de couverture	Rangs de Jatropha	Pluviométrie	Texture du sol (% sable)	Qualité du sol	Labour	Engrais	Méthodologie
		Quantité	% sable (texture)	Teneur en éléments										
Perte en terre	Quantité	1	0,2	-0,3	0	0,5	-0,9	-0,3	0,7	0,5	-0,3	0,7	0	-0,1
	% sable (texture)	0,2	1	-0,4	0	0,2	0	0	0,4	0,8	0	0,5	0	-0,2
	Teneur en éléments	-0,3	-0,4	1	0	-0,2	0	?	-0,7	-0,3	-0,1	-0,5	0,1	-0,3
Rendement		0	0	0	1	0	0,3	0,4	0,1	0	0,9	0,1	0,7	0
Pente		0,5	0,2	-0,2	0	1	0,1	0	0	0	0	0	0	0
Taux de couverture		-0,9	0	0	0,3	0,1	1	0,3	0	0	0,8	0	0	0
Rangs de Jatropha		-0,3	0	?	0,4	0	0,3	1	0	0	0	0	0	0
Pluviométrie		0,7	0,4	-0,7	0,1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Texture du sol (% sable)		0,5	0,8	-0,3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Qualité du sol		-0,3	0	-0,1	0,9	0	0,8	0	0	0	1	0	0	0
Labour		0,7	0,5	-0,5	0,1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Engrais		0	0	0,1	0,7	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Méthodologie		-0,1	-0,2	-0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

24. Limite du travail et recommandations

Problème général

Le temps de collecte des pertes en terre n'était pas vraiment régulier. Ce problème a été causé par l'existence de la rivière de Fenoarivo et d'une longue distance entre le logement et les sites d'expérimentations. Si le niveau d'eau de la rivière est élevé, il était impossible d'aller aux sites d'expérimentations. Et depuis Fenoarivo, il faut environ 2 heures de temps pour marcher jusqu'aux sites A et B, et environ 3h 30 mm pour marcher jusqu'au site C. Il faut donc un moyen de transport et il faut trouver un logement dans le Fonkotany de Sakafia qui est assez proche des sites A et B.

Problème méthodologique

La plupart des canaux d'érosions ont débordé au cours du septième groupe d'évènements dans les sites A et B. Ainsi, plusieurs quantités des pertes en terre devaient être évaluées à partir des quantités de la précipitation, des intensités des pluies et des taux de couverture végétale dans ces 2 sites.

Consécutivement, il se pourrait que les eaux de ruissellement des certains évènements ont aussi débordées mais n'étaient pas prises en compte. Or, ces débordements des eaux de ruissellements hors des canaux d'érosion influencent les quantités des pertes en terre et leurs textures.

Par ailleurs, s'il y avait encore des eaux de ruissellements dans le canal d'érosion au moment de la collecte du sédiment, le moyen qu'on a utilisé pour évacuer ces eaux était de trouser par un clou le sachet plastique couvrant le canal d'érosion, parce que le sédiment devrait être relativement sec afin de le tamiser. Cette évacuation entraîne évidemment la perte des particules fines en suspension dans ces eaux.

Pour résoudre ces précédents problèmes, il faut que les sédiments et les ruissellements dans le canal d'érosion soient conduits dans un grand baril selon la méthode d'Atarofi et Monasterio (1997). Les échantillons pour toutes les analyses seront pris à partir des sédiments et ruissellements bien mélangés dans le baril.

La mesure du taux de couverture végétale par estimation visuelle était très subjective. Ainsi, elle ne permet pas de déterminer le taux de couverture végétale exact de la parcelle d'érosion. Or, il est très important de connaître cette valeur. La meilleure méthode de mesure du taux de recouvrement est la prise d'images à 100 m au-dessus de la surface à mesurer (Seefeldt et Booth, 2006).

Problème d'analyse

L'analyse du sol de parcelle d'érosion n'a pas été effectuée ; seule l'analyse des sédiments a été effectuée. On a pris simplement les résultats d'analyse de parcelle d'érosion de la recherche précédente. Mais, cette analyse est très importante, parce qu'elle permet de déterminer la stabilité structural du sol. D'ailleurs, aucune analyse chimique n'a été effectuée ni pour la parcelle d'érosion, ni pour le sédiment. Il est donc nécessaire de faire des analyses granulométrique et chimiques tant des parcelles d'érosions que des sédiments.

Conclusion

Les études ont été menées dans les parcelles de manioc, sur 3 sites d'études dans la Commune de Fenoarivo. Elles ont été conduites sur le sol relativement pauvre en matières organiques et de texture sableuse et sous un climat assez agressif. Il reste à voir dans quelles mesures les résultats peuvent être transcrits dans d'autres situations.

Pour conclure le présent travail, l'introduction de la culture de *Jatropha curcas* dans le système de culture de manioc sur le sol de *tanety* est bénéfique pour les producteurs tant au niveau de la réduction quantitative des pertes en terre qu'au niveau de l'amélioration du rendement du manioc. Car la quantité de la perte en terre du traitement T0 est inférieure à celle des traitements T1 et T2, les rendements des traitements T1 et T2 sont supérieurs à ceux du traitement T0 dans les sites d'Amberomena Ouest et d'Analabe, ce qui signifie que la première et la troisième hypothèses sont confirmées dans le site B et C. La deuxième hypothèse est confirmée en partie puisque la quantité de la perte en terre du traitement T1 est inférieure à celle des traitements T2, tandis qu'aucune conclusion ne peut être tirée concernant l'effet du traitement sur les caractéristiques des sédiments.

Les résultats obtenus montrent que le site B (Amberomena Ouest) est le meilleur pour l'introduction des rangs de *Jatropha curcas* dans les parcelles de manioc tant pour la réduction des effets néfastes de l'érosion hydrique que pour l'amélioration du rendement du manioc. Ceux-ci confirment aussi la littérature sur l'efficacité du *Jatropha curcas* sur les terrains marginaux. Les conditions pour les meilleurs résultats sont donc une pente faible ($\leq 5\%$) et un sol pauvre en matières organiques. Quoiqu'il en soit, parmi ces 2 traitements, le traitement T2 est efficace par rapport au traitement T1 pour le contrôle de l'érosion hydrique. Tandis que, le traitement T1 est intéressant pour les paysans. Puisque, non seulement son rendement apparent est un peu élevé par rapport à celui du traitement T2, mais aussi il est plus économique (exige moins de dépense en engrais) et facile à installer.

L'ensemble des études menées sur les parcelles de manioc met bien en évidence l'influence du *Jatropha curcas* dans la réduction de l'érosion. Les études font particulièrement ressortir le fait que le *Jatropha curcas* exerce, outre un rôle de protection des sols par couverture et fixation, une action d'amélioration des rendements de cultures. Les résultats montrent ainsi que la perte en terre est corrélée avec le taux de couverture végétale du sol et que le *Jatropha curcas* améliore le rendement. Le

rendement de cultures est lié à la nature du sol, l'effet de *Jatropha curcas* et l'apport d'engrais minéraux.

Les résultats obtenus sont différents des résultats antérieurs obtenus par Fabienne (2009). L'effet de *Jatropha curcas* sur l'érosion hydrique a été confondu dans la précédente étude, puisque les parcelles venaient d'être labourées et les cultures venaient d'être plantées. Et ceux-ci confirment aussi la littérature sur l'effet de labour de l'âge de la végétation sur l'érosion hydrique.

En tout cas, une expérimentation sur l'association de manioc et de *Jatropha curcas* sans apport d'engrais est en cours afin de connaître exactement si l'augmentation de production des maniocs autour des rangs de *Jatropha curcas* est l'effet de ceux-ci (rangs de *Jatropha curcas*) ou l'effet de l'engrais NPK. Une expérimentation qui consiste à remplacer les rangs de *Jatropha curcas* par des rangs de maniocs (avec apport de NPK) devrait être mise en parallèle. Cette expérimentation a pour but de déterminer si la réduction des pertes en terre des traitements T1 et T2 est l'effet du taux de couverture ou l'effet spécifique du *Jatropha curcas*.

Le *Jatropha curcas* est une plante pérenne et ses effets ne se résument pas sur une année. Mais, pour les terrains à pente très faible ($\leq 5\%$), il y a déjà des effets sur la réduction de l'érosion et sur le rendement. Les avantages s'amélioreront au fil du temps jusqu'à une quarantaine ou cinquante d'années. Quoiqu'il en soit, on devrait connaître à partir de quelle année les rangs de *Jatropha curcas* auront des effets tant sur les qualités du sol que sur les quantités des pertes en terre, et qu'en quelle année le rendement de la culture associée sera optimum. En tout cas, ceux-là nécessitent des analyses physiques, chimiques et microbiologiques des sols et des sédiments.

Sur le plan économique, le *Jatropha curcas* est source d'énergie ; ainsi, il sera une source de revenus pour les paysans. En plus, il est une plante peu exigeante. De ce fait, il permet de valoriser les tanety et les terrains infertiles. Et pour la culture en vue de maximiser la production de *Jatropha curcas* dans l'association avec d'autre culture, il faut mieux espacer les pieds de *Jatropha curcas* afin de minimiser le coût d'installation et de donner à chaque plante une espace optimale.

Références bibliographiques

- Alberts, E.E., Moldenhauer, W.C., Foster G.R., 1980. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 590-595.
- Arnold, J.B., Moore, N., Shelton, I.J., Wall, G., 1989. L'érosion du sol - Causes et Effets. FICHE TECHNIQUE – ISSN 1198 – 7138. Agdex : 572.
- Ataroff Michele, Monasterio Maximina, 1997. Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Soil Technology*, 11 (1997) 95-108.
- Aussenac, G., 1981. L'interception des précipitations par les peuplements forestiers. *La houille blanche*, n°7-8, pp. 531-536.
- Auzet, A.V., Poesen, J., Valentin, C., 2004. Soil surface characteristics: dynamics and impact on soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* 9 (29), 1063–1064.
- Béliveau, A., Lucotte, M., Davidson, R., Otávio do Canto Lopes, L., Paquet, S., 2009. Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon. *science of the Total Environment*, 207: 4480 – 4489.
- Beuselinck, L., 1999. Sediment deposition by overland flow, an experimental and modelling approach. Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.
- Beuselinck, L., Steegen, A., Govers, G., Nachtergaele, J., Takken I., Poesen, J., 2000. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian loam belt. *Geomorphology* 32, 69-82.
- Bonnet, D., 1983. Prise en compte des risques naturels en forêt de montagne : quelques réflexions dans le cas des forêts soumises des Alpes du nord. Grenoble : Cemagref, 106p.
- Bonnet, J., 2008. Wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten des *Jatropha curcas*-Anbaus zur Rekultivierung de gradierter ehemaliger Naturzaldböden und zur Bekämpfung der Bodenerosion in Madagaskar – eine multiple wissenschaftliche Analyse. *JatroSolutionsGmbH*, Stuttgart.
- Bünner Nele Mareike, 2009. Analysis of the socio-economic situation of households in the vicinity of a *Jatropha* plantation in Madagascar. Institute for Agricultural Economics and Social Sciences in Tropics and Subtropics, Hohenheim University.
- Carl Shixiong Cao, Li Chen, Wangsheng Gao, Yuanquan Chena, Maochao Yan, 2005. “Impact of planting grass on terrene roads to avoid soil erosion” Received 14 September 2004; received in revised form 22 July 2005; accepted 22 July 2005, Available online 11 October 2005.
- Carreker, JR., Wilkinson, SR., Barnett AP., Box, JE., 1978. Soil and Water Systems for Sloping Lands. USDA, ARS-S-160.
- Carroll, C., Merton, L., Burger, P., 2000. “Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines”. *Australian Journal of Soil Research*, Volume 38, 2000 © CSIRO.
- Carter, S.E., Frescolo, C., Jones, P.G., 1992. An atlas of cassava in Africa: historical, agroecological and demographic aspects of crop distribution. Ciat, Cali, Columbia, 86 p.
- Cerdà, A. (1998a). The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. *Canadian journal of soil science*, vol. 78, pp. 321-330.
- Chaudhary, D. R., Ghosh A., Chikara J., Patolia J. S., 2008. 'Soil Characteristics and Mineral Nutrient in Wild *Jatropha* Population of India', *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 9, 1476 — 1485
- Chen, Z.S., Hsieh, C.F., Jiang, F.Y., Hsieh, T.H., Sun I.F. 1997. Relations of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. *Plant Ecol* 132:229–241.

- Cock, J.H., 1985. Cassava: new potential for a neglected crop. *Iadsseries, Ciat, Gtz*, 191 p.
- Cosandey, C., Didon-Lescot, J.F., Martin, C. 2000. Forêt et écoulements : étude des processus responsables des modifications du bilan d'écoulement annuel à l'occasion d'une coupe forestière. *Forêt Méditerranéenne*, vol. 21, n°2 spécial « Foresterranée'99 », pp. 154-155.
- Costantini, A. & Loch, R.J., 2002. Effects of site preparation on runoff, erosion, and nutrient losses from *Pinus* plantations established on the coastal lowlands of south-east Queensland, Australia. *Australian Journal of Soil Research CSIRO Publishing*. Volume 40 1287-1302.
- Dabat Marie-Hélène, 2001. Analyse de la filière manioc. Projet FOFIFA/EARRNET. Contribution au rapport final CIRAD/CA/CALIM.
- Davis, S.S., Foster, G.R., Huggins, L.F., 1983. Deposition of nonuniform sediment on concave slopes. *Trans. ASAE* 26, 1057-1063.
- De Ploey, J. & Poesen, J., 1985. Aggregate stability, runoff generation and intenill erosion. In: KS. Richards, R.R. Amen and S. Ellis (editors), *Geomorphology and Soils*. George Allen and Unwin (Publishers) Ltd., London, pp. 99- 120.
- Dunne, T., Zhang, W., Aubry, B.F., 1991. Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff. *Water resources research*, vol. 27, pp. 2271-2285.
- Ellison, W.D., 1947. Soil erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, 12:479–484.
- Emerson, W. W. & Greenland, D. J., 1990. Soil aggregates - Formation and stability. Dans de Boodt, M. F., éditeur, *Soil colloids and their association in aggregates*, pages 485–511. Plenum Press, New York.
- Fabienne Muriel Verzeletti, 2009. Analyse des Erosionsminderungspotentials von *Jatropha curcas*-Anbau durch Integration in ein traditionelles Maniokanbausystem in MadagasKar. Masterarbeit. 109p.
- Farenhorst, A. and Bryan, R. B., 1995. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. *Catena*, 25:47–62.
- Floret, Ch. & Pontanier, R., 2001. La jachère en Afrique tropicale: de la jachère naturelle à la jachère améliorée. *Le point de connaissance*, volume 2, 339p.
- Foster, G. & Dabney, S., 1995. *Agricultural Tillage Systems: Water Erosion and Sedimentation*. Farming for a Better Environment, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA
- Foster, G.R., 1990. Process-based modelling of soil erosion by water on agricultural land. Dans Boardman, J., Foster, I. & Dearing, J., éditeurs, *Soil erosion on agricultural land*, pages 429–445.
- Foster, G.R., Flanagan, D.C., Nearing, M.A., Lane, L.J., Risse, L.M., Finkner, S.C., 1995. *Water Erosion Prediction Project (WEPP)*. Technical Documentation. NSERL Report No. 10. National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-ARS, West Lafayette, IN 47907-1196.
- Freudenberger Mark, Oct. 2006. « Le *Jatropha curcas*: Aperçu global de la Production, Transformation, et Commercialisation à Madagascar ».
- Geddes, N. & Dunkerley, D., 1999. The influence of organic litter on the erosive effects of raindrops and of gravity drops released from desert shrubs. *Catena*, vol. 36, pp. 303-313.
- Gilley, J.E., 2005. « Erosion Water-Induced »; USDA Agricultural Research Service, Lincoln, NE, USA, Elsevier Ltd. *Encyclopedia of soils in environment*, volume 1. p 545 – 550.
- Govers, G. and Poesen, J., 1988. Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. *Geomorphology*. I : 343-354.
- Gubitz, G.M., Mittelbach, M. & Trabi, M. (1999). Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology*, 67: 73-82.
- Handel, S.N., Robinson, G.R., Parsons, W.F.J., Mattei, J.H., 1997. Restoration of woody plants to capped landfills: root dynamics in an engineered soil. *Restoration Ecology*, vol. 5, pp. 178-186.

- Haygarth, P.M., Wood, F.L., Heathwaite, A.L., Butler, P.J., 2005. Phosphorus dynamics observed through increasing scales in a nested headwater-river channel study. *Science of the Total Environment*, 344: 83 – 106.
- Heller, J., 1996. *Physic nut, Jatropha curcas. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 1*. IPGRI, Rome, Italy, 66 pp.
- Henning, R.K., 2002. Utilisation des savoirs locaux sur le Jatropha. Notes sur les Connaissances Autochtones (CA), N°47.
- Henning, R.K., 2004. The Jatropha system. Integrated rural development by utilisation of Jatropha curcas L. as raw material and as renewable energy. Studientag Möglichkeiten und Grenzen erneuerbarer Energien in Tansania- Erfahrungen in der Partnerschaftsarbeit. 24 April 2004, Hamburg, Germany, Published by Tanzania-network.de: http://www.tanzania-network.de/download/Themen/Energie/HENNING_2004.
- Henning, R.K., 2009. Jatropha system – An integrated approach of rural development.
- Hook, P. & Burke, I., 2000. Biogeochemistry in a shortgrass landscape: control by topography, soil texture, and microclimate. *Ecology* 81:2686–2703.
- Hope, B., 2005. A mass budget for mercury in the willametter river basin, Oregon, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*. 161: 365 – 382.
- Howeler, R.H., 1987. Soil conservation practices in cassava-based cropping systems. Proc. Int. conf. on Steepland Agriculture in the Humid Tropics, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Howeler, R.H., 2001. Cassava Mineral Nutrition and Fertilization. In: R.J. Hillocks, M.J. Thresh and A. Bellotti, eds. *Cassava: Biology, Production and Utilization* 115-47. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Hudson, N.W., 1973. *Soil Conservation*. London: Batsford.
- Iijima, M., Izumi, Y., Yuliadi, E., Sunyoto, 1999. Approach for sustainable crop production system in red acid soil region in Indonesia. In T. Horie, et al. eds., *World Food Security and Crop Production Technologies for Tomorrow*. Cosmic Printing, Kyoto. 229-232.
- Iijima, M., Izumi, Y., Yuliadi, E., Sunyoto, Afandiã, Utomo, M., 2003. Erosion control on a steep sloped coffee field in Indonesia with alley cropping, intercropped vegetables, and no-tillage. *Plant Prod. Sci.* 6: 224-229.
- Ingwersen Joachim, 2007. Final report on the soil inventory of two Jatropha plantations in Madagascar.
- Izumi, Y. & Iijima, M., 2002. Fractal and multifractal analysis of cassava root system grown by the root-box method. *Plant Prod. Sci.* 5: 146-151.
- Kawano, K., Daza, P., Amaya, A., Rios, M., Goncalves, W.M.F., 1978. Evaluation of cassava germplasm for productivity. *Crop Sci.* 18: 377-380.
- Kinnell, P.I.A., (1990). The mechanics of raindrop-induced flow transport. *Australian Journal of Soil Research*, 28:497–516.
- Kinnell, P.I.A., 1991. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 34(1):161–168.
- Kinnell, P.I.A., 2000a. A discourse on rainfall erosion processes and modelling on hills- lopes. Occasional paper 6, Centre for Australian Regolith Studies.
- Laflen, J.M., Tian, J., Huang, C., 2000. « Soil Erosion and Dryland Farming». Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lal, R., 1999. «Soil Quality and Soil Erosion». Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lal, R., Blum, W.H., Valentine, C., Stewart, B.A., 1998. *Methods for Assessment of Soil Erosion*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A., Martin, S., 1992. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: *Myths and Science of Soils in the Tropics*, pp 157-185. Special Publication No. 29. Madison, WI: Soil Science Society of America.

- Le Bissonnais, Y. & Arrouays, D., 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science*, 48(1):39–48.
- Le Bissonnais, Y., Cros-Cayot, S., Gascuel-Oudou, C., 2002. Topographic dependance of aggregate stability, overland flow and sediment transport. *Agronomie*, 22:48–501
- Le Bissonnais, Y. and Le Souder, C., 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Étude et Gestion des Sols*, 2(1):43–56.
- Leguedois, S., 2003. Mécanismes de l'érosion diffuse des sols: Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse Présentée à l'Université d'Orléans. 145p.
- Lu, J.Y., Cassol, E.A., Foster, G.R., Neibling, W.H., 1988. Selective transport and deposition of sediment particles in shallow flow. *Trans. ASAE* 31, 1141–1147.
- Lumbanraja, J., Syam, T., Nishide, H., Mahi, A.K., Utomo, M., Sarno, Kimura, M., 1998. Deterioration of soil fertility by land use changes in South Sumatra, Indonesia: from 1970 to 1990. *Hydrol. Process.* 12: 2003-2013.
- Lynden, V.G.W.J., Ritsema, C.J., Jetten, V.G., De Jong, S.M., 2005. Soil degradation. Elsevier Ltd. *Encyclopedia of soils in environment*, volume 1. p 370 – 377.
- Martinez-Mena, M., Alvarez, R.J., Albaladejo, J., Castillo, V.M., 1999. Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. *Catena*, vol. 38, pp. 175-190.
- Mazurak, A.P. & Moscher, P.N., 1968. Detachment of soil particles in simulated rainfall. *Soil Science Society of America Proceedings*, 32(5):716–719.
- Mazurak, A.P. & Moscher, P.N., 1970. Detachment of soil aggregates by simulated rain- fall. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34:798–800.
- Monographie de la Région de Haute Matsiatra, 2003. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche. UPDR. REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA.
- Napier, T.L., Napier, S.M., Turdon, J., 2000. « Soil and Water Conservation Policies and Programs: Successes and Failures ». Boca Raton, FL: CRC Press.
- Neuvy, G., 1995. Eau continentale et aménagement rural, les domaines tropicales malagaches, 156p.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644.
- Ogunwole, J.O., Chaudhary, D.R., Gosh, A., Daudu, C.K., Chikara, J. & Patolia, S., (2008). Contribution of *Jatropha curcas* to soil quality improvement in a degraded Indian entisol. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil & Plant Science*, 58: 245-251.
- Petan Sašo, Simon Rusjan, Andrej Vidmar, Matjaž Mikoš; 2010. The rainfall kinetic energy–intensity relationship for rainfall erosivity estimation in the mediterranean part of Slovenia. *Journal of Hydrology*, Volume 391, Issues 3-4, 24 September 2010, Pages 314-321.
- Pierce, F.J. & Frye W.W., 1998. « Advances in Soil and Water Conservation ». Chelsa: Sleeping Bear Press.
- Poesen, J., 1981. Rainwash experiments on the erodibility of loose sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6:285–307.
- Poesen, J. & Savat J., 1980. Particle-size separation during erosion by splash and runoff. Dans de Boodt, M. & Gabriels, D., éditeurs, *Assessment of erosion*, pages 427–439. Wiley.
- Poesen, J. & Savat, J. 1981. Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. Part II: Detachability and transportability measurements. *Catena*, 8(1):19–41.
- Projet de Lutte Anti-Erosive, PLAE, 2006. Programme de Développement Rural sous tutelle du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche. Antenne Soavina. Utilisation de la télédétection pour la

- cartographie de l'occupation du sol et de la dynamique de la végétation dans le but d'évaluer les zones à risques d'érosion.
- Putthacharoen, S., 1993. Nutrient removal by crops and nutrient loss by erosion in cassava in comparison with that of other crops. MSc thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 103p.
- Putthacharoen, S., R. Howeler, S. Jantawat and V. Vichukit. 1998. Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a Psamment in eastern Thailand. *Field Crops Research* 57:113-126.
- Raffaillac, J.P., 1996. La fertilité en zone tropicale humide et le manioc. In actes du séminaire sur la fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, Montpellier, France. J. Pichot, N. Sibeletet JJ. Lacoeyuilhe(éd. Sci.), éd. Cirad, pp. 286-298.
- Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., Diaz-Barriga, F., Monroy, M., 2004. Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area on Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*. 152. 129 – 152.
- Reij, C., Scoones, I., Toulmin, C., 1996. Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. Karthala (Coll Economie et développement), Paris, 355 p.
- Remamy Razafimiroe Randzavola Nirina, 2005. Quantification des ruissellements et érosion sur défriches des hautes terres de Madagascar : labour et semis direct sur couverture végétale permanente. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en Agronomie. 56p.
- Robert, M. & Stengel, P., 1999. Sols et agriculture ressources en sol, qualité et processus de dégradation, une perspective mondiale européenne et française. *Cahier Agriculture – 8* : 301 – 308.
- Roose, E., 1976. Contribution à l'étude de l'influence de la mésofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical. Adiopodoumé, Côte-d'Ivoire: ORSTOM
- Ruelle, P. et al., 1990. Défense et restauration des sols. Coll. Fiches techniques, ISRA, CIRAD, Réseau RBS, Dakar, Montpellier, vol. 1, 6 fiches.
- Seefeldt, S.S., & Booth, D.T., 2006. Measuring Plant Cover in Sagebrush Steppe. *Springer Science+Business Media, Inc. Environmental Management Vol. 37, No. 5*, pp. 703–711.
- Seguy, L., S. Bouziniac, A.C. Maronnezi, 2001. Un dossier du semis direct: Système de culture et dynamique de la matière organique. CIRAD-CA-AGRNOTE. PESQUISAS-GROUPE MAEDA – ONG TAFI/FOFIFA/ANAE, 202p.
- Schiettecatte, W., Gabriels, D., Cornelis, W.M., Hofman G., 2007. Impact of deposition on the enrichment of organic carbon in eroded sediment. *Catena* 72 (2008) 340–347
- Spaan, W.P., Sikking, A.F.S., Hoogmoed, W.B. 2005. Vegetation barrier and tillage effects on runoff and sediment in an alley crop system on a Luvisol in Burkina Faso. *Soil & Tillage Research* 83. 194–203.
- Suyanto and Howeler, R.H., 2001. Cultural practices for soil erosion control in cassava-based cropping systems in Indonesia. International Erosion Control Association, Ground and Water Bioengineering for the Asia-Pacific Region, eds. info@scipub.net
- Takyu, M., Aiba S., Kitayama, K., 2002 Effects of topography on tropical lower montane forests under different geological conditions on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecol* 159:35–49
- Turkelboom, F., Oesen, J.P., Ohler, I., Van Keer, Ongprasert, S., Vlassak, K., 1997. Assessment of tillage erosion rates on steep slopes in northern Thailand.
- Üllenberg Alfons. Décembre 2007. Jatropha in Madagascar - Sachstandsbericht für die Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ). 29p.
- Vägen Tor-Gunnar, Masy-A.A. Andrianorofanomezana, Salmata Andrianorofanomezana, 2006. Deforestation and cultivation effects on characteristics of oxisols in the highlands of Madagascar. *Geoderma*, 131: 190 – 200.
- Wan, Y. & El-Swaify, S. A., 1998. Characterizing interrill sediment size by partitioning splash and wash processes. *Soil Science Society of America Journal*, 62:430–437.

- Ward, A.D. & Elliot, W.J., 1995. «Environmental Hydrology». Boca Raton, FL: CRC Press.
- Wischmeier, W.H., Jonhson, C.B., Cross, B.V., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J Soil Water Conserv* 26(5): 189-192
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1960 A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Proc. 7th Congress of International Soil Science Society, Madison, WI*
- Woo, M., Fang, G., Dicenzo, P.D., 1997. The role of vegetation in the retardation of rill erosion. *Catena*, vol. 29, pp. 145-159.
- Yared, J.G., 2003. Soil Erosion Assessment Using Remotely Sensed Data and Ancillary Data in the Desert Of Tabernas, southeast Spain. Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation, Environmental System Analysis and Monitoring specialization.
- Zingg, A.W., (1940) Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering* 21, 59-64.
- Zordia, M., 1977. Lutte contre les inondations par la reforestation. 23 p.

Annexes

Annexe 1 : Répartition de la précipitation en plusieurs événements

Site	Evènement	Temps	Pluviométrie (mm)
A	1A	06/12/09 12h - 11/12/09 12h	41.6
	2A	11/12/09 12h - 17/12/09 12h	5.0
	3A	17/12/09 12h - 20/12/09 12h	34.4
	4A	20/12/09 12h - 26/12/09 12h	2.6
	5A	26/12/09 12h - 05/01/10 12h	73.2
	6A	05/01/10 12h - 13/01/10 12h	19.4
	7A	13/01/10 12h - 24/01/10 12h	142.2
	8A	24/01/10 12h - 01/02/09 12h	27.8
B	1B	06/12/09 12h - 12/12/09 12h	42.6
	2B	12/12/09 12h - 18/12/09 12h	4.0
	3B	18/12/09 12h - 21/12/09 12h	33.2
	4B	21/12/09 12h - 27/12/09 12h	5.2
	5B	27/12/09 12h - 06/01/10 12h	75.0
	6B	06/01/10 12h - 14/01/10 12h	47.8
	7B	14/01/10 12h - 25/01/10 12h	115.6
	8B	25/01/10 12h - 02/02/10 12h	25.6
C	1C	06/12/09 12h - 13/12/09 12h	45.2
	2C	13/12/09 12h - 19/12/09 12h	0.6
	3C	19/12/09 12h - 22/12/09 12h	33.2
	4C	22/12/09 12h - 28/12/09 12h	6.6
	5C	28/12/09 12h - 07/01/10 12h	77.0
	6C	07/01/10 12h - 14/01/10 16h	15.0
	7C	14/01/10 16h - 26/01/10 12h	83.0
	8C	26/01/10 12h - 28/01/10 12h	21.0

Annexe 2 : Dates de mesure du taux de couverture végétale

Amberomena Est	Amberomena Ouest	Analabe
11/12/09	12/12/09	13/12/09
20/12/09	21/12/09	22/12/09
05/01/10	06/01/10	07/01/10
15/01/10	16/01/10	17/01/10
01/02/09	25/01/10	26/01/10

Annexe 3 : quantité des pertes en terre par parcelle et par événement

site	Événement	Parcelle	Traitement	Date de collecte	Perte en terre total (g)	Masse du gravier (g)	Perte en terre humide (g) < 2mm	Échantillon humide (g)	Échantillon sec (g)	Perte en terre total sec (g)
A	1A	1	0	11/12/2009	13240	110	13130	120	114	12583,5
A	1A	2	1	11/12/2009	14510	263	14247	120	111	13441,5
A	1A	3	2	11/12/2009	13970	198	13772	120	114	13281,4
A	1A	4	2	11/12/2009	12840	206	12634	120	112	11997,7
A	1A	5	0	11/12/2009	14200	146	14054	120	110	13028,8
A	1A	6	1	11/12/2009	13550	127	13423	120	113	12767,0
A	1A	7	1	11/12/2009	12870	98	12772	120	111	11912,1
A	1A	8	2	11/12/2009	11290	86	11204	120	114	10729,8
A	1A	9	0	11/12/2009	12450	140	12310	120	113	11731,9
A	2A	1	0	18/12/2009	145	15	130	120	120	145,0
A	2A	2	1	18/12/2009	156	23	133	120	120	156,0
A	2A	3	2	18/12/2009	162	25	137	120	120	162,0
A	2A	4	2	18/12/2009	128	21	107	120	120	128,0
A	2A	5	0	18/12/2009	140	19	121	120	120	140,0
A	2A	6	1	18/12/2009	115	11	104	100	100	115,0
A	2A	7	1	18/12/2009	110	4	106	100	100	110,0
A	2A	8	2	18/12/2009	104	3	101	100	100	104,0
A	2A	9	0	18/12/2009	139	12	127	120	120	139,0
A	3A	1	0	27/12/2009	9420	180	9240	120	111	8727,0
A	3A	2	1	27/12/2009	9024	170	8854	120	113	8507,5
A	3A	3	2	27/12/2009	11200	197	11003	120	112	10466,5
A	3A	4	2	27/12/2009	10490	156	10334	120	105	9198,3
A	3A	5	0	27/12/2009	10020	142	9878	120	113	9443,8
A	3A	6	1	27/12/2009	9070	123	8947	120	111	8399,0
A	3A	7	1	27/12/2009	7180	114	7066	120	116	6944,5
A	3A	8	2	27/12/2009	9050	120	8930	120	101	7636,1
A	3A	9	0	27/12/2009	10040	131	9909	120	115	9627,1
A	5A	1	0	05/01/2010	22130	160	21970	120	115	21214,6
A	5A	2	1	05/01/2010	25040	252	24788	120	108	22561,2
A	5A	3	2	05/01/2010	23300	269	23031	120	104	20229,2
A	5A	4	2	05/01/2010	20470	245	20225	120	101	17267,7
A	5A	5	0	05/01/2010	19020	173	18847	120	105	16664,1
A	5A	6	1	05/01/2010	18230	210	18020	120	104	15827,3
A	5A	7	1	05/01/2010	16070	70	16000	120	108	14470,0
A	5A	8	2	05/01/2010	15800	50	15750	120	105	13831,3
A	5A	9	0	05/01/2010	19890	183	19707	120	106	17590,9
A	6A	1	0	13/01/2010	11240	123	11117	120	107	10035,7
A	6A	2	1	13/01/2010	12470	260	12210	120	111	11554,3
A	6A	3	2	13/01/2010	13400	243	13157	120	109	12193,9
A	6A	4	2	13/01/2010	10020	196	9824	120	108	9037,6
A	6A	5	0	13/01/2010	13800	153	13647	120	107	12321,6
A	6A	6	1	13/01/2010	11290	142	11148	120	109	10268,1

A	6A	7	1	13/01/2010	11030	46	10984	120	110	10114,7
A	6A	8	2	13/01/2010	9860	40	9820	120	109	8959,8
A	6A	9	0	13/01/2010	12110	68	12042	120	109	11006,2
A	8A	1	0	01/02/2010	12030	114	11916	120	113	11334,9
A	8A	2	1	01/02/2010	13400	193	13207	120	110	12299,4
A	8A	3	2	01/02/2010	14060	172	13888	120	113	13249,9
A	8A	4	2	01/02/2010	11490	160	11330	120	105	10073,8
A	8A	5	0	01/02/2010	13050	145	12905	120	111	12082,1
A	8A	6	1	01/02/2010	11800	116	11684	120	104	10242,1
A	8A	7	1	01/02/2010	11900	62	11838	120	106	10518,9
A	8A	8	2	01/02/2010	10270	45	10225	120	102	9588,3
A	8A	9	0	01/02/2010	12350	138	12212	120	112	11434,1
B	1B	1	1	12/12/2009	12230	120	12110	120	111	11321,8
B	1B	2	2	12/12/2009	12530	140	12390	120	110	11497,5
B	1B	3	0	12/12/2009	14710	156	14554	120	112	13739,7
B	1B	4	0	12/12/2009	15050	120	14930	120	111	13930,3
B	1B	5	2	12/12/2009	13800	112	13688	120	113	13001,5
B	1B	6	1	12/12/2009	13550	118	13432	120	111	12542,6
B	1B	7	2	12/12/2009	14010	126	13884	120	102	11927,4
B	1B	8	0	12/12/2009	14670	108	14562	120	114	13941,9
B	1B	9	1	12/12/2009	12450	102	12348	120	115	11935,5
B	3B	1	1	21/12/2009	9420	180	9240	110	102	8748,0
B	3B	2	2	21/12/2009	8450	170	8280	110	101	7772,5
B	3B	3	0	21/12/2009	11200	197	11003	110	105	10699,9
B	3B	4	0	21/12/2009	10490	156	10334	110	103	9832,4
B	3B	5	2	21/12/2009	9070	142	8928	110	100	8258,4
B	3B	6	1	21/12/2009	10020	123	9897	110	104	9480,2
B	3B	7	2	21/12/2009	7180	114	7066	110	102	6666,1
B	3B	8	0	21/12/2009	12050	120	11930	110	101	11073,9
B	3B	9	1	21/12/2009	10040	131	9909	110	103	9409,4
B	4B	1	1	27/12/2009	214	8	206	120	120	214,0
B	4B	2	2	27/12/2009	145	9	136	120	120	145,0
B	4B	3	0	27/12/2009	172	8	164	120	120	172,0
B	4B	4	0	27/12/2009	230	6	224	120	120	230,0
B	4B	5	2	27/12/2009	150	5	145	120	120	150,0
B	4B	6	1	27/12/2009	160	3	157	120	120	160,0
B	4B	7	2	27/12/2009	179	4	175	120	120	179,0
B	4B	8	0	27/12/2009	210	5	205	120	120	210,0
B	4B	9	1	27/12/2009	204	2	202	120	120	204,0
B	5B	1	1	06/01/2010	23120	235	22885	120	101	19496,5
B	5B	2	2	06/01/2010	17890	221	17669	120	109	16270,3
B	5B	3	0	06/01/2010	25960	201	25759	120	104	22525,5
B	5B	4	0	06/01/2010	26010	196	25814	120	107	23213,5
B	5B	5	2	06/01/2010	19300	181	19119	120	102	16432,2
B	5B	6	1	06/01/2010	21840	143	21697	120	107	19489,5
B	5B	7	2	06/01/2010	17080	120	16960	120	103	14677,3

B	5B	8	0	06/01/2010	25060	197	24863	120	107	22366,5
B	5B	9	1	06/01/2010	22090	189	21901	120	103	18987,4
B	6B	1	1	14/01/2010	20130	320	19810	120	101	16993,4
B	6B	2	2	14/01/2010	15040	312	14728	120	108	13567,2
B	6B	3	0	14/01/2010	21300	291	21009	120	104	18498,8
B	6B	4	0	14/01/2010	21470	245	21225	120	101	18109,4
B	6B	5	2	14/01/2010	18020	213	17807	120	100	15052,2
B	6B	6	1	14/01/2010	19230	210	19020	120	104	16694,0
B	6B	7	2	14/01/2010	16070	205	15865	120	108	14483,5
B	6B	8	0	14/01/2010	21800	189	21611	120	105	19098,6
B	6B	9	1	14/01/2010	18890	214	18676	120	107	16866,8
B	8B	1	1	02/02/2010	5260	98	5162	120	107	4700,8
B	8B	2	2	02/02/2010	4870	97	4773	120	104	4233,6
B	8B	3	0	02/02/2010	5890	85	5805	120	109	5357,9
B	8B	4	0	02/02/2010	6120	76	6044	120	108	5515,6
B	8B	5	2	02/02/2010	4530	74	4456	120	107	4047,3
B	8B	6	1	02/02/2010	4860	56	4804	120	109	4419,6
B	8B	7	2	02/02/2010	4850	72	4778	120	100	4053,7
B	8B	8	0	02/02/2010	6130	84	6046	120	109	5575,8
B	8B	9	1	02/02/2010	5290	69	5221	120	105	4637,4
C	1C	1	2	11/12/2009	8560	50	8510	120	110	7850,8
C	1C	2	0	11/12/2009	9100	98	9002	120	111	8424,9
C	1C	3	1	11/12/2009	7520	112	7408	120	114	7149,6
C	1C	4	1	11/12/2009	9110	104	9006	120	112	8509,6
C	1C	5	2	11/12/2009	7800	99	7701	120	110	7158,3
C	1C	6	0	11/12/2009	8970	119	8851	120	113	8453,7
C	1C	7	0	11/12/2009	8760	132	8628	120	111	8112,9
C	1C	8	1	11/12/2009	9030	111	8919	120	114	8584,1
C	1C	9	2	11/12/2009	7900	131	7769	120	113	7446,8
C	3C	1	2	20/12/2009	5940	15	5925	120	111	5495,6
C	3C	2	0	20/12/2009	7010	23	6987	120	113	6602,4
C	3C	3	1	20/12/2009	6140	25	6115	120	112	5732,3
C	3C	4	1	20/12/2009	6410	21	6389	120	111	5930,8
C	3C	5	2	20/12/2009	6120	19	6101	120	113	5764,1
C	3C	6	0	20/12/2009	7290	11	7279	120	111	6744,1
C	3C	7	0	20/12/2009	6750	4	6746	120	112	6300,3
C	3C	8	1	20/12/2009	6340	3	6337	120	115	6076,0
C	3C	9	2	20/12/2009	5500	12	5488	120	115	5271,3
C	4C	1	2	27/12/2009	112	3	109	120	120	112,0
C	4C	2	0	27/12/2009	145	7	138	120	120	145,0
C	4C	3	1	27/12/2009	169	8	161	120	120	169,0
C	4C	4	1	27/12/2009	152	6	146	120	120	152,0
C	4C	5	2	27/12/2009	138	5	133	120	120	138,0
C	4C	6	0	27/12/2009	160	9	151	120	120	160,0
C	4C	7	0	27/12/2009	179	4	175	120	120	179,0
C	4C	8	1	27/12/2009	145	5	140	120	120	145,0

C	4C	9	2	27/12/2009	131	5	126	120	120	131,0
C	5C	1	2	06/01/2010	20130	98	20032	120	107	17959,9
C	5C	2	0	06/01/2010	25040	145	24895	120	107	22343,0
C	5C	3	1	06/01/2010	23300	123	23177	120	109	21175,4
C	5C	4	1	06/01/2010	21470	134	21336	120	108	19336,4
C	5C	5	2	06/01/2010	19020	149	18871	120	107	16975,6
C	5C	6	0	06/01/2010	18230	138	18092	120	112	17023,9
C	5C	7	0	06/01/2010	19070	150	18920	120	110	17493,3
C	5C	8	1	06/01/2010	15800	126	15674	120	109	14363,2
C	5C	9	2	06/01/2010	16890	119	16771	120	100	14094,8
C	7C	1	2	25/01/2010	20230	75	20155	120	102	17206,8
C	7C	2	0	25/01/2010	24370	120	24250	120	103	20934,6
C	7C	3	1	25/01/2010	24600	143	24457	120	100	20523,8
C	7C	4	1	25/01/2010	22290	152	22138	120	99	18415,9
C	7C	5	2	25/01/2010	21300	148	21152	120	101	17950,9
C	7C	6	0	25/01/2010	25140	142	24998	120	100	20973,7
C	7C	7	0	25/01/2010	23980	148	23832	120	110	21994,0
C	7C	8	1	25/01/2010	21280	137	21143	120	103	18284,7
C	7C	9	2	25/01/2010	21040	110	20930	120	102	17900,5
C	8C	1	2	28/01/2010	3940	45	3895	120	113	3712,8
C	8C	2	0	28/01/2010	5510	85	5425	120	110	5057,9
C	8C	3	1	28/01/2010	4590	79	4511	120	109	4176,5
C	8C	4	1	28/01/2010	4870	81	4789	120	112	4550,7
C	8C	5	2	28/01/2010	4380	88	4292	120	111	4058,1
C	8C	6	0	28/01/2010	5740	59	5681	120	110	5266,6
C	8C	7	0	28/01/2010	5160	77	5083	120	109	4694,1
C	8C	8	1	28/01/2010	4750	68	4682	120	110	4437,9
C	8C	9	2	28/01/2010	4020	89	3931	120	112	4020,0

Annexe 4 : Texture des pertes en terre (pourcentage de chaque particule)

site	traitement	parcelle	sable grossier	sable moyen	sable fin	limon grossier	limon moyen	limon fin	argile
A	T0	1	16,78	42,68	15,02	4,36	2,59	1,97	16,60
A	T0	1	16,42	43,35	14,62	4,65	2,48	1,45	17,03
A	T1	2	18,64	45,58	14,61	4,36	3,01	1,14	12,66
A	T1	2	20,69	44,78	14,43	3,82	2,78	1,24	12,27
A	T2	3	22,47	37,79	12,98	9,79	3,75	1,46	11,77
A	T2	3	22,60	37,92	13,85	9,73	3,45	1,26	11,19
A	T1	4	19,20	42,07	16,97	7,42	3,96	0,30	10,06
A	T1	4	19,53	43,29	15,04	7,86	3,88	0,51	9,90
A	T0	5	19,12	40,60	16,56	2,81	2,81	2,81	15,29
A	T0	5	19,26	40,42	16,49	3,11	3,11	2,90	14,71
A	T1	6	20,99	44,72	16,48	0,22	1,95	1,74	13,90
A	T1	6	20,55	44,52	17,60	0,32	1,91	2,02	13,08

A	T1	7	19,17	35,52	10,86	3,93	4,25	3,62	22,65
A	T1	7	16,67	36,54	13,08	3,65	4,17	3,76	22,12
A	T2	8	13,55	43,35	24,54	1,69	1,79	0,74	14,33
A	T2	8	11,93	43,93	25,66	1,46	1,67	0,94	14,40
A	T0	9	17,64	45,10	22,83	2,82	0,94	1,05	9,62
A	T0	9	18,90	44,30	22,50	2,65	0,53	1,06	10,06
B	T1	1	13,17	37,55	13,08	3,27	2,25	1,02	29,65
B	T1	1	14,14	36,99	12,59	3,29	1,85	0,93	30,22
B	T2	2	13,87	39,54	13,77	2,05	3,55	0,43	26,80
B	T2	2	13,80	39,81	13,26	2,17	3,79	0,11	27,06
B	T0	3	12,94	37,14	12,84	5,84	1,71	9,27	20,25
B	T0	3	14,37	36,10	12,69	5,62	1,91	7,93	21,38
B	T0	4	10,06	35,56	19,48	2,69	2,49	9,67	20,04
B	T0	4	13,96	36,08	15,44	2,58	2,58	8,23	21,13
B	T2	5	10,43	36,85	20,18	3,20	1,65	1,14	26,55
B	T2	5	14,47	37,38	15,99	2,47	2,16	0,92	26,62
B	T1	6	11,59	38,45	16,99	1,60	0,96	1,60	28,82
B	T1	6	13,04	36,26	15,59	5,31	1,46	0,10	28,24
B	T2	7	12,71	40,75	12,93	5,92	1,71	0,60	25,38
B	T2	7	11,53	42,28	12,87	4,66	2,23	0,71	25,73
B	T0	8	17,05	40,00	11,38	1,07	2,36	2,47	25,66
B	T0	8	16,19	40,62	11,03	1,59	2,23	2,87	25,48
B	T1	9	21,72	38,53	9,15	5,14	1,44	0,62	23,42
B	T1	9	26,36	33,15	9,81	5,03	1,13	1,23	23,29
C	T2	1	12,22	30,10	19,64	0,41	0,10	2,16	35,37
C	T2	1	11,96	30,49	19,66	0,10	0,00	1,95	35,83
C	T0	2	21,48	37,56	11,06	1,25	1,56	1,87	25,21
C	T0	2	21,34	37,86	10,93	1,45	2,07	1,04	25,31
C	T1	3	15,73	36,74	13,43	1,87	0,21	1,14	30,87
C	T1	3	16,63	36,86	12,52	1,05	0,63	1,15	31,16
C	T1	4	14,13	37,68	12,84	0,95	1,14	6,35	26,92
C	T1	4	14,63	37,00	12,81	1,15	1,15	6,31	26,96
C	T2	5	15,97	37,97	11,17	0,95	2,74	1,05	30,15
C	T2	5	15,85	37,96	11,60	0,95	3,26	0,42	29,96
C	T0	6	15,66	38,57	14,17	1,47	1,69	1,47	26,96
C	T0	6	15,13	40,69	12,56	1,78	1,88	1,05	26,91
C	T0	7	11,70	41,13	13,05	2,23	0,51	1,11	30,28
C	T0	7	11,43	41,90	12,75	2,61	-0,20	1,30	30,21
C	T1	8	25,37	31,54	8,64	1,46	2,13	3,49	27,36
C	T1	8	24,89	31,32	9,27	2,62	0,97	3,78	27,15
C	T2	9	15,66	39,59	12,87	1,30	1,10	1,20	28,28
C	T2	9	15,24	39,54	13,35	1,20	1,20	1,20	28,28

Annexe 5 : Les teneurs en carbone et azote de la perte en terre

SITE A

événement	parcelle	traitement	N	C	C/N
1A	1	T0	0,35	6,75	19,4
	1	T0	0,35	8,37	24,0
	2	T1	0,20	5,22	26,4
	2	T1	0,22	5,09	23,6
	4	T2	0,25	6,44	26,2
	4	T2	0,28	6,82	24,0
	5	T0	0,33	7,55	23,0
	5	T0	0,34	7,98	23,6
	6	T1	0,27	6,22	23,2
	6	T1	0,30	6,35	20,9
	7	T1	0,33	9,38	28,1
	7	T1	0,33	9,48	29,0
	8	T2	0,22	5,42	24,7
	8	T2	0,27	5,30	19,5
	9	T0	0,32	4,29	13,4
	2A	1	T0	0,29	7,39
1		T0	0,29	7,73	26,3
2		T1	0,19	4,92	25,4
2		T1	0,20	5,06	24,9
4		T2	0,26	6,53	24,7
4		T2	0,27	6,41	23,8
5		T0	0,30	7,11	24,1
5		T0	0,29	6,90	24,0
6		T1	0,22	7,26	33,1
6		T1	0,40	7,35	18,4
7		T1	0,38	5,31	13,9
7		T1	0,39	5,12	13,0
8		T2	0,27	5,26	19,3
8		T2	0,28	5,50	19,8
9		T0	0,32	4,18	12,9
9		T0	0,34	4,34	12,8
3A	1	T0	0,35	7,63	21,7
	1	T0	0,35	7,61	21,7
	2	T1	0,22	5,56	24,9
	2	T1	0,23	5,48	23,5
	4	T2	0,24	6,51	27,7
	4	T2	0,25	6,33	25,0
	5	T0	0,29	7,36	25,7
	5	T0	0,31	7,69	25,1
	6	T1	0,28	7,22	26,0
	6	T1	0,28	7,15	25,3
	7	T1	0,43	5,99	14,0

	7	T1	0,52	5,94	11,4
	8	T2	0,16	5,29	33,9
	8	T2	0,22	5,31	23,6
	9	T0	0,30	4,46	15,0
	9	T0	0,30	4,82	16,1
5A	1	T0	0,37	7,51	20,4
	1	T0	0,38	7,71	20,4
	2	T1	0,21	5,17	24,2
	2	T1	0,28	5,03	18,1
	4	T2	0,27	6,82	25,3
	4	T2	0,30	7,24	24,2
	5	T0	0,33	7,37	22,0
	5	T0	0,33	7,66	23,3
	6	T1	0,27	7,13	26,5
	6	T1	0,28	6,87	24,3
	7	T1	0,51	5,01	9,9
	7	T1	0,59	5,08	8,6
	8	T2	0,22	5,47	25,0
	8	T2	0,25	6,08	24,1
	9	T0	0,29	3,89	13,6
	9	T0	0,28	4,05	14,5
6A	1	T0	0,28	7,33	26,1
	1	T0	0,35	7,44	21,5
	2	T1	0,22	5,34	24,8
	2	T1	0,22	5,34	24,8
	4	T2	0,25	6,94	27,7
	4	T2	0,29	7,12	24,5
	5	T0	0,30	7,52	25,4
	5	T0	0,32	7,75	24,5
	6	T1	0,27	6,64	24,8
	6	T1	0,35	6,72	19,4
	7	T1	0,44	6,01	13,7
	7	T1	0,45	6,10	13,6
	8	T2	0,22	5,27	23,8
	8	T2	0,29	5,12	17,8
	9	T0	0,27	3,93	14,6
	9	T0	0,29	4,30	14,9
8A	1	T0	0,33	7,52	22,9
	1	T0	0,33	7,88	23,9
	2	T1	0,30	4,75	16,0
	2	T1	0,24	5,08	21,2
	4	T2	0,27	6,64	24,6
	4	T2	0,28	6,51	22,9
	5	T0	0,29	6,15	21,0
	5	T0	0,28	6,07	21,4
	6	T1	0,21	6,84	32,0

	6	T1	0,28	6,71	24,0
	7	T1	0,35	5,02	14,5
	7	T1	0,39	5,26	13,6
	8	T2	0,21	5,19	24,5
	8	T2	0,26	5,61	21,6
	9	T0	0,37	4,33	11,7
	9	T0	0,38	4,37	11,5

SITE B

événement	parcelle	traitement	N	C	C/N
1B	1	T1	0,28	5,38	18,9
	1	T1	0,32	5,57	17,4
	2	T2	0,24	6,45	26,5
	2	T2	0,30	6,05	20,0
	3	T0	0,31	6,64	21,4
	3	T0	0,32	6,16	19,3
	4	T0	0,35	7,33	20,8
	4	T0	0,38	7,36	19,5
	5	T1	0,39	5,76	14,9
	5	T1	0,40	5,63	14,2
	6	T2	0,23	5,62	24,6
	6	T2	0,24	5,59	23,5
	7	T2	0,23	4,82	21,1
	7	T2	0,23	4,92	21,2
	8	T0	0,31	7,34	24,0
	8	T0	0,32	7,91	24,6
	9	T1	0,24	5,84	24,7
	9	T1	0,24	5,63	23,3
3B	1	T1	0,27	5,71	21,0
	1	T1	0,28	5,60	20,0
	2	T2	0,23	6,38	27,6
	2	T2	0,31	6,18	19,8
	3	T0	0,29	6,20	21,3
	3	T0	0,30	6,33	21,1
	4	T0	0,32	7,29	22,5
	4	T0	0,33	7,46	22,8
	5	T1	0,25	5,62	22,4
	5	T1	0,29	5,59	19,0
	6	T2	0,24	5,29	22,2
	6	T2	0,29	5,30	18,3
	7	T2	0,23	4,99	21,5
	7	T2	0,24	4,94	20,9
	8	T0	0,33	5,20	15,6
	8	T0	0,34	5,21	15,1
9	T1	0,23	5,10	22,6	

	9	T1	0,25	5,39	21,4
4B	1	T1	0,28	5,36	19,3
	1	T1	0,28	5,29	19,0
	2	T2	0,30	6,03	19,9
	2	T2	0,32	6,09	19,2
	3	T0	0,32	6,46	20,5
	3	T0	0,33	6,49	19,9
	4	T0	0,33	6,86	20,6
	4	T0	0,34	7,14	20,8
	5	T1	0,29	5,28	18,4
	5	T1	0,25	5,24	21,2
	6	T2	0,23	5,10	22,2
	6	T2	0,23	5,21	22,2
	7	T2	0,23	5,03	21,4
	7	T2	0,24	5,03	20,8
	8	T0	0,34	5,09	14,8
	8	T0	0,36	5,51	15,4
	9	T1	0,25	5,50	21,6
	9	T1	0,26	5,69	21,8
	5B	1	T1	0,28	5,43
1		T1	0,28	5,39	19,1
2		T2	0,27	6,08	22,8
2		T2	0,27	5,79	21,2
3		T0	0,30	6,26	20,6
3		T0	0,31	6,50	21,1
4		T0	0,35	7,42	21,2
4		T0	0,36	7,54	21,1
5		T1	0,24	5,21	21,5
5		T1	0,24	5,31	21,8
6		T2	0,23	5,03	21,7
6		T2	0,24	5,11	21,7
7		T2	0,24	4,95	20,7
7		T2	0,25	5,34	21,6
8		T0	0,27	7,14	26,8
8		T0	0,28	7,02	25,3
9		T1	0,26	5,60	21,6
9	T1	0,27	5,62	20,9	
6B	1	T1	0,29	5,58	19,4
	1	T1	0,29	5,56	19,3
	2	T2	0,27	5,93	22,4
	2	T2	0,27	5,78	21,6
	3	T0	0,28	5,89	20,7
	3	T0	0,29	5,96	20,6
	4	T0	0,33	6,59	20,1
	4	T0	0,39	6,71	17,1
	5	T1	0,25	5,48	21,8

	5	T1	0,25	5,43	21,4
	6	T2	0,22	5,03	22,8
	6	T2	0,23	4,98	22,0
	7	T2	0,24	5,08	20,9
	7	T2	0,24	5,17	21,2
	8	T0	0,40	5,18	13,1
	8	T0	0,48	9,31	19,4
	9	T1	0,25	5,51	22,2
	9	T1	0,25	5,54	21,7
8B	1	T1	0,28	5,59	19,9
	1	T1	0,28	5,44	19,1
	2	T2	0,25	5,14	20,4
	2	T2	0,27	5,10	19,2
	3	T0	0,33	5,96	18,2
	3	T0	0,33	6,10	18,5
	4	T0	0,36	7,63	21,3
	4	T0	0,37	7,22	19,7
	5	T1	0,24	5,29	22,1
	5	T1	0,25	5,33	21,6
	6	T2	0,23	5,27	22,5
	6	T2	0,23	5,16	22,0
	7	T2	0,22	4,55	20,9
	7	T2	0,24	4,86	20,5
	8	T0	0,33	5,03	15,2
	8	T0	0,34	5,35	15,9
	9	T1	0,25	5,32	21,4
	9	T1	0,25	5,36	21,4

SITE C

événement	parcelle	traitement	N	C	C/N
1C	1	T2	0,38	9,24	24,4
	1	T2	0,36	9,47	26,6
	2	T0	0,33	7,82	23,8
	2	T0	0,34	7,74	22,8
	3	T1	0,35	8,01	23,0
	3	T1	0,32	8,33	26,1
	4	T1	0,31	6,99	22,6
	4	T1	0,35	7,66	21,8
	5	T2	0,24	6,11	25,8
	5	T2	0,25	6,19	24,8
	6	T0	0,34	7,82	23,2
	6	T0	0,37	8,23	22,3
	7	T0	0,39	8,70	22,1
	7	T0	0,45	11,22	25,0

	8	T1	0,31	7,53	24,4
	8	T1	0,32	7,82	24,8
	9	T2	0,35	7,56	21,3
	9	T2	0,37	7,61	20,7
3C	1	T2	0,35	9,64	27,5
	1	T2	0,35	9,61	27,4
	2	T0	0,30	7,50	25,3
	2	T0	0,30	7,64	25,6
	3	T1	0,33	8,57	25,8
	3	T1	0,33	9,05	27,5
	4	T1	0,31	6,94	22,4
	4	T1	0,31	7,03	22,4
	5	T2	0,24	6,25	25,7
	5	T2	0,27	6,41	23,5
	6	T0	0,30	7,31	24,5
	6	T0	0,32	7,46	23,1
	7	T0	0,32	7,53	23,2
	7	T0	0,34	7,72	22,8
	8	T1	0,31	7,64	24,3
	8	T1	0,31	7,87	25,7
	9	T2	0,36	7,37	20,6
	9	T2	0,37	7,61	20,8
4C	1	T2	0,38	9,30	24,7
	1	T2	0,36	10,84	30,5
	2	T0	0,32	6,27	19,4
	2	T0	0,32	6,58	20,3
	3	T1	0,36	8,44	23,3
	3	T1	0,37	8,61	23,3
	4	T1	0,34	7,34	21,7
	4	T1	0,36	7,78	21,9
	5	T2	0,24	6,01	24,8
	5	T2	0,28	6,16	22,4
	6	T0	0,32	7,52	23,5
	6	T0	0,34	7,58	22,4
	7	T0	0,36	8,44	23,5
	7	T0	0,37	8,23	22,3
	8	T1	0,34	7,61	22,3
	8	T1	0,36	7,98	22,5
	9	T2	0,36	7,37	20,6
	9	T2	0,37	7,61	20,8
5C	1	T2	0,33	9,22	28,1
	1	T2	0,33	9,50	28,8
	2	T0	0,30	8,02	26,4
	2	T0	0,31	7,72	25,3
	3	T1	0,36	8,52	23,8
	3	T1	0,33	8,35	25,5

	4	T1	0,30	6,82	22,5
	4	T1	0,31	7,12	23,0
	5	T2	0,26	6,11	23,9
	5	T2	0,27	6,34	23,8
	6	T0	0,32	7,58	23,9
	6	T0	0,33	7,36	22,3
	7	T0	0,37	8,48	22,7
	7	T0	0,41	8,62	21,1
	8	T1	0,32	8,12	25,5
	8	T1	0,33	8,38	25,5
	9	T2	0,36	7,50	21,0
	9	T2	0,34	7,28	21,4
7C	1	T2	0,24	9,53	39,7
	1	T2	0,37	9,21	24,8
	2	T0	0,28	7,50	27,0
	2	T0	0,32	7,76	24,0
	3	T1	0,37	8,53	22,9
	3	T1	0,38	8,67	22,9
	4	T1	0,33	6,98	21,4
	4	T1	0,35	7,52	21,4
	5	T2	0,27	6,29	23,4
	5	T2	0,31	6,60	21,0
	6	T0	0,33	7,67	23,0
	6	T0	0,37	7,68	20,9
	7	T0	0,37	8,08	21,6
	7	T0	0,38	8,18	21,6
	8	T1	0,36	7,74	21,2
	8	T1	0,37	7,69	21,0
	9	T2	0,36	7,74	21,5
	9	T2	0,35	7,92	22,7
8C	1	T2	0,31	9,25	29,8
	1	T2	0,32	9,15	28,5
	2	T0	0,29	6,94	24,2
	2	T0	0,31	7,28	23,7
	3	T1	0,36	8,11	22,8
	3	T1	0,36	8,27	23,1
	4	T1	0,32	7,06	22,1
	4	T1	0,33	7,05	21,5
	5	T2	0,29	6,93	23,6
	5	T2	0,30	6,53	21,7
	6	T0	0,31	7,05	23,0
	6	T0	0,32	7,25	22,8
	7	T0	0,39	8,46	22,0
	7	T0	0,36	8,54	24,0
	8	T1	0,33	8,34	25,4
	8	T1	0,32	8,34	26,1

	9	T2	0,35	7,65	21,9
	9	T2	0,36	7,87	21,7

Annexe 6: Moyenne par rang de la production fraîche du manioc.

site	rang	parcelle								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
site A	1,00	0,48	0,80	1,19	1,36	0,51	1,11	1,40	1,64	1,54
	2,00	0,98	0,77	0,80	1,21	0,40	0,85	1,57	1,72	1,78
	3,00	0,62	1,06	0,54	1,02	0,81	0,47	1,58	1,24	1,58
	4,00	0,82	0,90	0,64	1,17	1,09	0,56	0,84	1,78	1,45
	5,00	0,56	0,90	0,36	0,82	1,78	0,46	0,93	1,32	1,52
	6,00	0,67	0,76	0,41	1,05	1,30	0,31	1,12	1,97	1,90
	7,00	0,51	0,86	0,46	1,08	0,66	0,46	0,96	1,63	1,49
	8,00	0,49	0,63	0,54	0,80	1,42	0,39	0,94	1,58	1,47
	9,00	0,31	1,04	1,07	1,29	1,28	0,42	1,41	1,73	1,04
	10,00	0,78	1,16	1,91	1,97	1,04	0,98	1,27	2,60	1,13
	11,00	0,50	2,33			1,41	1,59	2,22		1,66
	12,00	0,56				1,46				1,53
	13,00	0,53	1,60	1,82	1,91	0,85	1,58	1,79	1,97	1,55
	14,00	0,40	1,04	1,21	1,34	0,77	0,81	1,35	1,62	1,97
	15,00	0,21	0,82	1,02	1,12	1,35	0,45	1,30	1,24	1,54
	16,00	1,11	1,09	0,99	0,89	0,93	0,42	0,88	1,09	1,17
	17,00	0,61	0,90	1,25	1,24	0,90	0,63	0,96	0,93	1,56
	18,00	0,58	1,06	0,90	0,87	1,25	0,42	1,13	1,23	1,27
	19,00	0,61	0,69	0,96	1,01	1,12	0,43	0,84	1,08	1,34
	20,00	0,76	0,91	1,12	1,20	0,89	0,62	1,07	1,25	1,67
	21,00	0,65	1,12	0,48	1,03	1,09	0,81	1,85	1,52	1,79
	22,00	0,83	0,77	1,79	1,66	1,51	0,89	1,37	2,10	1,41
	23,00	0,80	1,77			1,25	1,63	1,75		1,78
	24,00	0,43				0,78				1,44
site B	1,00	1,85	1,85	1,72	2,14	1,80	2,00	2,11	1,96	2,02
	2,00	1,13	1,16	1,36	1,15	1,31	1,12	1,27	1,65	1,62
	3,00	1,09	0,79	1,16	0,65	0,64	0,71	0,44	1,23	0,84
	4,00	0,94	0,46	0,50	0,46	0,45	0,43	0,45	0,82	0,71
	5,00	1,19	0,37	0,32	0,46	0,32	0,48	0,47	0,71	0,31
	6,00	0,56	0,27	0,44	0,16	0,26	0,82	0,44	0,58	0,50
	7,00	0,71	0,35	0,64	0,42	0,24	0,40	0,31	0,47	0,23
	8,00	0,82	0,61	0,54	0,35	0,33	0,43	0,54	0,31	0,26
	9,00	0,56	0,68	0,67	0,47	0,45	0,70	0,72	0,32	0,30
	10,00	0,55	1,60	0,36	0,55	0,85	2,02	1,71	0,27	0,68
	11,00	1,41		0,55	0,40	1,68			0,47	1,36
	12,00			0,62	0,28				0,18	
	13,00	1,62	1,54	0,36	0,56	1,41	1,59	1,64	0,19	1,60
	14,00	0,84	0,85	0,23	0,46	1,18	0,58	0,93	0,43	0,64
	15,00	0,61	0,63	0,65	0,27	0,50	0,52	0,40	0,35	0,33
	16,00	1,04	0,34	0,48	0,21	0,30	0,44	0,29	0,38	0,25
	17,00	0,87	0,41	0,37	0,42	0,04	0,49	0,58	0,29	0,21

	18,00	0,97	0,44	0,40	0,29	0,32	0,50	0,47	0,26	0,36
	19,00	0,54	0,66	0,51	0,58	0,44	0,39	0,50	0,25	0,27
	20,00	1,04	0,69	0,31	0,38	0,39	0,56	0,65	0,15	0,27
	21,00	0,62	1,34	0,34	0,33	0,29	0,88	0,90	0,34	0,65
	22,00	1,08	1,64	0,36	0,17	0,75	2,01	1,67	0,26	0,94
	23,00	1,80		0,43	0,38	1,54			0,23	1,87
	24,00			0,49	0,54				0,37	
site C	1,00	1,19	0,99	1,21	1,11	1,17	1,18	1,17	1,04	1,05
	2,00	0,80	0,83	0,98	0,85	0,79	0,98	0,74	0,86	0,80
	3,00	0,54	0,61	0,52	0,47	0,46	0,50	0,59	0,58	0,36
	4,00	0,64	0,41	0,46	0,56	0,59	0,67	0,53	0,65	0,36
	5,00	0,36	0,63	0,65	0,46	0,51	0,44	0,25	0,26	0,61
	6,00	0,41	0,26	0,51	0,31	0,52	0,47	0,35	0,42	0,54
	7,00	0,46	0,48	0,37	0,46	0,62	0,56	0,55	0,69	0,47
	8,00	0,54	0,38	0,76	0,39	0,51	0,49	0,26	0,45	0,50
	9,00	1,07	0,45	0,63	0,42	0,79	0,39	0,57	0,69	0,67
	10,00	1,91	0,39	0,65	0,98	1,49	0,84	0,35	0,61	1,36
	11,00		0,37	1,79	1,59		0,58	0,39	1,76	
	12,00		0,25				0,38	0,53		
	13,00	1,62	0,32	1,61	1,58	1,47	0,46	0,31	1,60	1,75
	14,00	0,71	0,42	1,09	0,81	0,48	0,66	0,34	0,76	0,97
	15,00	0,38	0,31	0,51	0,45	0,59	0,43	0,33	0,40	0,80
	16,00	0,36	0,42	0,67	0,42	0,50	0,45	0,35	0,47	0,57
	17,00	0,43	0,45	0,32	0,63	0,62	0,51	0,39	0,48	0,64
	18,00	0,69	0,51	0,71	0,42	0,47	0,35	0,63	0,68	0,44
	19,00	0,63	0,42	0,57	0,43	0,51	0,45	0,35	0,56	0,84
	20,00	0,85	0,43	0,66	0,62	0,57	0,53	0,60	0,45	0,78
	21,00	0,84	0,34	0,52	0,81	1,15	0,51	0,38	0,53	1,30
	22,00	2,04	0,38	0,61	0,89	1,54	0,54	0,50	0,84	1,95
	23,00		0,45	1,60	1,63		0,48	0,56	2,05	
	24,00		0,45				0,63	0,51		

Annexe 7 : le manioc dans la région de Haut Matsiatra

Condition de culture

Calendrier cultural : zone Ouest : Août, Mars, Avril
Zone Est : Juillet, Août, Octobre à Mars

Intrants agricoles par Hectare :
Zezi-pahitra : 20 T NPK 11 22
16 : 200 kg Urée : 160 kg

Temps de travail à l'hectare
Labour : 40 h/j
Plantation : 10 h/j

Sarclage : 20 h/j
Récolte : 60 h/j

Période de plantation durant la saison de pluie

Appui à la production

Culture sans apport d'Engrais minéraux ;
Boutures : produites par les Paysans

Prix et débouchés

Les prix du manioc contenus dans le tableau ci-après sont des prix aux consommateurs (prix au marché)

Evolution des prix du manioc sec aux consommateurs (Fmg / kg de manioc sec)

Mois	1993	1994	1995	1996	1997
Janvier	380	375	650	750	650
Février	410	320	550	750	650
Mars	365	350	550	730	600
Avril	350	400	660	730	550
Mai	300	425	550	710	520
Juin	310	290	550	720	630
Juillet	320	500	600	720	510
Août	340	380	610	730	510
Septembre	390	480	630	520	520
Octobre	200	670	665	450	630
Novembre	200	680	575	450	510
Décembre	200	675	765	600	510

Source : CIRAGRI Fianarantsoa

On remarque des variations saisonnières des prix à la consommation des manioc secs et une augmentation annuelle des prix par kg.

Les prix aux producteurs ne sont pas disponibles

Compte caractéristique de culture

En 1997, les comptes caractéristiques de culture par hectare pour chaque région sont présentés dans les tableaux qui suivent

Compte caractéristique de culture du manioc sec

Intitulé	Unité	Quantité	Prix unitaire (FMG)	Coût (FMG)
TRAVAUX				
Labour	H/j	40	4.000	160.000
Transport Zezi-pahitra	H/j	15	4.000	60.000
Epannage Zezi-pahitra	H/j	15	4.000	60.000
Pulvérisage	H/j	10	4.000	40.000
Semis ou plantation	H/j	10	4.000	40.000
Sarclage	H/j	20	4.000	240.000
Fréquence	x 3	3		-
Sous/Total				600.000
INTRANTS :				
Semence (en souche)	Kg	3	15.000	45.000
Zezi-pahitra	Charrette	8	5.000	40.000
NPK	Kg	100	2.850	285.000
Sacs (amortis sur 3 ans)		20	3.000	60.000
Soubiques (sur 3 ans)	Nombre	10	1.500	15.000
Sous/Total				445.000

RECOLTE :				
Récolte	H/j	60	4.000	240.000
Transport	H/j	20	4.000	8.000
Séchage	H/j	40	4.000	160.000
Mise en sacs	H/j	10	4.000	40.000
Sous/Total		-	-	520.000
TOTAL CHARGES	Fmg	-	1	1.565.000
PRODUCTION	Tonne	20	400.000	8.000.000
RESULTAT	Fmg	-	-	6.435.000

Source : DIRA Fianarantsoa

Le manioc se cultive dans toute la région, en particulier dans la frange ouest de la CIRAGRI de Fianarantsoa (Zones d'Ankaramena, Ambalavao Ouest, Ikalamavony) où l'on trouve de la culture en grande surface.

Les maladies rencontrées sont : le mosaïque et l'Anthracnose.

Les variétés rustiques couramment plantées par les paysans sont facilement frappées par ces maladies. L'obtention des boutures est difficile au moment de la plantation car la récolte se fait au mois de Juillet –Août - Septembre et la plantation se pratique au mois de Novembre à Février.

Le résultat du compte d'exploitation, montre que la spéculation manioc est une culture qui augmente le revenu des producteurs. Il se réfère à la production du manioc sur une superficie d'un (01) ha intensifiée.

Source de revenu pour les paysans, cette culture, jusqu'à ce jour, ne demande pas de dépenses d'entretien en amendement, fertilisation.

Evolution de la production et du rendement du manioc

Sous Préfecture		1998	1999	2000	2001
Fianarantsoa II	Superficie(ha)	11 640	11 500	11 540	11 580
	Production(tonnes)	105 080	109 275	109 650	110 000
	Rendement(t/ha)	9,0	9,5	9,5	9,5
Ambalavao	Superficie(ha)	5 090	5 140	5 190	5 240
	Production(tonnes)	37 870	43 650	44 080	44 600
	Rendement(t/ha)	7,4	8,5	8,5	8,5
Ambohimahasoa	Superficie(ha)	2 480	2 430	2 410	2 390
	Production(tonnes)	22 735	24 300	24 100	24 200
	Rendement(t/ha)	9,2	10,0	10,0	10,1
Ikalamavony	Superficie(ha)	925	945	965	990
	Production(tonnes)	8 100	7 170	7 325	8 000
	Rendement(t/ha)	8,8	7,6	7,6	8,1
Ensemble	Superficie(ha)	20 135	20 015	20 105	20 200
	Production(tonnes)	173 785	184 395	185 155	186 800
	Rendement(t/ha)	8,6	9,2	9,2	9,2

Organisation de la filière

Aucune organisation établie de la plantation jusqu'à la commercialisation du produit.

Conditions de développement de la culture

Il faut :

- produire des boutures,
- lutter contre les maladies,
- implanter des tests en milieu paysan,
- organiser la commercialisation du manioc

Par ailleurs l'introduction des variétés améliorées est un avenir pour la région de la Haute Matsiatra car la culture du manioc résout le problème de la période de soudure, non seulement pour la famille mais aussi pour les grandes villes.