

TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des clichés

Liste des tableaux

Liste des annexes

INTRODUCTION..... 1

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE..... 3

1.1 Présentation du milieu d'expérimentation : Hautes Terres de Madagascar, Antsirabe et Andranomanelatra.	3
1.1.1. Localisation géographique.	3
1.1.2. Climat.	3
1.1.3. Relief 5	5
1.1.4. Pédologie. 5	5
1.1.5. L'Agriculture dans la région de Vakinankaratra. 6	6
1.2. L'érosion. 6	6
1.2.1. Les mécanismes de l'érosion hydrique. 7	7
1.2.1.1. L'attaque du sol en surface..... 7	7
1.2.1.2. L'attaque du sol sur une épaisseur de son profil « mouvement de masse ».. 9	9
1.2.2. Les facteurs de l'érosion hydrique. 9	9
1.2.2.1. Le facteur causal de l'érosion par l'eau : les précipitations atmosphériques. 10	10
1.2.2.2. Les facteurs conditionnant l'érosion du sol par l'eau..... 11	11
1.2.3. Les différentes formes d'érosion. 13	13
1.2.3.1. L'érosion en nappe. 13	13
1.2.3.2. L'érosion en rigoles et en griffes..... 14	14
1.2.3.3. L'érosion en ravines. 14	14
1.2.4. Les conséquences de l'érosion. 15	15
1.2.4.1. Les conséquences directes..... 15	15
1.2.4.2. Les conséquences indirectes..... 16	16

1.2.5. Les moyens de lutte antiérosive.	17
1.2.5.1. La conservation du sol par la modification de ses propriétés.	17
1.2.5.2. La conservation du sol par le contrôle de la végétation.	19
1.2.5.3. La conservation du sol par le contrôle de l'eau : l'aménagement des terres et la modification de la topographie.	21
1.3. L'érosion sur les hautes terres de Madagascar.	23
1.3.1. Les facteurs naturels de l'érosion dans les Hautes Terres.	23
1.3.2. Les activités paysannes aggravant les phénomènes de l'érosion.	23
1.3.2.1. Les feux de brousse.	24
1.3.2.2. Le surpâturage.	24
1.3.2.3. Le travail du sol.	24
1.3.3. Causes socio-économiques.	25
1.3.4. Le rôle du semis direct pour résoudre les problèmes des Hautes Terres Malgaches.	25
1.3.4.1. Généralités sur le semis direct.	25
1.3.4.2. Les processus agrobiologiques mis en jeu par les SCV.	26
1.3.4.3. Les avantages du semis direct sur couverture végétale.	30
1.3.4.4. Conclusion partielle.	31
PARTIE II : MATERIELS ET METHODES	33
2.1. Cadre de l'étude.	33
2.2. Objectifs.	33
2.3. Méthodologie de travail.	33
2.4. Sites et traitements.	34
2.4.1. Site de l'URP SCRID : dispositif principal.	34
2.4.2. Site de TAFA.	35
2.5. Mesures.	36
2.5.1. La mesure de la pluviométrie.	36
2.5.2. Mesures du ruissellement et érosion.	36
2.5.2.1. Description des dispositifs de mesures.	36
2.5.2.2. Les mesures de ruissellement et prises d'échantillons pour l'érosion.	38
2.5.2.3. Les traitements des échantillons : détermination des pertes en terres.	41
2.5.2.4. Traitement des données.	42
2.5.3. Les mesures des pentes.	42
2.5.3.1. Sur les lots d'érosion.	42
2.5.3.2. Sur les micro lots.	43

2.5.4. Les rendements des cultures.....	43
2.5.4.1. Rendements des haricots.	43
2.5.4.2. Rendements de maïs.....	43
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.	45
3.1. La pluviométrie.	45
3.2. Ruissellements et érosions.....	46
3.2.1. Sur le site de URP.	46
3.2.1.2. Lots d'érosion.....	47
3.2.2. Sur le site TAFE.	50
3.2.3. Conclusion partielle.....	51
3.3. Les rendements de la culture.....	52
3.4. Limites de travail.	54
CONCLUSION.....	55
Bibliographies	
Annexes	

LISTES DES ABREVIATIONS

- °C : Degré Celsius.
- C/N : Carbone sur azote.
- C.E.C : Capacité d'échange cationique.
- CIRAD – CA : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – Culture Annuelle
- Cm : centimètre
- D.R.S : Défenses et Restauration du Sol.
- ESSA : Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
- F.T.M : Foibe Taontsarin'ny Madagasikara.
- FOFIFA « FOibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin'ny Fampanandrosoana ny eny Ambanivohitra (Centre National de Recherche Appliquée pour le Développement Rural)
- g : Gramme.
- g/m² : Gramme par mètre carré.
- ha : Hectare.
- IRD : Institut de recherche pour le développement.
- l : Litre.
- Lab: Labour.
- LRI : Laboratoire des radios Isotopes.
- m : Mètre.
- m² : Mètre carré.
- ml : Millilitre.
- mm : Millimètre.
- mm / h : Millimètre par heure.
- P : Précipitation (en mm).
- PCP SCRID : Pole de Compétence en Partenariat Système de Culture et RIziculture Durable.
- SD : Semis direct.

- **SCV** : Système de culture sur Couverture Végétale.
- **TAFA**: TAny sy Fampanandrosoana.
- **t**: Tonne.
- **URP SCRID** : Unité de Recherche en Partenariat Système de Culture et RIziculture Durable.
- **Vf1** : Volume d'eau contenue dans le premier fût en ml.
- **Vnet** : Volume du nettoyage.
- **Vpre** : Le volume prélevé.
- **Vr** : Volume ruisselé en ml
- **Qp** : Le poids sec de sédiment prélevé.
- **Ruis** : Ruissellement (mm).
- **S1** : Système 1.
- **S2** : Système 2.
- **S3** : Système 3.
- **T** : Température.
- **Qp** : Le poids sec de sédiment prélevé en g

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Courbe ombrothermique de Gausсен.....	4
Figures 2 : Quantités mensuelles des pluies pendant les périodes de mesures des ruissellements et érosions: URP et TAFA	45
Figures 3: Evolution des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol : Micro lots.	46
Figures 4: Evolution des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol : lots d'érosion URP.....	48
Figures 5: Evolution des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol : lots d'érosion TAFA.	50

LISTES DES CLICHES

- Cliché 1 : La station météorologique CIMEL de l'URP SCRID, 1 : Station complet, les appareils pour mesurer : -2. La pluviométrie, -3. Le rayonnement global, - 4. La vitesse du vent, - 5. L'humidité relative. 36**
- Cliché 2 : Micro-lot pour mesurer les ruissellements – érosions 37**
- Cliché 3 : Système récepteur sur les lots d'érosion, 1: Trois fûts (labour) pour recevoir l'eau de ruissellement, 2 : réceptacle débouchant dans une gouttière..... 38**
- Cliché 4 : mesures des ruissellements sur micro-lots, 1 : mesure de la quantité d'eau recueillie avec doseur, 2 : nettoyage du canal récepteur en utilisant une pissette, 3 : nettoyage du tuyau avec 1,5 litres d'eau. 39**
- Cliché 5 : mesures des ruissellements sur lots d'érosion et prélèvement d'échantillon, 1 : mesure de la quantité d'eau ruisselée avec une règle graduée, 2 : Nettoyage du réceptacle en utilisant 1,5 litres d'eau et une brosse, 3 : Prélèvement de l'échantillon après homogénéisation, 4 : vérification de l'horizontalité du fut après nettoyage a l'aide d'un niveau..... 40**
- Cliché 6 : Filtrations des échantillons avec des filtres à café et bouteilles coupées puis renversées..... 41**

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèses des résultats de la pluviométrie mensuelle des deux sites.....	45
Tableau 2: Tableau des résultats des érosions et ruissellement sur les cadres.....	47
Tableau 3: Tableau des résultats des érosions et ruissellement sur les lots d'érosion URP.	48
Tableau 4: Résultats des érosions et ruissellement sur les lots d'érosion TAFA.....	50
Tableau 5: Tableau des rendements de haricot par parcelle et moyennes des rendements suivant le mode de gestion du sol.	52
Tableau 6 : Tableau des rendements de maïs par parcelle et moyennes des rendements suivant le mode de gestion du sol.	53

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE I : Résultats des analyses statistiques :érosions et ruissellements.....	i
ANNEXE II : Résultats des analyses statistiques :RENDEMENT.....	viii
ANNEXE III : Quelques informations culturelles sur le dispositif de l'URP SCRID.....	x
ANNEXE IV : Localisation de la zone d'étude.....	xi
ANNEXE V: Plan du dispositif.....	xii
ANNEXE VI : Exemple d'une Toposéquence prise dans une zone d'Andranomanelatra.	xiii

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Actuellement, Madagascar est l'un des pays les plus pauvres du monde. Malgré cette pauvreté, la population ne cesse de s'accroître, surtout sur les Hautes Terres qui est la région la plus densément peuplée de l'Ile. Par conséquent, les agriculteurs sont obligés, à cause de cette pression démographique, soit d'intensifier l'exploitation de leurs terres, soit d'étendre la surface cultivée pour assurer la disponibilité en nourriture de leur famille. La première solution est encore très difficile à réaliser pour la plupart des paysans sur les Hautes terres car ils n'ont pas le moyen pour acheter des intrants agricoles. La majorité des agriculteurs choisissent alors la deuxième issue qui est l'extension de la surface en culture. Cependant, les bas-fonds et les plaines sont très recherchés, non seulement pour leur richesse naturelle, mais également pour leur aptitude à la riziculture de submersion. De ce fait, de nos jours, il n'y a presque plus de bas-fonds et de plaines disponibles. Ce qui conduit les agriculteurs à cultiver sur les «*tanety*»¹.

Les «*tanety*» sont des milieux fragiles : ils sont généralement en pente plus ou moins abruptes, pauvres chimiquement et exposés à l'érosion, responsable de la baisse de fertilité du sol actuellement sur les Hautes Terres. Par l'érosion, le décapage de l'horizon supérieur du sol peut entraîner la stérilisation du sol par l'affleurement de la roche mère non fertile à la surface ainsi que la dégradation des aménagements hydro agricoles dans les bas-fonds.

Malgré la fragilité des sols dans cette région, leur aménagement se fait jusqu'à maintenant sans préservation du sol. De plus, les méthodes classiques de préparation du sol utilisées actuellement par les exploitants, qu'elles soient manuelles, à traction animale ou motorisée, favorisent et accélèrent le phénomène d'érosion. Ce dernier est le premier responsable de la dégradation du sol dans les pays tropicaux qui souffrent généralement de l'action violente des pluies.

Par la suite, après quelques années de culture sur une parcelle, beaucoup de terrains ne donnent plus que des récoltes médiocres et sont abandonnés car les méthodes de redressement de la fertilité des sols connues actuellement ne sont pas encore accessibles à nos paysans : les

¹ *Tanety* : littéralement « terres sèches », collines aux pentes parfois fortes caractéristiques des Hautes Terres malagasy, résultant de l'altération de l'ancien haut plateau

fumiers ne sont pas disponibles en quantité voulue et les engrais chimiques ainsi que les amendements sont trop chers.

De ce fait, les agriculteurs seront obligés de mettre en culture d'autres terres, aussi mauvaises, et ainsi le cercle infernal continue.

Pour résoudre ce problème, comme il est très difficile d'agir sur le climat, il est important de chercher des pratiques qui non seulement sont moins pénibles et ne nécessitent pas beaucoup d'investissement, mais également des techniques qui diminuent le phénomène d'érosion, améliorent au mieux la fertilité du sol, afin d'aboutir à une agriculture pérenne, que nous considérons comme un levier du développement durable de notre pays.

La méthode du « semis direct sur couverture végétale » qui ne nécessite pas de labour et crée une couverture végétale protectrice du sol semble répondre à ces conditions. Cette étude consiste à vérifier son efficacité. Peut-elle vraiment résoudre nos problèmes d'érosion sur les Hautes Terres, ou est-elle seulement adoptée pour éviter la pénibilité du labour ?

Pour répondre à cette question, nous allons voir dans ce rapport :

Une première partie qui va traiter le contexte général de l'étude, comprenant : la présentation générale du milieu d'expérimentation, les généralités sur l'érosion, puis l'érosion sur les Hautes Terres, et enfin on va décrire la technique du semis direct afin de pouvoir tirer son importance dans la limitation du phénomène d'érosion.

Ensuite, une deuxième partie est consacrée aux matériels et méthodes.

Les résultats obtenus sont présentés et interprétés et discutés dans la dernière partie du travail.

PARTIE I :
CONTEXTE
GENERAL DE
L'ETUDE

Partie I : Contexte général de l'étude.

1.1 Présentation du milieu d'expérimentation : Hautes Terres de Madagascar, Antsirabe et Andranomanelatra.

Anciennement, les Hautes terres ont été appelées hauts plateaux, Ce terme y est impropre à cause de l'existence d'autres types de paysage comme des montagnes ou des hautes collines (Battistini René et Hoerner Jean-Michel, 1986). Cette partie couvre près des trois quarts de l'île, s'appuyant du nord au sud sur trois massifs montagneux : le Maromokotro dans le Tsaratanana, l'Ankaratra, au sud de Tananarive et l'Andringitra, au sud de Fianarantsoa. Mais les parties les plus habitées se concentrent dans l'Imerina, autour de la capitale, d'Antsirabe, et dans la région de Fianarantsoa.

Il est également important de noter que les Hautes Terres est la région la plus peuplée de Madagascar, et que c'est dans cette partie qu'on observe le plus la manifestation des phénomènes de l'érosion, dont le «*lavaka*» est l'une des formes (JOSSE Pierre et al, 2001), à cause de l'agressivité du climat et des caractéristiques générales des sols des «*tanety*» (en pente, fragiles, pauvres, etc...) qui dominent dans les Hautes Terres, ainsi que des pratiques habituelles des paysans qui favorisent l'érosion.

C'est pour toutes ces raisons que nous avons choisi cette région pour effectuer l'étude de l'érosion, et pris la zone de Vakinankaratra, et plus particulièrement Andranomanelatra pour représenter les Hautes Terres malgaches dans cette recherche.

1.1.1. Localisation géographique.

La région d'Antsirabe ou Vakinankaratra est située sur les Hautes Terres centrales de Madagascar. Elle se trouve sur la Route nationale N° 7 à 150 Km de la capitale, entre 19° 12' et 20° 16' de latitude Sud, et entre 45° 52' et 47° 52' de latitude Est.

Notre lieu d'expérimentation Andranomanelatra se trouve à 17 Km au Nord-est d'Antsirabe. (Cf. Carte annexe IV).

1.1.2. Climat.

Le climat qui règne dans la région d'Antsirabe comme dans celle des Hautes Terres, est défini comme tropical d'altitude. Il est marqué en général par deux saisons : la saison sèche et froide, de mai à septembre, et la saison pluvieuse et chaude, d'octobre à avril (BOURGEAT

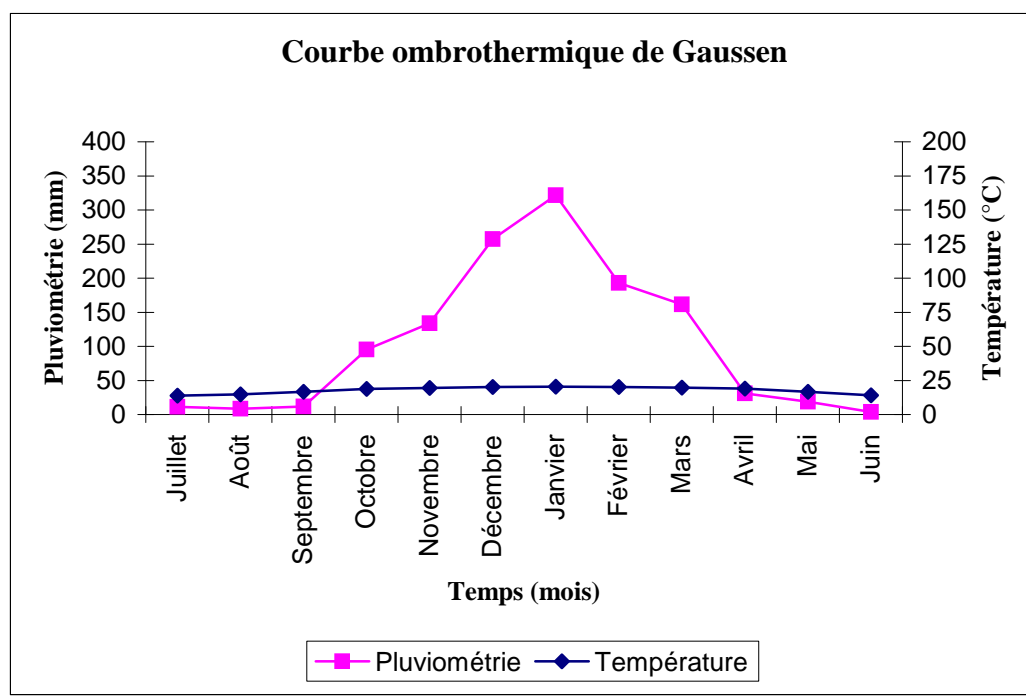
F. et al, 1972). Notre étude a été effectuée durant la période pluvieuse afin de caractériser les phénomènes de ruissellement et d'érosion sous pluie naturelle.

La pluviométrie annuelle de cette région se situe entre 1000 mm et 2000 mm. La saison de pluie dure environ 6 mois (RANOROSOA D. M, 1975)

Les températures négatives sont à craindre dès le début de mois de juin. Les variations journalières sont fortes, surtout pendant l'hiver austral. Les gelées matinales et les chutes de grêle sont très fréquentes, surtout en été.

La courbe ombrothermique qui met en relation la température et la pluviométrie se présente comme suit :

Figure 1 : Courbe ombrothermique de Gausсен



Source : Météo Nanisana, station Aéroport Antsirabe (données sur cinq années : 2000 à 2004)

H. Gausсен pense que les mois secs sont ceux pour lesquels $P < 2 T$. Donc, la courbe ombrothermique montre une saison sèche marqué au moins du mois de mai au mois de septembre. (RABEZANDRINA R. 2002)

Concernant le régime des vents, pendant l'hiver, l'alizé du sud-est n'a qu'un faible influence dans cette région. Il est accompagné de crachins, pluies fines et brouillards. Durant l'été, cet alizé apporte de fortes précipitations sous forme d'orages. Pendant cette même période, les perturbations liées aux dépressions tropicales (cyclones) à trajectoires variables peuvent toucher la région de Vakinankaratra et peuvent provoquer des dégâts dus aux vents violents et aux pluies torrentielles.

1.1.3. Relief

Généralement, la partie des Hautes Terres de Madagascar a un relief sévère, caractérisé par des terrains en pente (Cf. annexe VI.). Dans la région de Vakinankaratra, le paysage est extrêmement varié et est constitué de hautes plaines, résultats de surface d'aplanissement et de bassin. Mais en général, le relief de la région d'Antsirabe peut être divisé en 5 zones:

- les régions montagneuses de l'Ankaratra.
- les vastes surfaces planes surmontées d'un certain nombre de massifs et de chaînes du Nord Ouest.
- les massifs d'altitudes du Sud Ouest.
- les hautes terres de l'Est.
- les zones topographiquement abaissées autour d'Antsirabe et dans la zone limite du Nord-est.

1.1.4. Pédologie.

Dans cette région, comme dans les Hautes Terres, les sols ferrallitiques dominent à 65 %. Ces sols se développent soit sur socle cristallin soit sur substrats fluvio-lacustres (BOURGEAT F. 1979). Ce sont des sols à fertilité chimique et organique presque nulle, dépourvus de calcaire, de magnésie et de phosphore et dont l'acidité est forte. A cause du climat et des pratiques des paysans, ces sols sont exposés à une érosion intense. En outre, ils présentent un horizon compacté à faible profondeur qui limite l'enracinement et l'alimentation des plantes.

Les sols, plus riches, d'origine volcanique se rencontrent dans les zones surpeuplées. Mais ils sont souvent surexploités à cause de la pression démographique. Notons que la région rurale d'Antsirabe est environ trois fois plus peuplée que la moyenne malgache avec une densité de 77,53 habitants.km⁻² contre 28 habitants.km⁻² à Madagascar (JOSSE P. et al, 2001). Ces sols sont des andosols de couleur noire, à forte teneur en matières organiques.

La grande diversité pédologique dans la région du Vakinankaratra peut se répartir en cinq classes :

- les sols ferrallitiques caractérisés par une individualisation des sesquioxydes Al₂O₃ et Fe₂O₃, avec la kaolinite comme type d'argile.
- les sols ferrugineux tropicaux sur les roches acides avec affleurement rocheux caractérisés par l'individualisation des hydroxydes et oxydes de fer.
- les sols ferrallitiques humifères : ils correspondent aux argiles très épaisses surmontées d'un horizon d'accumulation de débris végétaux.

- les sols alluvionnaires et les sols hydromorphes qui se différencient en plusieurs sous-classes en fonction de leur ancienneté et de la roche mère.
- les sols squelettiques qui ont une valeur agricole faible et couvrent pourtant une surface importante.

1.1.5. L'Agriculture dans la région de Vakinankaratra.

La région de Vakinankaratra se caractérise par une très grande diversité des cultures, mais toujours à base de riz de bas fonds.

Les cultures pluviales viennent en complément du riz de submersion. Les principales cultures pluviales sont : maïs, haricot, pomme de terre, patate douce. Les cultures de contre saison sont possibles sur les parcelles de rizières : blé, avoine, mais pas de second riz du fait des températures froides pendant l'hiver. Le manioc, l'arachide, le voandzou sont cultivés également dans cette région (D.R.D.R, 2003). Mais en tout cas, le maïs domine encore les paysages avec le haricot (souvent associé avec le maïs) et la pomme de terre.

1.2. L'érosion.

Nous pensons que la compréhension du phénomène d'érosion est avant tout importante afin de lutter convenablement.

Le mot érosion dérive du verbe « erodere » qui signifie « ronger », comme une maladie ronge un corps ; l'érosion peut dénaturer la terre en décapant l'horizon humifère (le plus fertile et le plus vivant) et en arrachant sélectivement les éléments nutritifs, les particules fines et les matières organiques capables à la fois de stocker l'eau utile et les nutriments, et de nourrir les éléments vivants dans le sol tels que : les micro-organismes, la mésofaune, les racines, etc ... (Eric Roose, 1984).

On distingue principalement deux formes d'érosion selon les agents causaux : l'érosion éolienne provoquée par le vent et l'érosion hydrique, provoquée par l'action de la pluie.

Pour la première forme, les phénomènes d'érosion éolienne ne peuvent se manifester de façon importante que sur sol peu rugueux, peu cohérent (nappes sableuses remaniées), dans les régions où les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 600 mm, où la saison sèche dure plus de 5 mois et où les vents soufflent à plus de 20 km à l'heure. Donc, la lutte contre cette forme d'érosion présente un intérêt important dans le sud seulement de Madagascar, car dans cette région les vents violents de l'alizé du Sud-Est y soufflent tout au

long de l'année avec des périodes de grande intensité au début de la saison sèche. En outre, la saison sèche dure huit mois et la pluviométrie annuelle est inférieure à 600mm.

L'érosion hydrique, par contre, est due principalement à l'action de l'eau de pluie qui arrache et entraîne le sol. Notre étude va surtout se focaliser sur cette forme d'érosion car le milieu d'étude est caractérisé par l'abondance de pluie.

1.2.1. Les mécanismes de l'érosion hydrique.

Le phénomène de l'érosion du sol se manifeste principalement sous deux formes :

- attaque par l'eau de la zone superficielle du sol et entraînement des particules élémentaires détachées.
- attaque du profil sur toute son épaisseur avec entraînement d'une masse entière de terre.

1.2.1.1. L'attaque du sol en surface.

Cette forme d'érosion quasi-générale à la surface du globe comporte deux phases :

- la formation sous l'action de la pluie, d'éléments susceptibles d'être entraînés par l'eau.
- l'entraînement et le transport de ces éléments par les ruissellements.

□ *L'action de la pluie.*

Le processus de « splash ».

Le sol se présente en général sous forme d'un assemblage d'éléments, de taille et de forme variables. Les agrégats constituent les particules élémentaires, et leur assemblage forme les mottes. Les gouttes de pluie tombant sur le sol possèdent une certaine énergie cinétique. L'impact des gouttes provoque ainsi la dégradation des agrégats et des mottes en particules fines transportables par le ruissellement. Celles-ci se détachent en rejaillissant dans toutes les directions de l'espace. Ce processus de rejaillissement est appelé « splash ».

Au cours d'une pluie, ce phénomène prend son intensité maximale pendant la phase d'imbibition du sol, c'est à dire au début de la pluie quand le ruissellement n'apparaît pas encore. Il est d'autant plus fort que le sol est dénudé. Lorsque le ruissellement apparaît, l'énergie des gouttes de pluie est dissipée par la lame d'eau recouvrant le sol. Le phénomène de « splash » diminue ainsi au fur et à mesure que le ruissellement s'accroît.

La naissance du ruissellement.

La battance du sol par les gouttes de pluie provoque la destruction progressive de la structure de la surface du sol. Dans une première phase, il se forme une pellicule de battance superficielle appelé « croûte de battance » due au tassement et à l'humectation interne de la surface du sol. La capacité d'infiltration du sol diminue ainsi par suite de la réduction de la porosité. A un moment donné de la pluie, une partie de celle-ci ne s'infiltré plus, le ruissellement apparaît alors et augmente au cours du temps.

Dans une deuxième phase, il se forme une croûte de dépôts dans les zones en dépression. Les particules solides détachées par les gouttes ou transportées par le ruissellement s'y accumulent et contribuent aussi à la réduction de la perméabilité du sol.

□ ***L'action du ruissellement.***

Si l'intensité de la pluie est encore inférieure ou égale à la capacité d'infiltration du sol, il y a infiltration totale de la pluie tombée dans le sol, mais le ruissellement se déclenche dès que le sol cesse d'absorber la totalité de la pluie qui tombe. Il est responsable pour sa part de la phase d'entraînement des particules détachées par la pluie mais aussi d'une action ravinante du sol si sa vitesse d'écoulement est forte. L'eau de ruissellement est redoutable en raison de la vitesse avec laquelle elle dévale.

Le transport des éléments solides.

Le ruissellement possède une capacité d'arrachement liée à sa vitesse, à sa turbulence et à sa charge solide. La charge solide augmente la densité du liquide et par conséquent la force tractrice du courant. Le transport d'éléments solides par le ruissellement s'effectue de plusieurs façons :

- par suspension
- par saltation
- par traction.

Les particules fines restent en suspension et sont totalement entraînées. Les éléments grossiers tels le sable, le gravier, trop lourds pour être mis en suspension sont déplacés par charriage. Les éléments de taille intermédiaire sont déplacés en saltation. Ils sont mis en suspension temporaire lorsque la vitesse de l'écoulement atteint des valeurs fortes.

L'action ravinante du ruissellement.

L'eau du ruissellement est aussi, comme la pluie, un agent d'attaque du sol car elle ruine les mottes et les agrégats à l'aide de la charge solide qu'elle transporte. Les particules transportées heurtent en effet les mottes et agrégats du sol avec une force vive. Elles exercent sur ceux-ci un effet mécanique capable de produire le détachement d'autres particules voire même une forte usure. D'autre part, lorsqu'un écoulement d'eau est organisé en chenal, son action est non négligeable, c'est l'attaque des berges d'un cours d'eau. Cela se produit dans le cas d'un cours d'eau, dans le cas d'un ravin dans lequel existe un écoulement intermittent ou continu et cela se produit même dans le cas d'une simple rigole inscrite dans le sol.

1.2.1.2. L'attaque du sol sur une épaisseur de son profil « mouvement de masse »

Il existe des circonstances moins fréquentes dans lesquelles le sol peut être déplacé suivant un mouvement de masse. L'eau est encore à l'origine de ce mouvement mais l'entraînement de la terre s'effectue selon des mécanismes où la force de gravité joue un rôle essentiel.

Une première circonstance dans laquelle se réalise un mouvement de masse est un sapement (mouvement de l'eau qui érode successivement la base du profil) du sol à la base du profil. Sa partie supérieure est mise en déséquilibre et s'éboule. Le sapement résulte plus souvent d'une attaque du terrain par l'eau de ruissellement. Mais il peut être en d'autre cas moins fréquents d'origine interne, c'est à dire qu'il se forme à l'intérieur du sol un chenal ou une cavité dont le toit s'effondre par soutirage ou vide.

Dans un second cas, on peut assister à un mouvement de masse en milieu à relief accentué. C'est le cas de la saturation d'une épaisseur de sol au-dessus d'un horizon imperméable plus ou moins profond tel un horizon B fortement argileux ou une roche mère argileuse. A la suite de pluie abondante et prolongée, ce sol peut se trouver gorgé d'eau et se met à glisser en un mouvement de masse.

1.2.2. Les facteurs de l'érosion hydrique.

Les précipitations atmosphériques et leur ruissellement constituent le facteur causal du phénomène d'érosion du sol par l'eau. La nature du sol, la pente, la végétation, l'action de l'Homme constitue un ensemble de facteurs qui jouent un rôle favorable ou défavorable pour limiter ou accélérer ce processus.

1.2.2.1. *Le facteur causal de l'érosion par l'eau : les précipitations atmosphériques.*

L'érosion hydrique a pour source d'énergie la pluie : énergie des gouttes d'eau de pluie pour arracher les particules et déclencher le processus de destruction des agrégats, énergie de l'eau de ruissellement qui assure le transport des particules détachées.

L'étude de l'action des précipitations atmosphériques nécessite celle des relations entre leurs caractéristiques (hauteur, intensité, fréquence). Si l'on désigne par E le potentiel érosif d'une pluie, on a la relation : $E = f(i, h, P)$; c'est une fonction à trois variables : « i », l'intensité de la pluie ; « h », la hauteur d'eau résultant de la pluie, et « P », sa période de retour. La durée « t » de chute de la pluie se trouve implicitement contenue dans les variables « i » et « h », puisque $i = h.t^{-1}$. (NEUVY Guy, 1995).

□ ***Influence de la hauteur des pluies « h ».***

Il n'existait pas de relation directe entre les valeurs annuelles de hauteur de pluie, de ruissellement et d'érosion (Hudson N.W et Jackson D.C, 1959). Si l'on étudie l'ampleur des phénomènes d'érosion en fonction des hauteurs de pluie individuelles, on peut constater que la relation hauteur de pluie / érosion ne peut, seule, expliquer le phénomène. Pour une même classe de pluie individuelle avec des conditions de milieu qui ne varient pas, on observe des ruissellements et de pertes en terres extrêmement variables (Roose, 1984).

En revanche, si nous considérons le temps de chute « t », lié à la hauteur h, il n'en est plus de même. La relation $h = i \times t$ montre qu'une valeur de h peut résulter d'une pluie de faible intensité mais de longue durée ou d'une forte pluie mais de courte durée.

□ ***Influence de l'intensité « i »***

L'intensité, c'est la hauteur de pluie tombée pendant un temps donné (exemple : mm/h ; mm/mn). C'est le facteur primordial de l'érosion. Une pluie intense est formée de grosses gouttes serrées ; dans ces conditions, leur énergie cinétique est très forte, puisqu'elle est proportionnelle au produit de leur masse par le carré de leur vitesse ($1/2 mv^2$) ; or cette vitesse est d'autant moins freinée par la résistance de l'air que le poids des gouttes est élevé. Il en résulte une rupture de la structure du sol, en surface, et une saturation rapide de sa porosité, entraînant une quasi totale imperméabilité.

L'action mécanique, appelée battage du sol, est donc proportionnelle à « i » ; les fortes pluies provoquent la pulvérisation des particules terreuses, cela d'autant plus facilement que celles-ci sont humectées. Les particules fines qui en résultent, sont facilement entraînées par les

ruissellements ou alors elles s'enfoncent dans la terre avec l'eau d'infiltration et diminuent ainsi la porosité de la couche superficielle du sol.

□ ***Influence de la fréquence des pluies.***

En zone tropicale, un des caractères des précipitations est leur répétition à court terme pendant la saison des pluies : une répétition journalière des pluies est un fait courant.

Avec une grande fréquence des pluies, certaines d'entre elles, bien que moins abondantes ou moins intenses que d'autres, peuvent provoquer des ruissellements et des érosions plus élevés car, entre deux pluies rapprochées, le sol n'a pas eu le temps de se ressuyer, sa saturation va vite être atteinte et les dernières pluies, quels que soient leurs caractères, ruissellent beaucoup plus qu'elles ne s'infiltrent.

1.2.2.2. Les facteurs conditionnant l'érosion du sol par l'eau.

□ ***La nature du sol.***

Les sols ne présentent pas la même résistance à l'érosion, et cette résistance varie avec les propriétés chimiques et surtout physiques des différents types de sol ; tout particulièrement leur structure et leur perméabilité. Mais ces deux derniers facteurs varient considérablement suivant que le sol est couvert ou non de végétation. Pourtant, un sol, même dénudé, se comporte différemment sous l'action de la pluie, suivant qu'il est ou non labouré. Une terre dénudée, non cultivée est caractérisée par un fort tassement, c'est à dire un faible perméabilité ; d'où un ruissellement plus intense, au cours d'une précipitation.

Dans un sol cultivé, on est donc amené à considérer au moins deux zones, même s'il est homogène sur une grande profondeur ; la couche supérieure, rendue meuble donc plus poreuse, par les instruments aratoires, et la couche inférieure plus compacte, donc moins perméable. Plus le sol est poreux, et plus le coefficient d'infiltration est élevé, ce qui diminue d'autant le ruissellement.

La composition granulométrique du sol est aussi un facteur important de l'érosion ; selon Hudson, l'érosion sur un sol sableux est proportionnelle au ruissellement, car la stabilité structurale du sol est alors faible. Par contre, l'érosion, sur un sol argileux, est proportionnelle à l'intensité de la pluie. Ceci semble en accord avec ce qui a été dit précédemment, l'argile se dégrade facilement en petits éléments, sous l'action de grosses gouttes, lorsqu'elle est humide et les fragments colloïdaux sont alors dilués et transportés par l'eau.

Certains éléments du sol sont des facteurs de cohésion ; c'est le cas des colloïdes humiques et argileux qui soudent entre elles les particules sableuses. La composition

chimique du sol exerce d'autre part un rôle : par exemple, la nature des bases fixées sur le complexe peut déterminer sa floculation (calcium, magnésium) ou sa dispersion (sodium).

□ ***La pente du sol.***

La pente intervient dans les phénomènes d'érosion par son intensité, sa longueur et sa forme.

L'intensité de la pente ou son inclinaison accroît la vitesse du ruissellement. Ce qui suffit pour provoquer une augmentation de l'érosion.

L'influence de la longueur de la pente sur l'érosion est également importante. Elle a une influence très variable selon l'état de la surface du sol. Théoriquement, le refus d'infiltration s'accumule tout au long du versant : la vitesse du ruissellement s'accroît ainsi que son énergie, et par conséquent l'érosion.

Enfin, la forme de la pente est un facteur non négligeable. Cette forme peut être concave, convexe ou constante. Dans les deux premiers cas, il s'agit en fait d'un changement de pente, donc d'une modification des forces vives de la masse écoulee. Dans le cas d'une pente concave, il y a diminution d'intensité de la pente, de l'amont vers l'aval, donc freinage de la masse écoulee et réduction des transports solides.

□ ***La végétation.***

La végétation protège le sol contre l'érosion de plusieurs manières. Elle forme un écran protecteur qui se manifeste de trois façons distinctes :

- l'effet, de battage du sol, encore appelé splash, est d'autant plus atténué que la végétation est dense.

- sur les terrains en pente, la présence des végétaux fait obstacle au ruissellement ; l'eau ne se déplace plus suivant la ligne de plus grande pente du terrain, mais au gré des obstacles rencontrés ; son parcours devient sinueux, sa vitesse plus lente, et, s'il s'agit d'une végétation herbeuse, un pourcentage non négligeable du transport est retenu. Si la pluie est de courte durée, la quantité d'eau retenue sur les végétaux n'est pas négligeable, et se trouve soustraite au ruissellement. Mais la capacité de rétention externe des plantes atteignant vite son état de saturation, son importance diminue lorsque la durée de chute augmente.

- la présence de racines dans le sol augmente sa porosité ; et l'eau s'infiltré d'autant mieux que la vitesse d'écoulement se trouve ralentie en surface par la présence des plantes. De plus, ces racines contribuent à maintenir le sol en place, surtout si elles sont traçantes. Une augmentation de la quantité d'eau infiltrée se traduit toujours par une diminution du ruissellement.

Enfin la végétation, par son renouvellement saisonnier, produit une couche d'humus qui améliore notablement la structure du sol et sa cohésion.

□ ***L'homme.***

Chaque fois que l'homme s'attaque à la couverture végétale naturelle pour étendre ses cultures ou son élevage, il favorise l'action de l'érosion. Lorsque la végétation naturelle recouvre une terre, elle assure une protection permanente, même pendant la saison morte du cycle végétatif, car les racines restent en place, et une partie desséchée des plantes émerge toujours de terre. Il n'en est plus de même lorsque le sol est cultivé, surtout avec des plantes annuelles ; les semis et le repiquage sont généralement faits au début de la saison des pluies, pour que les graines puissent se développer dans de bonnes conditions. A ce moment-là le sol a été ameubli, et se trouve sans couverture végétale, donc très vulnérable à l'érosion. Ainsi l'action de l'homme, même si elle est rigoureusement planifiée et menée avec prudence, favorise le déclenchement des processus d'érosion, surtout s'il cultive sur des terres en pente, beaucoup plus sensibles à l'érosion.

1.2.3. Les différentes formes d'érosion.

Les formes les plus courantes de l'érosion hydrique sont : les ravinements, les glissements de terrain et surtout les «*lavaka*», si fréquentes à Madagascar. Toutefois, la première forme d'érosion rencontrée sur un versant est celle provoquée par le ruissellement sauvage, l'érosion en nappe : processus qui est à l'origine de beaucoup d'autres.

1.2.3.1. L'érosion en nappe.

On parle d'érosion en nappe parce que l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe.

Cette forme d'érosion se manifeste comme une conséquence des gouttes de pluie qui détruisent les agrégats du sol. En effet, les particules fines du sol sont mises en liberté. Etant libres, elles vont remplir l'espace entre les particules grossières et vont former à la surface du sol une couche tassée comme une croûte. Cette croûte a une faible perméabilité pour l'eau et pour l'air. Des problèmes d'infiltration et d'aération en découlent. Si la pluie continue, l'eau qui ne peut pas s'infiltrer dans le sol s'écoule à la surface et enlève une couche mince et plus ou moins uniforme de sol ; une «*nappe*» de sol, qui le plus souvent est si mince qu'on ne peut pas le constater visuellement. (N. Nadia Pons-Ghitulescu, 1985)

L'érosion en nappe se produit principalement quand la surface du champ est lisse et la pente est uniforme.

L'effet de l'érosion en nappe n'est apparent qu'après une longue période ; la terre est devenue rugueuse, car les éléments fins ont été emportés. Dans les savanes, ou les prairies naturelles, les touffes d'herbes finissent par être en net relief, laissant apparaître la partie supérieure de leur réseau racinaire. En amont de ces touffes, il y a des accumulations de terre, celle qui a été retenue par l'herbe durant son déplacement vers le bas de la pente.

L'érosion en nappe est la base de toute autre forme d'érosion. Ensuite, des formes plus concentrées d'écoulement apparaissent, l'érosion en ravines commence, dont les «*lavaka*» sont une des formes.

1.2.3.2. L'érosion en rigoles et en griffes.

L'érosion en nappe seule est rare. Pour peu qu'il y ait pente, les eaux se concentrent sur les accidents de terrain, trouvent un chemin d'écoulement et très vite creusent de petits canaux. On parle de griffes lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, de rigoles lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur mais sont encore souvent effaçables par les travaux agricoles (labour).

Sur prairies mal exploitées, les passages trop fréquents des bovins font apparaître des rigoles qui dégèrent vite en ravines. Les travaux mécaniques mal faits, créant des dérayures amenant une concentration d'eau, sont également générateurs d'érosion de ce type.

1.2.3.3. L'érosion en ravines.

On parle de nappe ravinante lorsque les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm mais que leur largeur atteint plusieurs mètres et enfin de ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm) et, en particulier, lorsqu'ils ne sont plus effaçables par les techniques culturales. A l'intérieur des ravines on peut encore distinguer des petites ravines dont le lit est encore encombré de végétation herbacée et surtout arbustive et qu'on pourra fixer rapidement par des méthodes biologiques. Par contre, dans les grandes ravines qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central comporte des blocs rocheux, témoins d'un charriage important et d'une certaine torrencialité. Ces fonds étant mobiles, il n'est plus question de les stabiliser uniquement par des méthodes biologiques. Dans ce cas, il sera nécessaire d'utiliser des seuils cimentés et des méthodes mécaniques coûteuses (Lilin, Koohafkan, 1987 ; Mura, 1990).

Si on parle de l'érosion à Madagascar, il est également important de parler de la forme très spectaculaire de l'érosion en «*lavaka*», très répandue sur les Hautes Terres.

Le «*lavaka*» est caractérisé par un véritable cirque ovoïde à parois verticales ou des formes digitées plus ou moins ramifiées, mais présentant toujours une paroi verticale. Leur écoulement se fait généralement par un goulot étroit dans la vallée (C. Bailly et al, 1969)

Le ruissellement superficiel, l'érosion en ravines provoquée par le déboisement, le surpâturage et tout ce qui contribue à favoriser la détérioration de la couverture du sol sont des facteurs déterminants, toutes les fois que les conditions naturelles géo-pédologiques, c'est à dire l'existence d'un horizon superficiel cohérent reposant sur une zone friable constituée par de la roche pourrie, sont remplies.

1.2.4. Les conséquences de l'érosion.

Généralement quand on pense aux effets de l'érosion sur le sol, on imagine souvent des ravines spectaculaires («*lavaka*»). Mais à côté de ces formes importantes et catastrophiques, il y a aussi d'autres effets, moins visibles, mais néanmoins très fâcheux. Les conséquences peuvent être directes ou indirectes.

1.2.4.1. Les conséquences directes.

Elles contribuent souvent à la dégradation du sol. Notons que la dégradation des sols est la diminution de leur capacité ou de leur potentiel à produire quantitativement et qualitativement, par suite de mauvaises conduites d'utilisation par l'homme. On peut citer quelques processus de dégradation des sols provoqués par l'érosion :

□ ***La dégradation des propriétés hydriques.***

La diminution de la teneur en matière organique et l'appauvrissement en éléments fins du sol superficiel par l'érosion diminuent la capacité de rétention en eau du sol. Les plantes sont alors soumises à des déficits hydriques plus graves.

La formation d'une croûte en surface due à une dessiccation rapide et à la faible stabilité structurale du sol entraîne la réduction des macropores de l'horizon superficiel. Ainsi, l'infiltration de l'eau se ralentit, ce qui augmente considérablement les pertes par ruissellement. Dans les zones alluvionnées, les sols enrichis en éléments fins peuvent devenir battant et asphyxiant par engorgement pour les plantes.

□ ***La dégradation des propriétés chimiques.***

L'érosion contribue à la perte d'éléments nutritifs qui sont lessivés en même temps que les particules de sol. Les éléments fins exportés contiennent par rapport à la terre moyenne :

- ❖ 2 à 3 fois plus d'azote (surtout sous forme d'humus).
- ❖ 2 à 3 fois plus de phosphore.
- ❖ 2 à 19 fois plus de potasse.
- ❖ 10 fois plus de chaux échangeable.

Le pH des terres entraînées est en moyenne supérieure d'une unité à celui de terres en place (Cours de D.R.S. par RAZAFINDRAKOTO Marie Antoinette)

Ainsi, la diminution de la fertilité du sol conduit inévitablement à la chute de production et parfois même à l'abandon total des terres non productives et non rentables. Ce cas se produit après plusieurs années de culture en zones défrichées où le dépôt minéral produit par le feu subit soit un lessivage par les eaux d'infiltration, soit une exportation par les eaux de ruissellement.

Une autre forme de la dégradation chimique est l'acidification des sols. Aux températures élevées des régions tropicales, la décomposition de la matière organique est accélérée, l'humus évolue et se minéralise très rapidement. Cette minéralisation entraîne la déstabilisation des argiles et le lessivage du fer et des bases échangeables avec acidification. Ce processus est facilité par une agriculture sans fumure sur des sols très pauvres chimiquement.

❑ **La dégradation biologique.**

L'érosion peut dénaturer la terre en décapant l'horizon humifère, en arrachant sélectivement les éléments fins et les matières organiques. Alors que ces dernières sont capables à la fois de stocker l'eau utile et les nutriments, et de nourrir ainsi les éléments vivant dans le sol : micro-organismes, mésofaune, racines, etc,...). En outre, l'érosion peut décaper les horizons superficiels et rajeunir le profil. Dans ce cas, les couches profondes moins fertiles apparaissent et parfois même la roche mère affleure. Ainsi, les activités biologiques diminuent voire même disparaissent totalement.

1.2.4.2. Les conséquences indirectes.

Les conséquences indirectes de l'érosion intéressent essentiellement les dégâts causés par les terres et les eaux en aval. Les dégâts ne se limitent pas seulement à la productivité du terrain même sur lequel ils se produisent. La majeure partie du sol décapé par l'érosion d'une colline va se déposer au bas de la pente ou sur une plaine d'inondation voisine où elle va ensevelir des cultures ou amoindrir la fertilité des bas-fonds. Une partie du sol érodé se

dépose dans les canaux d'irrigation ou de drainage, ou se déverse dans les étangs, les réservoirs, ou les cours d'eau.

Mais les dégâts se propagent aussi plus loin en aval. Transporté par une voie d'eau, le sédiment retombe à mesure que le lit du cours d'eau devient plus plat. Les dépôts sédimentaires exhausent le lit et diminuent la capacité du chenal. Les berges sont plus souvent débordées et de bonnes terres extrêmement productives de bas-fonds sont abîmées par les inondations et les ensablements.

1.2.5. Les moyens de lutte antiérosive.

Les objectifs de la conservation des sols se résument à :

- éviter l'érosion et autres formes de dégradation des sols en exploitant la terre conformément à ses aptitudes.
- appliquer des mesures de restauration de la productivité du sol quand celui-ci a été endommagé et prévenir d'ultérieurs dégâts.
- combiner l'emploi de méthodes rationnelles d'aménagement des sols avec d'autres méthodes et facteurs de production de l'agriculture pour obtenir une production satisfaisante sur une base durable.

Ainsi pour améliorer et conserver le sol, l'homme dispose de toute une série de moyens biologiques reposant sur la manipulation de la végétation et le travail du sol, ainsi que de moyens mécaniques, reposant sur l'aménagement du terrain et le travail du sol également.

Si l'on se concentre sur les phénomènes provoqués par l'eau, la conservation du sol s'effectue par trois contrôles :

- le contrôle du sol.
- le contrôle de la végétation.
- le contrôle de l'eau.

1.2.5.1. La conservation du sol par la modification de ses propriétés.

Par des façons culturales appropriées, l'homme peut modifier l'état structural du sol. Il peut accroître la stabilité de cet état structural dans le but de créer des agrégats résistants à l'action des gouttes de pluies et aussi pour faciliter l'infiltration et la rétention de l'eau.

□ ***L'influence de la couverture du sol.***

Des végétations permanentes, prairies et forêts, jouent un rôle fondamental non seulement contre la battance du sol par la pluie mais aussi contre la destruction de sa structure grâce à leur système racinaire. En effet par le processus de granulation, les racines fragmentent les sols compacts en éléments de petite taille et, d'autre part, favorisent l'agrégation des éléments structuraux particuliers en agrégats de taille plus importante. Ce mécanisme est dû à l'alternance humectation – dessiccation au niveau des racines. En outre, les racines créent une macroporosité importante qui améliore l'infiltration.

□ ***Influences de la matière organique.***

Les effets bénéfiques de matière organique sur les propriétés physiques du sol sont nombreux : accroissement de la stabilité structurale, de la perméabilité et de la capacité du sol pour l'eau.

On peut apporter la matière organique par enfouissement d'engrais verts, apport de pailles de céréales ou de résidus de récolte, apport de fumier, installation d'une prairie temporaire ou d'une jachère arbustive améliorée, c'est à dire une légumineuse fixant l'N de l'air.

□ ***Influence des amendements.***

Comme les cations échangeables ont une influence sur la stabilité structurale des sols, l'emploi d'amendements calcaires, pour la floculation du complexe argilo-humique et sa résistance à la dispersion par l'eau, constitue l'une des plus anciennes pratiques connues pour améliorer le sol.

□ ***Influence du travail du sol.***

Le travail du sol contribue à améliorer la résistance du sol à l'attaque hydrique, en limitant le ruissellement s'il est effectué dans de bonnes conditions.

Le plus indiqué est le travail du sol avec des appareils qui n'affinent pas trop la surface du sol, qui soulèvent le sol sans le retourner et qui incorporent superficiellement les débris végétaux.

Il est important de noter que l'ameublissement du sol par le labour permet une bonne infiltration pendant les premières pluies. Mais la fragilité du sol fraîchement labouré est telle qu'il rejoint rapidement le comportement d'un sol nu non travaillé. Mais si on protège la

surface du sol par un couvert de paille ou un mulch, l'infiltration est nettement plus favorable et l'érosion est minimisée.

Il est également important d'insister sur l'effet de l'état motteux ou de la rugosité du sol contre les processus de ruissellement et d'érosion. Les aspérités du sol résistent mieux à l'impact de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et retardent la formation de la pellicule de battance imperméabilisant le sol. Donc, elles constituent un barrage au ruissellement et aux transports solides et offrent des surfaces supplémentaires disponibles à l'infiltration.

1.2.5.2. La conservation du sol par le contrôle de la végétation.

□ *La conduite des cultures.*

La conduite de culture constitue une solution clé pour la conservation des sols utilisés à des fins agricoles.

Des techniques agricoles rationnelles adaptées aux conditions pédologiques et climatiques peuvent permettre de conserver et même d'améliorer les propriétés des terres cultivées.

Le rôle de la fertilisation.

La fumure, en favorisant le développement des parties aériennes et souterraines des plantes, est un facteur de conservation de sol en même temps qu'un facteur de rendement et de maintien de la fertilité.

Une bonne fertilisation augmente la vitesse de croissance des plantes et la densité du volume végétal entraîne une meilleure protection des terres cultivées par :

- l'accroissement du stock de matière organique
- un développement plus important du système racinaire qui entraîne une meilleure cohésion du sol.

L'utilisation et la disposition des cultures dans l'espace.

La culture en bandes alternées.

C'est une culture selon les courbes de niveau mais dans laquelle on fait alterner des bandes de cultures différentes de façon à augmenter les obstacles au ruissellement. L'idéal est d'alterner des cultures érosives (plantes sarclées) avec des cultures moins érosives (céréales) et des cultures améliorantes (prairies, légumineuses)

Les bandes d'arrêt et les haies.

L'alternance de bandes de végétation permanente avec les cultures a un effet conservateur net, même si les bandes sont de largeur réduite, lorsqu'elles sont répétées fréquemment.

Les bandes permettent d'augmenter l'infiltration si elles portent des plantes à enracinement profond.

L'action des bandes d'arrêt peut se traduire à long terme par une transformation de la pente. En effet, elles provoquent la formation naturelle d'une série de petites terrasses dues à la sédimentation en amont de chaque arrêt.

Les cultures dérobées et cultures associées.

La culture dérobée vise à occuper et à utiliser le terrain entre deux cultures principales. Tandis que, la culture associée consiste à cultiver sur un même champ deux espèces végétales.

Ces deux systèmes de cultures peuvent être utilisés à des fins agronomiques mais également à des fins conservatrices lorsqu'on veut couvrir et protéger au maximum le sol ou améliorer ses propriétés.

Pour lutter contre l'érosion, les cultures dérobées et associées permettent surtout de pallier l'absence momentanée de couverture du sol ou l'absence plus permanente si les plantes exigent un grand écartement.

L'utilisation des résidus de récolte ou mulch.

Le paillage ou « mulching » consiste à utiliser les résidus de récolte pour réaliser une couverture morte à la surface du sol.

D'une part, il protège le sol contre l'action de gouttes de pluie donc réduit nettement l'érosion et le ruissellement. D'autres part, il freine celui-ci. En outre, les débris végétaux décomposés améliorent la structure du sol et sa capacité de rétention en eau par apport de matière organique.

L'utilisation et la disposition des cultures dans le temps : rotation culturale.

La rotation est l'ordre de succession des cultures sur une même parcelle. Si elle est bien effectuée, la rotation permet une utilisation rationnelle du sol en tenant compte de la loi de restitution. La plantation d'une même espèce de plante sur un même sol entraîne l'épuisement en élément préférentiel de cette plante en rendant le sol moins résistant aux agents atmosphériques. Ainsi, la culture d'une succession de plantes ayant des exigences différentes pallie cet inconvénient.

En outre, la rotation des cultures augmente la perméabilité du sol surtout si on cultive en rotation des plantes qui ne s'enracinent pas à la même profondeur. Elle permet également

d'exploiter successivement différents horizons du sol. Dans ce cas, les éléments assimilables ont le temps de se régénérer dans les horizons non exploités.

1.2.5.3. La conservation du sol par le contrôle de l'eau : l'aménagement des terres et la modification de la topographie.

Les procédés mécaniques de conservation du sol sont entrepris pour diminuer le ruissellement et par cela l'érosion. Ces mesures permettent alors de :

- faciliter l'infiltration de l'eau.
- limiter la longueur des pentes sur lesquelles l'eau s'écoule pour fragmenter le débit de l'eau de ruissellement et atténuer sa vitesse.
- assurer l'écoulement des eaux contrôlées vers les exutoires, puis dans des collecteurs spécialement aménagés et consolidés

L'aménagement des terres et la modification de la topographie répondent à ces besoins.

Les moyens mécaniques de lutte contre l'érosion sont souvent considérés comme des mesures de soutien. Ils sont mis en œuvres lorsque les moyens biologiques et la rationalisation de l'agriculture s'avèrent insuffisants pour le contrôle des phénomènes de dégradation.

□ ***Le terrassement des terres***

Les terrasses.

Sur les versants dont les pentes sont considérées trop fortes (10 – 60 %) pour être cultivées directement, on établit des bandes de cultures approximativement horizontales et disposées en escalier sur le versant. Ces terrasses sont soutenues par des murs de pierres sèches ou des talus gazonnés. La bande horizontale de la terrasse est appelée sole ou lit.

Les terrasses nécessitent une très grande quantité de travail pour la construction initiale et un entretien régulier. Cette technique présente donc un coût très élevé. Par conséquent, elle est très peu pratiquée sauf dans les cas particuliers où elle est la seule méthode pour permettre la mise en culture des sols très pentus. La construction progressive des terrasses peut se faire par des travaux de labour vers le bas et une installation des bandes d'arrêt ou des fossés. Dans ce dernier cas, bien qu'on n'obtienne pas exactement un profil de terrasse, on réduit ainsi considérablement la pente du versant sans travaux de terrassement.

Les banquettes et les gradins.

Les banquettes sont des bandes de terres de largeur constante, disposées sur un versant et dont le profil comporte : un talus en amont ayant une pente plus ou moins forte, un fond ou sole en légère contre-pente et un bourrelet saillant caractéristique, non franchissable à l'aval.

Ce dispositif permet d'intercepter et emmagasiner temporairement l'eau qui peut s'infiltrer progressivement. L'excédent de ruissellement est évacué à une vitesse ralentie vers un ravin naturel ou un exutoire spécialement aménagé. L'énergie du ruissellement est ainsi réduite d'où l'érosion est atténuée.

C'est généralement la zone entre deux banquettes (ou inter-banquette) qui est cultivée. Cependant, il existe aussi des banquettes de culture et dans certains cas, on utilise le fond de la banquette.

Les gradins sont des banquettes de petit format à profil en V plus ou moins évasé, utilisées généralement pour les plantations forestières ou fruitières en forte pente.

Il est prudent de donner aux banquettes une légère pente longitudinale conduisant l'eau excédentaire vers un collecteur aboutissant à un exutoire.

□ ***Les levées de terre et les murettes.***

La levée de terre est une sorte de digue généralement de faible hauteur, construite pour retenir les eaux de ruissellement.

Les murettes en pierres sèches constituent à la fois des obstacles au ruissellement et un filtre retenant les matériaux transportés. Elles doivent être construites suivant les courbes de niveau.

□ ***Les fossés de protection.***

C'est un type d'ouvrage de dérivation ou de diversion établi perpendiculairement à la pente, à la partie amont des parcelles de culture. Il reçoit l'eau de l'impluvium supérieur et le dirige vers un collecteur.

Ces fossés sont horizontaux ou en légère pente longitudinale pour permettre au ruissellement de s'accumuler et de s'infiltrer par le fond et les parois. L'eau excédentaire est canalisée sur les côtés et se déverse vers des exutoires contrôlés et protégés.

□ ***Le labour suivant les courbes de niveau.***

Lorsque la pente de terrain est faible, le travail du sol constitue l'une des méthodes les plus efficaces pour contrôler le ruissellement et l'érosion. Il est alors inutile de mettre en œuvre des moyens mécaniques de lutte plus importants.

Le labour effectué suivant la direction des courbes de niveau engendre des sillons très rapprochés perpendiculaires à la pente et constituant des retenues d'eau.

Cette méthode permet de réduire considérablement la vitesse d'écoulement de l'eau et d'accroître l'infiltration.

Cependant le labour ne peut être efficace que pour une pente inférieure à 5% et sur des terrains suffisamment perméables en surface et en profondeur. En effet, le développement de certaines plantes peut être gêné par l'excès d'eau.

Si l'on veut appliquer un labour isohypse à un terrain imperméable, il faut effectuer auparavant un sous-solage.

1.3. L'érosion sur les hautes terres de Madagascar.

Après avoir présenté le milieu d'étude et l'érosion en général, nous allons, dans cette sous partie, et avant d'avancer la pratique que nous supposons efficace pour limiter l'érosion, essayer de répondre à la question qui se pose souvent : « pourquoi les phénomènes d'érosion sont-ils si importants sur les Hautes Terres malgaches ? ». Pour pouvoir répondre à cette question, voyons en premier lieu les facteurs naturels de l'érosion dans cette zone, puis les pratiques paysannes qui favorisent l'érosion et les causes socio-économiques qui poussent les agriculteurs à défricher la terre fragile sur «*tanety*».

1.3.1. Les facteurs naturels de l'érosion dans les Hautes Terres.

Notre étude se focalise surtout sur l'érosion hydrique car l'érosion éolienne n'est qu'un cas particulier de la partie Sud de Madagascar.

Dans les Hautes Terres, la pluviométrie annuelle est généralement comprise entre 1000 mm et 2000 mm. C'est pourquoi l'eau de pluie est l'agent causal principal de l'érosion dans cette partie de Madagascar.

Les sols des Hautes Terres sont dominés par des sols ferrallitiques, des «*tanety*» qui sont des milieux fragiles, peu structurés physiquement et sont généralement en pente, exposés à l'érosion. Notons que sur un sol suffisamment plan, l'érosion hydrique ne se manifeste pas car le mouvement de l'eau est nul, et, de plus, elle a le temps pour s'infiltrer si le sol est perméable.

1.3.2. Les activités paysannes aggravant les phénomènes de l'érosion.

Les phénomènes d'érosion ne se manifestent pas dans les forêts naturelles. Dans ces endroits les sols sont encore protégés par les couvertures végétales. Mais plus l'homme a

besoin de terre et plus il défriche et détériore la couverture végétale. Dans ce cas, l'érosion se développe, surtout si l'homme exploite les ressources naturelles d'une manière irrationnelle, sans prendre la responsabilité de les restaurer. Parmi les activités favorisant l'érosion, on peut citer :

1.3.2.1. Les feux de brousse.

Les feux de brousse fréquemment pratiqués à Madagascar pour diverses raisons : politique, sociale, cultures sur brûlis, renouvellement du pâturage dans l'élevage extensif, entraînent la dégradation de la végétation et des sols jusqu'à la formation généralisée sur les Hautes Terres d'une végétation monospécifique exposant facilement le sol à l'érosion en «*lavaka*».

1.3.2.2. Le surpâturage.

Le surpâturage est aussi une cause importante de la dégradation des sols. A Madagascar, le parcours des zébus constitue souvent des zones de départ de l'érosion en «*lavaka*». La dégradation de la végétation, voire sa disparition par le piétinement excessif du bétail, favorisent les phénomènes d'érosion.

1.3.2.3. Le travail du sol.

La plupart des paysans des Hautes Terres pratiquent le travail du sol dans le but de reconstituer la structure et de redonner au sol une porosité normale car la porosité et la structure d'un sol cultivé tendent à s'altérer avec le temps.

Le labour isohypse suffit pour contrôler le ruissellement et l'érosion lorsque la pente est faible (inférieur à 5%). Signalons que le travail du sol contribue principalement à :

- ameublir le sol tout en augmentant sa porosité. Alors, il favorise l'infiltration de l'eau de pluie et sa mise à la disposition des plantes.
- entretenir la fertilité par l'enfouissement de la biomasse et du fumier dans le sol.
- éliminer les mauvaises herbes, donc favoriser le développement rapide de la culture qui recouvre vite le sol.

Cependant, ce travail du sol n'a pas que des effets positifs, car il aboutit à la constitution d'un horizon d'étranglement très tassé que même les racines des plantes ne peuvent plus traverser quand il est effectué avec une charrue toujours à la même profondeur, il diminue la cohésion du matériau et du même coup sa résistance à l'agressivité des pluies, il perturbe également l'activité biologique des sols due aux remaniements mécaniques de la

faune du sol et enfin il détruit également les couvertures protectrices du sol. Ce qui explique l'action du travail du sol pour favoriser l'érosion.

On peut donc dire que l'action positive du travail du sol sur l'infiltration est seulement temporaire, et que cette opération facilite le détachement des particules. Cette action est d'autant plus temporaire que l'affinement est poussé et que la stabilité structurale est faible.

1.3.3. Causes socio-économiques.

Sous la pression démographique, les agriculteurs sont obligés d'accroître leur production alimentaire. Par conséquent, les paysans cherchent à augmenter la production par l'extension des surfaces cultivées. Or, les bas-fonds et les plaines sont déjà presque saturés, alors ils sont obligés de défricher des terres de «*tanety*» qui ont généralement une topographie tourmentée, très favorable à l'érosion. Cependant, le défrichement constitue la principale cause de dégradation du sol sur les Hautes Terres, par la diminution des couvertures végétales qui protègent le sol contre les agents de l'érosion.

1.3.4. Le rôle du semis direct pour résoudre les problèmes des Hautes Terres Malgaches.

Les procédés biologiques et culturaux ne peuvent être efficaces que sur des terrains en pentes inférieures à 5%. Or la plupart des sols disponibles pour faire l'extension dans notre pays ont des pentes supérieures à celle-ci. Les ouvrages mécaniques pour compléter ces luttés, cités précédemment, sont peu pratiqués par les agriculteurs à cause de l'indisponibilité en temps et en main d'œuvres et également du fait du coût d'investissement de certains ouvrages. Par conséquent le sol se dégrade progressivement et sa fertilité diminue. En raison de la pauvreté des agriculteurs des Hautes Terres, l'adoption de certaines mesures de redressement de la fertilité du sol qui consistent à utiliser des fumiers, des engrais chimiques et des amendements est impossible. C'est pour toutes ces raisons que nous avons choisi de tester une autre pratique, «le semis direct sur couverture végétale permanente», que nous supposons pouvoir protéger le sol, même sur des terrains présentant des pentes plus intenses, contre l'érosion hydrique.

1.3.4.1. Généralités sur le semis direct

Le semis direct est un système de semis dans lequel la semence est placée directement dans le sol non remanié. Il consiste à semer soit :

➤ dans les résidus de récoltes du précédent cultural et des repousses d'adventices qui sont desséchées par pulvérisation par de l'herbicide systémique. C'est le cas d'un système de semis direct sous « couverture morte »

➤ sur couverture vive ; dans ce cas, les plantes de couverture doivent être implantées avant les cultures principales envisagées. Avant le semis, ces plantes doivent être maîtrisées temporairement par des herbicides qui ne détruisent que les organes aériens afin que les couvertures puissent reprendre leur végétation après le développement de la culture. (RAVELONARIVO A. 1994, RASAMILALA A. 2004).

Dans les deux cas, le semis est effectué sans aucun travail préalable du sol ni labour, ni autres façons culturales, sauf si le sol est compact qu'il faut décompacter avec un sous-solage profond. Cette opération est effectuée seulement la première année.

Seul un petit sillon ou un trou de poquet est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. L'ouverture et l'émiettement effectués sur une zone correspondent seulement au lit de semence, au voisinage immédiat des graines.

1.3.4.2. *Les processus agrobiologiques mis en jeu par les SCV.*

❑ **Les Effets des systèmes SCV sur la flore adventice**

Les systèmes SCV limitent le développement des adventices par :

➤ Compétition pour la lumière : la plante de couverture morte ou vivante gêne le développement des adventices en faisant écran au passage de la lumière.

➤ Le phénomène d'allélopathie¹ : certaines plantes de couverture émettent des substances qui gênent la germination, la croissance ou le développement des adventices. Ces substances peuvent être des exsudats provenant des racines, des produits résultant du lessivage des tiges et des feuilles, ou encore des toxines issues de la décomposition de parties de la plante.

¹ L'allélopathie est « l'ensemble des phénomènes dus à l'émission ou la libération de substances organiques par divers organes végétaux vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain »

□ ***Les effets des SCV sur les états physiques du sol et le stockage de l'eau***

Les impacts sur l'état structural du sol.

Les Conséquences du non-travail du sol avant semis

Un des objectifs du travail du sol avant semis est l'amélioration de l'état structural du sol. Cependant, si les travaux du sol sont effectués dans de mauvaises conditions (trop sèches ou trop humides), les effets obtenus sont contraires à ceux attendus : apparition d'une semelle de labour, sol émietté en surface.... De plus, en agriculture motorisée, des passages répétés du tracteur favorisent le tassement du sol.

Dans ces conditions, pratiquer le semis direct permet de limiter les interventions qui participent à la dégradation de la structure du sol. Cela suppose aussi d'améliorer la structure du sol d'une autre manière que par le labour : c'est l'un des rôles de la couverture végétale.

Les actions des plantes de couverture en profondeur.

Les SCV agissent en profondeur par :

➤ l'amélioration de la stabilité structurale du sol : en enrichissant le sol en matière organique, la couverture végétale participe à l'amélioration de sa stabilité structurale.

➤ l'amélioration de la structure : les plantes de couverture permettent de fragmenter le sol grâce à l'action de leurs racines qui s'introduisent dans les fissures et les agrandissent. Nous pouvons citer le rôle particulièrement actif des graminées comme le brachiaria à enracinement profond, ainsi que les plantes pivotantes comme les crotalaires.

De plus, l'enrichissement en matière organique favorise la vie biologique dans le sol, ce qui participe à l'augmentation de la porosité (creusement des galeries...)

Les actions des plantes de couverture en surface.

Nous avons vu que les plantes de couverture contribuent à l'amélioration de la structure du sol et de sa stabilité. Mais en recouvrant la surface du sol, elles limitent également l'impact des phénomènes climatiques sur l'état physique du sol. Les actions des plantes de couvertures peuvent être :

➤ la protection du sol contre l'impact des pluies : la présence d'une couverture végétale permet de diminuer l'impact de la pluie sur le sol (effet de splash) en interceptant les gouttes de pluie.

➤ la réduction du ruissellement et des pertes en sol : la couverture végétale, morte ou vivante, retient l'eau des pluies sur le sol et augmente son infiltration. Outre le rôle de barrage physique, nous avons vu que les plantes de couverture augmentent la porosité du sol, ce qui favorise encore l'infiltration de l'eau. Cette augmentation de l'infiltration se traduit par une réduction du ruissellement. Et enfin, la réduction du ruissellement enlève à l'eau sa fonction de transport des particules minérales, d'où une diminution des pertes de sol. (DOUNIAS I., 2001)

Les impacts sur le stockage de l'eau dans le sol.

Les SCV influent sur la quantité d'eau utile stockée dans le sol, ce qui est dû essentiellement à l'action des plantes de couverture. Celles-ci agissent d'une part sur le mécanisme de constitution des réserves en eau dans le sol, et d'autre part sur les facteurs de pertes en eau.

D'une façon générale, les SCV permettent une meilleure valorisation des eaux de pluie par :

- l'amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol et la diminution du ruissellement (vu précédemment).
- l'augmentation de la capacité de stockage en eau du sol car l'enrichissement du sol en matière organique améliore la capacité de rétention en eau du sol.
- la limitation des pertes en eau occasionnée par les adventices.

□ ***Les effets des SCV sur les caractéristiques physico-chimiques et l'activité biologique du sol.***

Les impacts sur les caractéristiques physico-chimiques du sol.

La conservation, voire l'amélioration du taux de matière organique dans le sol.

La matière organique joue un rôle fondamental sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol (stabilité structurale, stockage de l'eau et des éléments minéraux...)

Or, dans les conditions climatiques des pays tropicaux, elle subit une minéralisation rapide, ce qui pose le problème de sa conservation dans les sols cultivés si elle n'est pas renouvelée fréquemment.

Les SCV influent sur le taux de matière organique car les plantes produisent une biomasse importante en quantité, sur et dans le sol, biomasse qui n'est pas exportée. (DOUNIAS I. 2001, ARREOLA T. 1996).

L'évolution de la disponibilité des éléments minéraux dans le sol

Il faut raisonner en terme de bilan, en considérant les effets des SCV sur les apports d'éléments minéraux d'une part et les pertes d'autre part.

En ce qui concerne les apports en éléments minéraux, elles peuvent se faire de différentes manières :

➤ par la remontée des éléments minéraux situés en profondeur, car les plantes de couverture joueraient le rôle de pompes biologiques en favorisant la remontée d'éléments minéraux situés à une trop grande profondeur du sol pour être accessibles aux plantes cultivées. Ce rôle n'est possible que pour les plantes de couverture qui disposent d'un enracinement suffisamment développé pour aller absorber ces éléments en profondeur. Par la suite, la minéralisation de la biomasse végétale produite par la plante de couverture libère en surface les éléments minéraux ainsi captés et recyclés (Séguy et al, 2001).

➤ par la fixation symbiotique (pour l'azote), action des légumineuses qui fixent l'azote atmosphérique. La minéralisation de leur biomasse libère ensuite de l'azote dans le sol.

➤ par la rétention en ions dans le sol. La matière organique permet une augmentation de la C.E.C du sol, donc un meilleur stockage des éléments minéraux dans le sol sous une forme assimilable par les plantes cultivées.

Les SCV peuvent favoriser ou limiter les pertes en éléments minéraux.

Ainsi, par la diminution de ruissellement et par conséquent l'érosion, les SCV limitent les pertes d'éléments minéraux. Cependant, en favorisant l'infiltration, les SCV peuvent augmenter le risque de perte d'éléments minéraux par lessivage.

En outre, l'activation de la vie biologique des sols par la couverture végétale augmente la consommation en azote des micro-organismes, ce qui peut provoquer dans certains cas (rapport C.N⁻¹ élevé) des carences en azote temporaires (faim d'azote).

Les impacts sur l'activité biologique du sol.

Les plantes de couverture, en créant des conditions de température et d'humidité favorable aux micro-organismes, et en fournissant plus de matière organique, favorisent leur prolifération et leur activité.

La biologie du sol est caractérisée par l'activité des organismes (faunes et flores) qui composent le système sol-plante. Ces organismes contribuent à la formation des caractéristiques physiques du sol (creusement, galeries), et aux transformations chimiques : ils décomposent la matière organique fraîche provoquant la libération d'éléments minéraux directement assimilables par les plantes, ou à l'inverse participent à sa réorganisation sous

forme d'humus. L'humus est à la fois source d'approvisionnement en éléments minéraux pour les plantes, et également un élément clé du comportement du sol en jouant sur ses caractéristiques physiques (stabilité structurale...) et chimiques (capacité d'échange cationiques).

Donc, les effets de l'activation biologique du sol en semis direct sur couverture végétale peuvent se résumer à l'amélioration de la structure et la fourniture en nutrition minérale de la plante par la transformation de la matière organique.

1.3.4.3. Les avantages du semis direct sur couverture végétale.

A partir des analyses de ces processus biologiques, nous pouvons tirer les avantages suivants.

□ *La limitation de l'érosion.*

La couche de matière végétale, qu'elle soit morte ou vivante, sur un sol non remanié a pour rôles :

- de protéger la surface du sol contre l'impact de l'énergie cinétique des gouttes de pluies par l'interception de ces gouttes.
- d'opposer une résistance mécanique efficace au ruissellement, donc au transport solide.
- d'améliorer la structure du sol et la macroporosité par le système racinaire et l'activité biologique. Ce qui engendre une capacité d'infiltration meilleure du sol.

Donc, la technique de semis direct peut jouer un rôle important dans la limitation de l'érosion sur les sols en pente des Hautes Terres.

□ *Les autres avantages.*

Le semis direct présente également les avantages suivants :

La diminution la pénibilité des tâches.

En semis direct, le labour, travail le plus pénible surtout si celui-ci est effectué avec de l'angady, est supprimé. La préparation avant semis est limitée à une simple pulvérisation d'herbicide. Signalons que le traitement d'un hectare de terrain ne demande qu'une journée en cas de traitement manuel.

En outre, les travaux de sarclage sont fortement diminués car si la couverture du sol est suffisante, la plupart des adventices ne peuvent pas pousser, sous l'effet de l'ombrage et des processus d'allélopathie.

La production durable.

A l'image de la forêt, ce type de système peut favoriser un recyclage d'éléments minéraux et leur concentration en surface du sol. De plus, il permet de contrôler l'érosion qui est le premier responsable de la diminution de la fertilité du sol. Ce système permet également de fournir les éléments minéraux utilisables par les cultures par minéralisation des débris végétaux laissés sur le sol et d'augmenter la vie biologique dans un sol non remanié. Il résulte de ces différents mécanismes que les systèmes en SCV permettent une bonne gestion de la fertilité du sol qui est une des conditions premières de la durabilité des systèmes de culture. De ce fait, le paysan peut cultiver très longtemps sur les mêmes parcelles, sans être obligé de changer de parcelles quand les sarclages deviennent trop pénibles ou quand le sol n'est plus assez fertile. Cependant, l'effet bénéfique du semis direct sur sol n'est perceptible qu'à partir de la troisième de culture d'après les observations sur les différents sites de TAFa.

L'amélioration du niveau de vie des agriculteurs.

La suppression des travaux les plus pénibles (labour et sarclages) et nécessitant beaucoup de temps ou parfois d'investissement donne la possibilité à l'agriculteur d'augmenter la surface cultivable ou se consacrer à d'autres activités rémunératrices. Donc, l'adoption des SCV peut améliorer le niveau de vie de nos agriculteurs dont la plupart souffrent de la malnutrition. .

1.3.4.4. Conclusion partielle.

Les phénomènes d'érosion hydrique sont importants sur les Hautes Terres à cause :

- de la pression démographique qui obligent les agriculteurs à étendre les cultures sur des «*tanety*» à cause de la saturation des bas fonds.
- des conditions pédoclimatiques favorables à la manifestation de ce phénomène.
- des certaines pratiques habituelles des agriculteurs qui aggravent l'érosion. (les feux de brousse, la déforestation, le surpâturage, le labour sur des terrains en fortes pentes, etc. ...)

Par l'érosion, le sol se dégrade progressivement. Cette dégradation se manifeste par la diminution de la fertilité du sol.

Il est donc important d'essayer de prévenir l'érosion en prenant des mesures de conservation du sol. Et si elle est déjà déclenchée, de procéder tout de suite à des mesures curatives.

Or, la plupart des agriculteurs qui sont pauvres n'arrivent pas à prendre ces mesures en raison de :

- l'indisponibilité des fumiers (amendements humifères), des coûts élevés des engrais chimiques et des amendements pour redresser le sol, si ce dernier est déjà dégradé.
- l'inefficacité de certains procédés biologiques et cultureux de lutte contre l'érosion sur des terrains en pentes plus élevées (>5%) qui démotivent les paysans à leur application.
- l'indisponibilité en temps et main d'œuvre, due principalement aux travaux de préparation du sol et aux autres opérations sur rizière (piétinage, hersage, repiquage, labour, pulvérisage, sarclage, etc...), empêche les agriculteurs d'effectuer des travaux anti-érosifs (banquette, etc. ...) sur des terrains en pentes plus fortes.
- le coût d'investissements des certains ouvrages.(terrassement)

Par conséquent, la fertilité du sol n'est ni préservée ni restaurée, et il n'est pas rare que les terrains ne donnent plus que des récoltes médiocres après quelques années de culture. Cette situation oblige souvent les paysans à abandonner leur parcelle et à prendre une autre presque aussi mauvaise.

Le système de semis direct sur couverture végétale permanente semble intéressant pour résoudre ce problème car il :

- ne demande pas beaucoup de temps ni de travail.
- restaure voire même améliore la fertilité du sol.
- ne nécessiterait pas beaucoup d'investissement.
- limite l'érosion hydrique.

Le reste de ce rapport consiste essentiellement à tester ce dernier avantage du semis direct cité précédemment qui est l'efficacité du semis direct à réduire l'érosion sur des terrains défrichés et en pentes.

PARTIE II :
MATERIELS ET
METHODES

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

Avant d'entrer dans les mesures effectuées, nous pensons que l'exposition du cadre de l'étude, des objectifs, , la description de la méthodologie de travail ainsi que la présentation des sites d'étude et les traitements étudiés sont nécessaires pour mieux comprendre la logique du travail.

2.1. Cadre de l'étude.

Cette étude est développée dans le cadre de l'URP SCRID associant l'Université d'Antananarivo, le FOFIFA et le CIRAD. Le travail a été effectué sur un dispositif expérimental commun pour ce projet. C'est un dispositif de longue durée, avec 3 traitements, laissant la possibilité d'introduire 2 autres lors des campagnes futures. Il permet de faire des quantifications et également d'expliquer les mécanismes scientifiques qui ne sont pas encore très claires sur le système de couverture végétale permanente.

L'étude commence pour la campagne culturale 2004- 2005 en partant d'un terrain en jachère, qui est mis en culture (décembre 2004) selon diverses modalités : en labour et en semis direct sur couverture végétale permanente.

2.2. Objectifs.

L'étude a pour objectifs principaux :

- d'avoir des informations chiffrées concernant les ruissellements et pertes en sol occasionnées par les pratiques traditionnelles en labour et de les comparer avec celles des techniques en semis direct sur couverture végétale permanente (SCV).
- de montrer l'intérêt des pratiques en S.C.V pour conserver la fertilité du sol.

2.3. Méthodologie de travail.

Pour atteindre ces objectifs nous avons effectué :

- des études bibliographiques qui nous ont permis de recueillir les informations nécessaires touchant l'étude et de servir également à des explications scientifiques sur les résultats obtenus sur terrain.
- une expérimentation a été conduite à Andranomaletra dans deux sites. Pour avoir les informations chiffrées citées précédemment, nous avons effectué différentes mesures dont les principales sont : la pluviométrie, le ruissellement et l'érosion.

➤ des traitements des données : les données brutes obtenues sur terrains ont été traitées avec le tableur Excel (Microsoft), et le traitement statistique a été effectué avec le logiciel SAS version 6.12 pour Windows (SAS Institute, Cary, NC, USA), avec la procédure GLM (General Linear Model) pour l'analyse de variance.

2.4. Sites et traitements

Comme nous avons dit précédemment, le travail a été effectué sur deux sites différents : sur le site de l'URP SCRID et sur des parcelles paysannes situées à proximité du site de TAFa. Ces deux sites se trouvent à Andranomanelatra.

2.4.1. Site de l'URP SCRID : dispositif principal.

Un dispositif spécifique a été mis en place à côté du dispositif principal de L'URP SCRID et bénéficiant donc de ce fait d'une couverture météorologique complète sur le site même.

Il comprend les emplacements de 20 parcelles identiques notés de : R1 à R20, situées parallèlement les unes à côté des autres dans les mêmes conditions de milieu et de pente (9,5 à 13%). Ces parcelles ont des dimensions d'environ 48 m² : 4m de largeur par 12m de longueur (cf. annexe. III).

3 systèmes ont été envisagés à étudier sur ce dispositif, reposant sur une même rotation maïs+haricot / riz pluvial, qui est le système avec riz pluvial le plus répandu du fait que l'association maïs+haricot est la plus couramment pratiquée dans la région de Vakinankaratra.

Pour se rapprocher des conditions paysannes et ne pas multiplier les traitements et répétitions, nous n'avons retenu qu'un seul niveau de fertilisation, correspondant à un apport de fumier de 7 tonnes / ha et d'épandage d'urée à 50 kg.ha⁻¹ pour toutes les parcelles cultivées.

Ces 3 systèmes sont les suivants : ↓

- S1 : rotation maïs+haricot / riz, conduite en labour dès la première année.
- S2 : rotation maïs+haricot/riz, en labour la première année (idem S1) avec passage au semis direct en seconde année.
- S3 : rotation maïs+haricot / riz, conduite en semis direct dès la première année après herbicidage de la couverture herbacée.

↓ N.B : + = association ; / = rotation

Notons que pour la première année, les systèmes S1 et S2 sont identiques car ils sont tous deux conduites en labour et traités de manière identique. Alors, dans la suite de notre étude, nous ne considérons que deux traitements qui ne diffèrent que par leur mode de gestion du sol. Ces deux traitements sont :

- Maïs + haricot conduit en labour.
- Maïs + haricot conduit en semis direct.

Les mesures des ruissellements et érosions ont été effectuées seulement dans 9 parcelles avec des lots d'érosion, et sur 4 parcelles avec des micro-lots, ceci compte tenu de l'importance des coûts d'installation et des suivis.

Pour ces 9 lots installés sur ce dispositif.

- 6 lots ont été placés sur des parcelles en labour (R4, R5, R10, R11, R18, R20) (cf. annexe. III)

- 3 lots sur des parcelles conduit en SCV (R2, R14, R17) (cf. annexe. III)

4 micro-lots ont été également installés sur ce même dispositif. Ces micro-lots ont été disposés à côté des lots, dans l'autre moitié de la parcelle.

- 2 sur des parcelles en SCV (R2 et R17)
- 2 sur des parcelles en labour (R4 et R18).

L'objectif de l'installation de ces micro-lots est d'apprécier, par la comparaison entre les deux échelles de mesure, l'intérêt potentiel ou non des mesures à l'aide de micro-lots dans les conditions de mesure.

2.4.2. Site de Tafa.

Pour avoir des informations complémentaires, nous avons également réalisé des suivis sur 4 lots d'érosion dans 3 parcelles situées chez des agriculteurs à proximité du site de Tafa. Par rapport aux parcelles situées dans le site de L'URP, ces parcelles sont dans des conditions de pentes plus importantes.

- 2 lots d'érosion ont été installés dans une parcelle en labour, en troisième année de culture après défriche, semée en maïs+haricot, après la même chose l'an dernier, dans une pente forte de 27 à 30 %. Nous avons noté respectivement ces deux lots « P1 » et « P2 »

- 1 lot dans une parcelle en labour après défriche semée en riz pluvial, avec une pente d'environ 24 %, noté « P3 ».

- 1 lot, « P4 », dans une parcelle semée en maïs+haricot en semis direct sur défriche par nettoyage manuel puis herbicidage, avec une pente d'environ 22,5%.

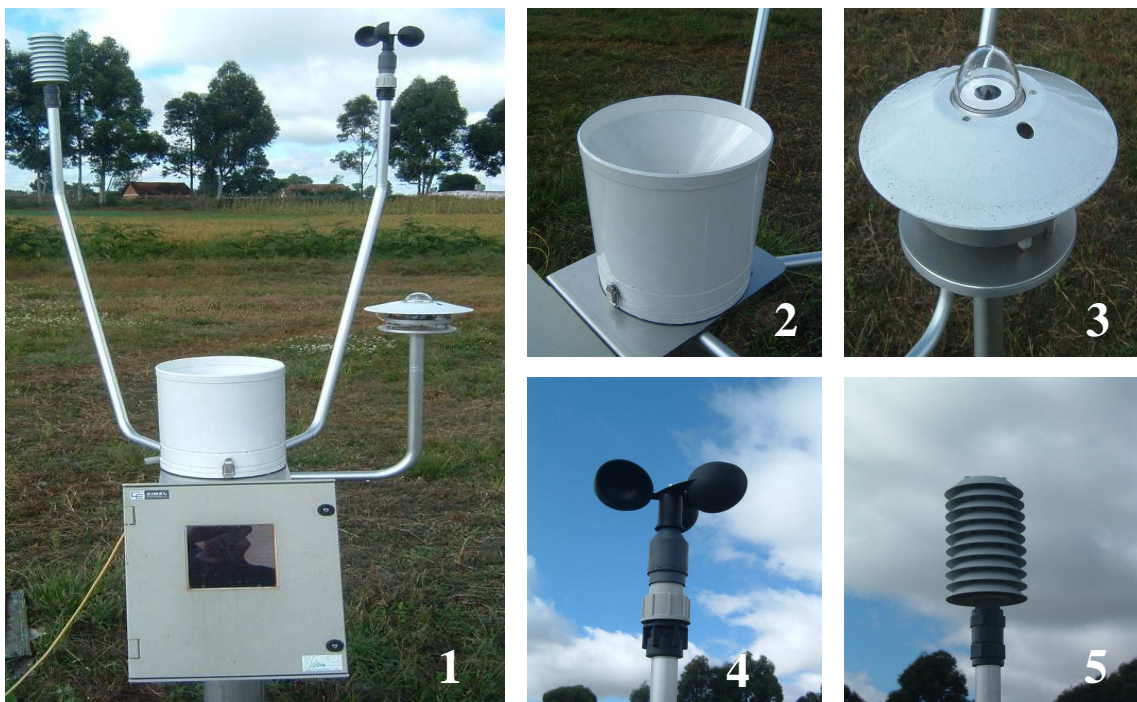
2.5. Mesures.

2.5.1. La mesure de la pluviométrie.

Comme nous avons effectué les mesures sous pluie naturelle, la mesure de la pluviométrie est nécessaire afin de pouvoir évaluer les pourcentages de ruissellement par rapport à la pluie. Pour le dispositif expérimental, la quantité totale journalière en millimètre et l'intensité en mm/h ont été données par la station météorologique automatique Cimel sur le site même de l'URP SCRID.

Pour les parcelles des paysans, nous avons utilisé les valeurs issues de la station pluviométrique du site de TAFa.

Cliché 1 : La station météorologique CIMEL de l'URP SCRID, 1 : Station complet, les appareils pour mesurer : -2. La pluviométrie, -3. Le rayonnement global, - 4. La vitesse du vent, - 5. L'humidité relative.



Source : auteur et al.

2.5.2. Mesures du ruissellement et érosion.

2.5.2.1. Description des dispositifs de mesures

Pour évaluer l'intensité des phénomènes de ruissellement et d'érosion, nous avons utilisé des lots d'érosion et des micro-lots pour effectuer les mesures. Notons que les mesures ont été faites sous pluie naturelle.

□ **Les micro-lots.**

Les cadres ou micro-lots sont enfoncés dans le sol. Ils ont une surface de captage de 1 m². Le système récepteur du ruissellement est constitué en aval par :

- des fentes d'évacuation des eaux de ruissellement. Il faut veiller à l'horizontalité le long de ces fentes à l'aide d'un niveau, pour éviter les écoulements préférentiels.
- un canal collecteur : les fentes débouchent dans un canal collecteur d'une certaine pente.
- un exutoire : le canal se déverse à son tour vers une sortie constituée par un exutoire en tuyau métallique.
- un tuyau : l'exutoire est prolongé par un autre tuyau en PVC qui conduit les eaux ruisselées et les sédiments transportés vers un bidon.

Cliché 2 : Micro-lot pour mesurer les ruissellements – érosions



Source : auteur et al.

□ **Les lots d'érosion**

Les lots recouvrent environ la moitié des parcelles avec 1,8 m de large par 12 m de long. Ils sont ceinturés par des tôles légèrement enfoncées dans le sol pour éviter les entrées d'eau de l'extérieur et les sorties des eaux de ruissellements de l'intérieur. Nous avons mis un exutoire à la base pour collecter les eaux de ruissellement. Le système récepteur du ruissellement est constitué par un réceptacle en aval débouchant dans une gouttière. Chaque

gouttière surmonte le premier fût dont le couvercle supérieur a été enlevé. Donc, les premiers fûts reçoivent toute l'eau de ruissellement et les sédiments qu'elle entraîne, mais également les eaux de pluie qu'il faut retirer lors du calcul. Comme dans le système trop plein, l'extrémité supérieure de ce premier fût est munie des 5 tuyaux appelés partiteurs qui ont pour but de réduire le volume d'eau collecté. Un seul débouche dans un second fût dans le cas des parcelles en semis direct. Notons que nous avons mis trois fûts sur les parcelles en labour, donc le second fût muni également de partiteurs. Ainsi, si la hauteur d'eau dans les fûts munis de partiteur déborde, le 1/5 des volumes d'eau totaux est récupéré dans le fût directement voisin situé en bas. Cette propriété est à considérer dans le calcul du volume réellement ruisselé. C'est pour cette raison qu'il faut toujours vérifier après chaque prélèvement, l'horizontalité du fut pour éviter les écoulements préférentiels pouvant fausser les études.

Cliché 3 : Système récepteur sur les lots d'érosion, 1 : Trois fûts (labour) pour recevoir l'eau de ruissellement, 2 : réceptacle débouchant dans une gouttière.



Source : auteur et al.

2.5.2.2. Les mesures de ruissellement et prises d'échantillons pour l'érosion.

Les mesures et le prélèvement des échantillons, qu'ils soient sur les micro-lots ou sur les lots d'érosion, se font les matins, s'il a plu depuis la veille.

□ Ruissellements sur les micro-lots.

Les mesures ont pour but de déterminer la quantité d'eau reçue dans le bidon à l'aide d'un doseur et des seaux. Les charges sont prélevées en nettoyant le collecteur, les tuyaux

ainsi qu'en rinçant les bidons, par utilisation de 1,5 litre d'eau. Et on prélève ensuite un échantillon de 1,5 l après homogénéisation des eaux restantes du nettoyage et des eaux de ruissellements contenant les charges.

La détermination de la lame ruisselée s'obtient en fonction de la surface de captage et des volumes d'eau dans les fûts ou bidon. Ainsi, dans le cas des micro lots, sachant que les cadres font 1m², et que 1mm d'eau correspond à 1 litre/m² et que le volume ruisselé (Vr) est en ml.

On a alors :

$$Ruis = \frac{Vr}{1000}$$

Où :

- Ruis : Ruissellement (mm)
- Vr : Volume d'eau ruisselé (ml)

Cliché 4 : mesures des ruissellements sur micro-lots, 1 : mesure de la quantité d'eau recueillie avec doseur, 2 : nettoyage du canal récepteur en utilisant une pissette, 3 : nettoyage du tuyau avec 1,5 litres d'eau.



Source : auteur et al.

□ **Ruissellements sur les lots**

Les mesures des ruissellements sur ces dispositifs consistent à prendre la hauteur d'eau avant le nettoyage avec une règle graduée, dans les deux (semis direct) ou trois fûts (labour) à l'aide d'un mètre fixé sur un bâton afin de déterminer après calcul le volume ruisselé. Les

charges éventuellement déposées sont prélevées en nettoyant le réceptacle et les tuyaux, par utilisation d'eau de nettoyage de 1,5 litre.

On prélève ensuite un échantillon de 1,5 litres en trois prises à différentes hauteurs (haut, centre, bas) à l'aide d'une bouteille coupée de capacité de 0,5 litre après mélange et grattage du fond, pour bien mettre en suspension tous les sédiments, en utilisant un bâton.

Comme la surface intérieure du fut est connue (0,255 m²), le volume d'eau ruisselé sur les lots d'érosion s'obtient par la multiplication de cette surface par la hauteur d'eau. Cependant, il faut soustraire l'eau de pluie.

Cliché 5 : mesures des ruissellements sur lots d'érosion et prélèvement d'échantillon, 1 : mesure de la quantité d'eau ruisselée avec une règle graduée, 2 : Nettoyage du réceptacle en utilisant 1,5 litres d'eau et une brosse, 3 : Prélèvement de l'échantillon après homogénéisation, 4 : vérification de l'horizontalité du fut après nettoyage à l'aide d'un niveau.



Source : auteur et al.

2.5.2.3. Les traitements des échantillons : détermination des pertes en terres

Les échantillons de ruissellement issus des lots et des micro-lots sont traités de la même façon. Après chaque prélèvement, nous avons mis des étiquettes portant la date et l'identification de la parcelle sur les bouteilles afin de pouvoir les distinguer, car ce sont ces échantillons mêmes que nous avons utilisé pour déterminer les quantités des pertes en terres après les avoir filtrés sur des filtres à café. Après la filtration, les échantillons des sédiments identifiés sont séchés d'abord à l'air ou au soleil, puis à l'étuve à la température de 105 ° C pendant au moins 24 heures. Ils sont ensuite pesés. Le poids des sédiments est obtenu en faisant la soustraction entre le poids total de l'échantillon et le poids du filtre.

Cliché 6 : Filtrations des échantillons avec des filtres à café et bouteilles coupées puis renversées.



Source : auteur et al.

Pour les micro-lots, la quantité des pertes en sol (en g) est donnée par la formule

$$Q = \frac{Qp * (Vr + Vnet)}{Vpre} ; \text{ ou } Q = \frac{Qp * (Vr + 1500)}{1500}$$

Avec :

- Qp : le poids sec de sédiment prélevé en g,
- Vr : Volume ruisselé en ml,
- Vnet : Volume du nettoyage qui est en principe 1500 ml.,

- V_{pre} : le volume prélevé, 1500 ml.

Pour les lots, la quantité Q des pertes en sol (en g) est donnée par la formule

$$Q = \frac{Q_p * (V_{f1} + V_{net})}{V_{pre}} \quad \text{ou} \quad Q = \frac{Q_p * (V_{f1} + 1500)}{1500}$$

Avec :

- Q_p : le poids sec de sédiment prélevé,
- V_{f1} : le volume d'eau contenue dans le premier fût en ml,
- V_{net} : le volume d'eau de nettoyage qui est de 1500 ml dans notre étude,
- V_{pre} : le volume d'eau prélevé correspond également à 1500 ml.

2.5.2.4. Traitement des données

Le dispositif expérimental peut être considéré comme un « dispositif Bloc de Fisher » à 3 traitements (S1, S2 et S3 cités précédemment) avec 3 répétitions.

Toutefois, les 2 systèmes S1 et S2 étant identiques, nous avons effectué des analyses linéaires selon le modèle linéaire général, suivi d'un test de comparaison de moyennes, avec le logiciel SAS ; les facteurs travail du sol et pente ont tout d'abord été testés au seuil de 5 %.

Il s'agit donc ici de comparer la capacité des 2 systèmes à provoquer ruissellement et érosion. Les valeurs des ruissellements (en cumul sur la campagne) sont utilisées pour tester la différence des ruissellements. Tandis que, les pertes en sol (t.ha-1) sont utilisées pour le cas de l'érosion. Ces valeurs sont obtenues après toutes reconversions et traitement de tous les calculs sous Excel.

Pour les données des systèmes chez TAFE, la manque de répétition ne permet pas une analyse statistique.

2.5.3. Les mesures des pentes.

Il est important d'observer les pentes car elles peuvent influencer le ruissellement et par conséquent l'érosion. Dans cette étude les pentes moyennes des lots d'érosion ou des micro-lots ont été mesurées à l'aide de méthodes simple. Notons que la pente (%) s'obtient en faisant le rapport entre la dénivellation et la distance horizontale entre deux points, multiplié par 100.

2.5.3.1. Sur les lots d'érosion.

La mesure des pentes se faisait sur le terrain par l'utilisation d'un niveau très simple. Ce niveau est formé d'un tuyau en plastique transparent. Il est rempli d'eau en chassant

soigneusement les bulles d'air. Chaque extrémité du tuyau est montée sur des tubes métalliques servant de règles. Ainsi, par le principe des vases communicants, la différence de hauteur entre les deux niveaux d'eau, en amont et en aval, traduit la dénivellation du terrain. Ensuite la distance horizontale entre les deux règles est mesurée à l'aide d'un double décimètre, tout en maintenant tendu le mètre et en respectant l'horizontalité tout en se référant sur les 2 niveaux d'eau.

Six mesures ont été effectuées sur les lots dont 4 longitudinales (2 hauts et 2 bas) et 2 latérales (haut et bas). Nous avons retenu les valeurs moyennes des pentes pour chaque lot.

2.5.3 .2. Sur les micro lots

Le même principe a été adopté mais le tuyau est plus court que le premier. Les mesures sont plus minutieuses. Dans les micro lots, 4 mesures ont été effectuées dont trois longitudinale dans l'axe de l'exutoire et une latérale.

2.5.4. Les rendements des cultures.

Une technique qui vise seulement à protéger contre l'érosion n'arrive pas à résoudre les problèmes des agriculteurs. Ces derniers cherchent plutôt à produire plus, pour survivre. Donc, avant de penser à la diffusion de cette technique, nous pensons qu'une évaluation des rendements de cultures est nécessaire.

2.5.4.1. Rendements des haricots.

Les valeurs des rendements sont relatives à 3 placettes de rendement de 1 m² pour chaque parcelle, suivant la diagonale. Les poids considérés sont ainsi les poids moyens des 3 échantillons après séchage à l'étuve des grains. Les poids moyens en g obtenus sur 1m² sont ensuite extrapolés pour avoir un rendement en t.ha⁻¹.

2.5.4.2. Rendements de maïs.

Les rendements en épis frais sont des rendements réels obtenus par le pesage de tous les épis récoltés dans les lots d'érosion. Pour déterminer les rendements en grains secs, des échantillons de 10 épis ont été pris, puis séchés à l'étuve pour enlever l'eau, car la capacité de l'étuve disponible ne permet de sécher tous les épis prélevés sur les lots. Les échantillons des épis secs sont ensuite égrenés et pesés afin de déterminer les rendements en grains des lots d'érosion. Les rendements en t.ha⁻¹ se déduisent également par extrapolation, car la surface de prélèvement est connue.

Les valeurs des rendements obtenus sur le haricot et le maïs ont été traités également statistiquement par le logiciel SAS. Le but est de déceler les différences de production entre les systèmes (labour et semis direct).

PARTIE III:
RESULTATS
ET DISCUSSIONS

Partie III : Résultats et discussions.

Cette partie synthétise tous les résultats des différentes mesures. Elle va surtout concerner la pluviométrie, les érosions et ruissellements ainsi que les rendements en grains des cultures.

3.1. La pluviométrie.

Les mesures des pluies ont été effectuées sur les deux sites pendant la période où nous avons fait les mesures des ruissellements et érosions. Notons que les mesures des ruissellements et érosions sur le site URP SCRID n'ont commencé qu'à partir du mois de décembre, alors qu'elles ont commencé au mois de Novembre pour le site de TAFa.

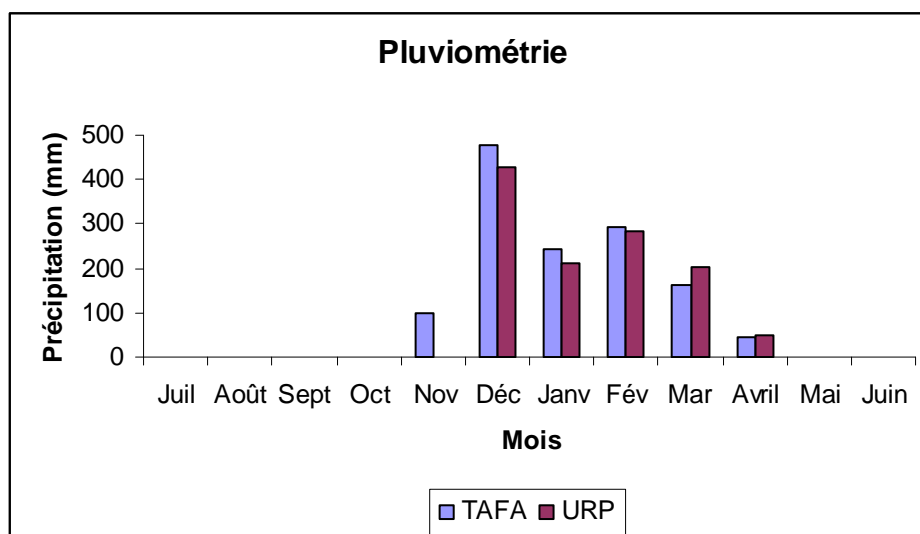
Ainsi, les résultats mensuels des précipitations sur les deux sites d'interventions peuvent se résumer dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Synthèses des résultats de la pluviométrie mensuelle des deux sites.

Sites	Mois	Nov	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Cumul
TAFa	Pluie mensuelle (mm)	98,8	476,0	245,2	291,1	163,8	44,0	1 318,9
	Pluie (%)	7,5	36,1	18,6	22,1	12,4	3,3	
URP	Pluie mensuelle (mm)	-	430	213	285	201	47,5	1 176,50
	Pluie (%)	-	36,5	18,1	24,2	17,1	4,0	

D'après ce tableau, nous pouvons obtenir les graphes suivants :

Figures 2 : Quantités mensuelles des pluies pendant les périodes de mesures des ruissellements et érosions: URP et TAFa



Source : station météorologique : URP et TAFa

Pendant la période d'intervention, en observant ces deux courbes qui ont presque les mêmes tendances, deux pics ont été constatés. Le premier correspond à la forte précipitation pendant le mois de Décembre avec respectivement 36.1 % et 36,5% de la pluie considérée pour le site du *URP* et le site *TAFA*. Le second pic est observé au mois de Février avec 22.1% pour le *URP* et 24.2% pour le *TAFA*. Il se peut que l'abondance des pluies durant ces périodes influence les phénomènes d'érosion et de ruissellement.

3.2. Ruissellements et érosions.

Il s'agit dans ce cas de comparer la capacité du mode de gestion du sol à diminuer les ruissellements et érosions.

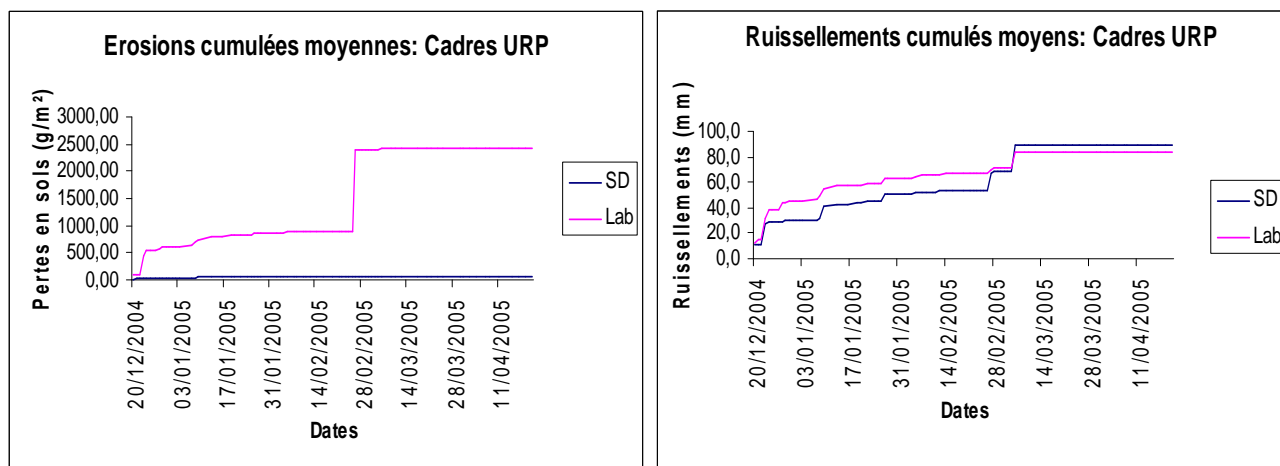
3.2.1. Sur le site de *URP*.

3.2.1.1. Cadres.

Les mesures ont été fait sur une pluviométrie totale de 941 mm.

Avant de présenter les résultats, les courbes des cumuls des ruissellements et des pertes en terres nous permettent d'avoir une idée sur les évolutions des ces phénomènes en fonctions du mode de gestion du sol.

Figures 3: Evolution des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol : Micro lots.



En observant ces courbes, nous pouvons tirer que : le mode de gestion du sol n'a pas d'influence majeure sur les ruissellements. Par contre, en ce qui concerne l'érosion, on voit que les pertes en terres sur les parcelles conduites en labours sont importantes par rapport à celles conduites en semis direct. Ce qui nous amène à dire que le facteur décisif pour l'érosion n'est pas seulement le ruissellement mais plutôt le mode de gestion du sol.

Ainsi, le tableau suivant synthétise les résultats des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol.

Tableau 2: Tableau des résultats des érosions et ruissellement sur les cadres.*[↓]

Gestion du Sol	Parcelles	Pente (%)	Ruis* (mm)	Ruis* moyens (mm)	Charges érodées (t .ha ⁻¹)	Charges érodées moyennes (t.ha ⁻¹).
SD*	R2	11,8	46,2	89	0,17	0,65
	R17	12,3	131,8		1,14	
Lab*	R4	10,7	80,5	84,2	38,15	24,24
	R18	7,8	87,8		10,34	

D'après ce résultat, les ruissellements provoqués par les semis direct et labour sont presque identiques (89 mm, 84,2mm). Remarquons quand même que le micro lot installé sur la parcelle R17 a donné un ruissellement plus important que les autres. Ce ruissellement peut être dû à la pente de ce dispositif (12,3. %).

En ce qui concerne l'érosion, les parcelles conduites en labour ont provoqué une érosion plus importante avec une perte en terre de 24,24 t.ha⁻¹, par rapport a celles conduites en semis direct qui n'ont pu éroder que 0,65 t.ha⁻¹ de terre seulement. Ceci peut s'expliquer par la capacité du semis direct à protéger le sol par la présence de la couverture végétale qui permet une protection mécanique du sol, ainsi que par sa faculté à améliorer et à stabiliser sa structure.

Malgré les informations précédentes, les analyses statistiques montrent qu'il n'y pas de différences significatives au seuil de 5% entre les deux modes de gestion du sol pour provoquer le ruissellement (Pr>F : 0, 9208, cf annexe I). Il en est de même pour l'érosion. (Pr>F : 0,2322, cf. annexe .I) ; ceci est dû au fait que nous n'avons que 2 répétitions pour chaque mode de gestion du sol.

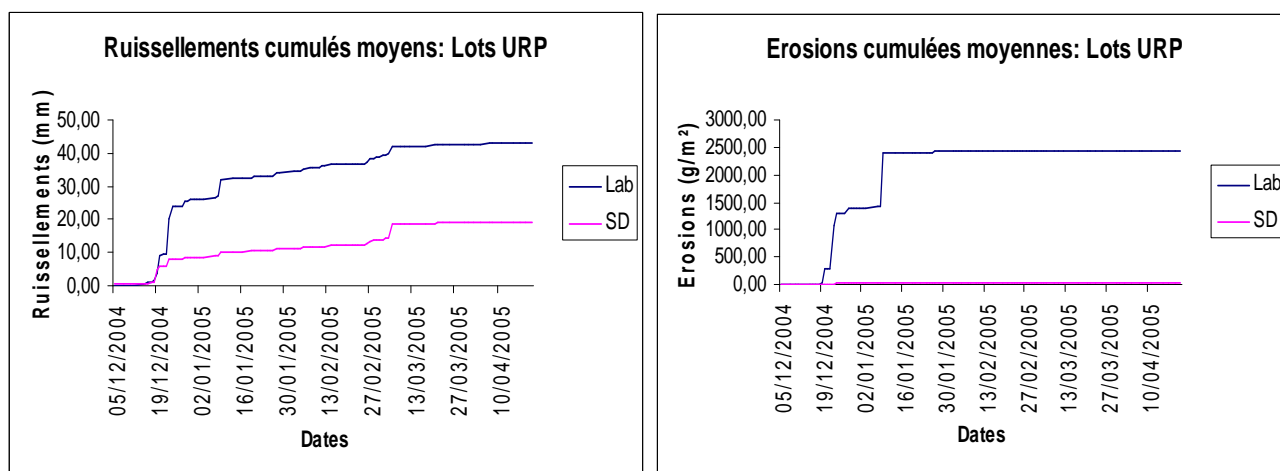
3.2.1.2. Lots d'érosion.

Les mesures ont été effectuées sur une précipitation totale de 1177 mm. Les lots d'érosions sont installés environ 20 jours avant les cadres.

Les évolutions des ruissellements et des érosions sont présentées dans les figures ci-jointes.

[↓] *Ruis : Ruissellement, *Lab : Labour, *SD : Semis direct

Figures 4: Evolution des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol : lots d'érosion URP.



D'après ces courbes nous pouvons tirer que :

En ce qui concerne le ruissellement, les différences sont plus importantes que celles observées sur les cadres ou micro lots : le semis direct donne moins de ruissellement que le labour. L'accroissement du ruissellement pour les deux modes de gestion du sol au mois de décembre et vers la fin du mois de février peut s'expliquer par :

- l'abondance des pluies durant cette période. Notons que 36,1% des pluies totales de la période considérée sont tombées durant le mois de Décembre.
- la succession des pluies pendant environ une semaine entre la fin du mois de février et le début du mois de mars. Ce phénomène est appelé par les malgaches « ilay fito » car il dure souvent une semaine ou 7 jours.

Pour l'érosion, la différence est très nette, le labour a donné des pertes importantes surtout pendant le mois de Décembre. Ceci peut s'expliquer également par l'abondance des pluies de forte intensité, alors qu'à ce moment, le sol n'était pas encore couvert par la culture. Les pluies successives citées précédemment n'arrivent pas à éroder la terre car ce sont généralement des pluies de faible intensité. En outre le sol était déjà assez couvert par la culture.

En terme de quantification des ruissellements et érosions, le tableau suivant synthétise les résultats obtenus sur les 9 lots d'érosion.

Tableau 3: Tableau des résultats des érosions et ruissellement sur les lots d'érosion URP. *↓

↓ *Ruis : Ruissellement, *Lab : Labour, *SD : Semis direct

Tableau 3: Tableau des résultats des érosions et ruissellement sur les lots d'érosion URP. *↓

Gestion du sol	Parcelles	Pente longitudinale (%)	Ruis* (mm)	Ruis* moyens (mm)	Ruis* (%)	Ruis* moyens (%)	Terres érodées (t.ha ⁻¹)	Moyennes en terres érodées (t.ha ⁻¹)
SD*	R2	9,8	4,44	19,23	0,4	1,67	0,11	0,42
	R14	12,9	22,71		0,19		1,02	
	R17	13,5	30,85		2,6		0,14	
Lab*	R4	9,5	33,6	43,18	3,2	3,69	21,11	24,31
	R5	9,8	41,7		3,5		34,74	
	R10	11,7	56,68		4,8		36,18	
	R11	11,4	55,04		4,7		26,03	
	R18	11,2	37,73		3,2		17,07	
	R20	11,1	29,86		2,5		10,74	

D'après ce tableau, le ruissellement provoqué par les parcelles en semis direct (19,23 mm) est inférieur à celui provoqué par les parcelles en labour (43,18 mm). Il en est de même pour l'érosion. L'érosion observée sur les semis directs est faible. Ce mode de gestion de sol n'a provoqué qu'une perte moyenne de 0,42 t.ha⁻¹ en terre seulement. Par contre le mode de gestion du sol utilisant le labour engendre une perte en terre plus importante. Dans notre étude, la valeur de la perte moyenne est de 24, 31 t.ha⁻¹.

L'analyse statistique montre que sur les lots d'érosion (ou lots pente en annexe. I), les modes de gestion du sol, c'est-à-dire semis direct et labour, sont hautement significatifs pour le ruissellement (Pr> F : 0,0049 cf ; annexes. I), et également pour l'érosion (Pr>F : 0,0052 cf annexe. I) alors que l'effet de la pente n'est pas significatif, ni pour l'érosion (Pr> F : 0.9777 cf. annexe. I) ni pour le ruissellement (Pr>F : 0, 06565, cf annexe I) dans cette expérimentation. Toutefois, on peut voir que si la pente ne semble avoir aucun effet sur l'érosion, elle semble avoir un effet plus grand sur le ruissellement.

En comparant les résultats donnés par les deux échelles de mesures (lots d'érosion et micro lots), les résultats des pertes en terre sont presque semblables, mais des différences notables ont été constatées pour les ruissellements. Les cadres ont donné de valeurs de ruissellement plus élevé que les lots d'érosion. Il se peut que cela soit dû à un biais méthodologique : de l'eau aurait pu entrer directement dans le bidon de récupération en suivant le tuyau pendant les fortes pluies.

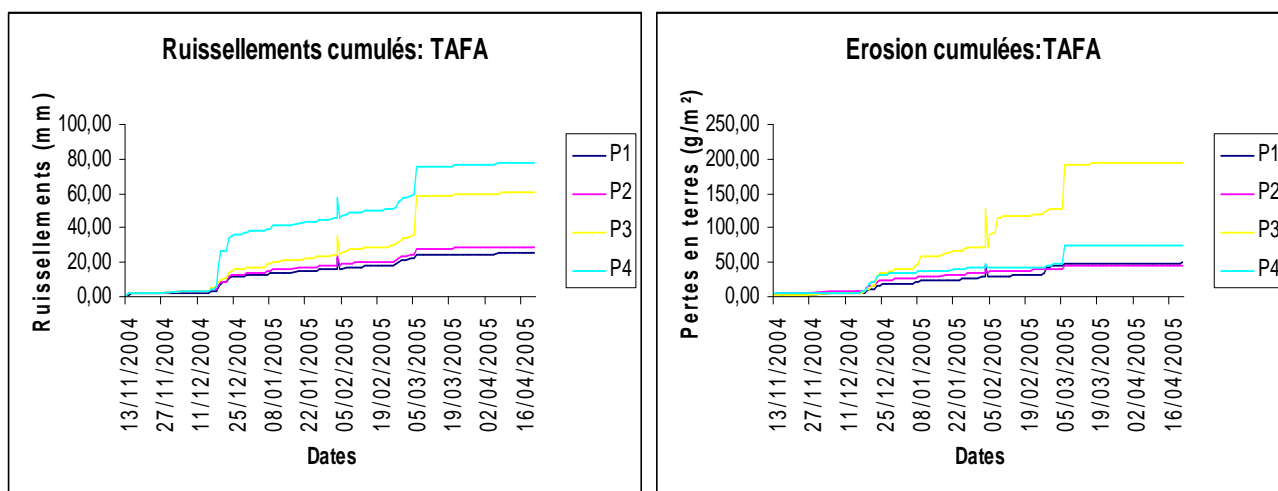
↓ *Ruis : Ruissellement, *Lab : Labour, *SD : Semis direct

3.2.2. Sur le site Tafa.

Les mesures ont été effectuées sur une précipitation totale de 1318,9 mm.

Les évolutions des ruissellements et des érosions sont montrées dans les figures suivantes.

Figures 5: Evolution des ruissellements et érosions en fonction du mode de gestion du sol : lots d'érosion Tafa.



En observant ces deux figures, on trouve que les ruissellements et les érosions engendrées par les 4 lots suivent à peu près les mêmes allures. Par contre, en ce qui concerne l'érosion, la parcelle P3 engendre beaucoup plus de pertes en terre que les trois autres. Ce qui peut s'expliquer par le manque de couverture du sol provoqué par le sarclage sur les interlignes. Rappelons également que cette parcelle est cultivée en riz pluvial et conduite en labour, alors que la parcelle où sont installés les lots P1 et P2 est cultivée en maïs associé avec du haricot, donc plus couverte, et le lot d'érosion P4 est conduit en semis direct sur couverture végétale permanente.

En termes de quantification, le tableau suivant résume les résultats obtenus.

Tableau 4: Résultats des érosions et ruissellement sur les lots d'érosion Tafa. ↓

Parcelles	Pente longitudinale (%)	Ruis* (mm)	Ruis* (%)	Pertes en Charges (t.ha ⁻¹)
P1	27,2	25,18	1,9	0,49
P2	30,2	28,74	2,2	0,44
P3	23,9	60,71	4,6	1,94
P4	22,5	77,78	5,9	0,74

↓ *Ruis : Ruissellement

D'après ce tableau, on peut constater que le ruissellement n'est pas fonction de la pente seule car les lots situés sur la parcelle ayant une forte pente ruissellent moins que les autres se trouvant sur des pentes plus faibles. L'explication à ceci peut être le bon développement de la partie aérienne et souterraine des plantes qui améliorent l'infiltration de l'eau par amélioration de la structure du sol.

De plus en ce qui concerne l'érosion, malgré l'intensité des pentes (27,2 % à 30,2 %), les valeurs des pertes en terres sont faibles (0,49 t.ha⁻¹ à 1,94 t.ha⁻¹) par rapport à celles observées sur les lots d'érosions conduits en labour sur l'autre site (moyenne : 24,31 t.ha⁻¹).

Ces résultats peuvent s'expliquer par la précocité du semis (semis en début novembre) ; ainsi, pendant la période de pluie érosive (de décembre), le sol était déjà couvert par la culture qui assurait une bonne protection du sol contre l'action de la pluie.

3.2.3. Conclusion partielle.

Les résultats obtenus ont pu donner les informations suivantes.

La pratique du semis direct sur couverture végétale limite la perte en terre : la plupart des pertes en terre observées sur les lots d'érosion ou cadres conduits en semis direct n'arrivent pas à dépasser 1 t.ha⁻¹. Tandis que pour les parcelles conduites en labour, les pertes en terre sont de l'ordre de 24 t.ha⁻¹ sur le site du URP SCRID.

Cette limitation de pertes en terre est due principalement à la couverture du sol qui assure sa protection permanente contre l'impact de l'énergie des gouttes de pluies par son interception, crée des obstacles aux transports solides et améliore la structure du sol par les systèmes racinaires et les activités biologiques ainsi que la fourniture en matière organique. Pour les terrains labourés, le travail du sol enfouit la couverture végétale et diminue la cohésion du sol, ce qui rend le sol plus facilement détachable, surtout si l'affinement est trop poussé.

La valeur de la pente n'a pas d'influence majeure sur l'érosion, mais elle semble avoir un effet plus important sur le ruissellement. C'est le cas par exemple du micro lot R17, présentant une pente plus forte par rapport aux autres lots, il implique un fort ruissellement mais une faible érosion. Ce résultat peut s'expliquer encore par le rôle de la couverture végétale. Donc malgré le fort ruissellement provoqué par la pente, la perte en terre est minime sur les parcelles conduites en semis direct.

L'intensité de la pluie a un effet sur les pertes en terre : plus la pluie est forte, plus son énergie destructive est forte également, et elle peut arracher une quantité plus importante de

terre si la cohésion de celle-ci n'est pas bonne (après un labour par exemple). Les pluies intenses ont été observées fréquemment pendant le mois de décembre. Les pertes en terres ont été importantes durant cette période. Par contre, malgré l'abondance de pluies entre la fin du mois de février et début mars, les pertes en sol sont moins importantes car ce sont des pluies de faible intensité mais qui se succèdent. Et comme le sol n'a pas eu le temps de se ressuyer, il devient saturé en eau. Ce qui explique l'évolution plus importante du ruissellement durant cette période.

En somme, la technique du semis direct peut diminuer d'une façon notable l'érosion même si les terrains sont en pente, caractéristique du relief sur les Hautes Terres. Or la conséquence directe de l'érosion est la dégradation du sol (cf. §.1.2.4.1) qui se traduit par la diminution de la fertilité. Donc, en ce qui concerne la pratique du semis direct, par la limitation de l'érosion, cette technique permet de conserver la fertilité du sol.

3.3. Les rendements de la culture.

La réceptivité d'une nouvelle technique par les agriculteurs est principalement fonction de l'influence du rendement déjà obtenu par l'application de cette technique ailleurs.

Ainsi, les tableaux suivants présentent les rendements de maïs et de haricot par parcelle suivant le mode de gestion du sol.

Tableau 5: Tableau des rendements de haricot par parcelle et moyennes des rendements suivant le mode de gestion du sol. ↓

Gestion du sol	Parcelles	Rendements (Kg ha ⁻¹)	Rendements moyens (Kg ha ⁻¹)
SD*	R2	1002,7	1144,24
	R14	1299,7	
	R17	1130,3	
Lab*	R4	567,1	689,17
	R5	384,1	
	R10	821,3	
	R11	716,2	
	R18	967,6	
	R20	678,5	

↓ **Lab** : Labour, ***SD** : Semis direct

Tableau 6 : Tableau des rendements de maïs par parcelle et moyennes des rendements suivant le mode de gestion du sol. ↓

Gestion du sol	Parcelles	Rendements (Kg ha ⁻¹)	Rendements moyens (Kg ha ⁻¹)
SD*	R2	1270,3	1350,49
	R14	1256,7	
	R17	1524,4	
Lab*	R4	2112,2	1953,94
	R5	2050,0	
	R10	1582,5	
	R11	1642,2	
	R18	2277,4	
	R20	2059,1	

D'après les analyses de la variance des rendements : les effets des deux modes de gestion du sol sur les rendements de maïs et haricot sont hautement significatifs ($Pr > F : 0,0016$ pour le haricot et $Pr > F : 0,0028$ pour le maïs cf. annexe. II).

Concernant le haricot le rendement obtenu sur le semis direct est nettement supérieur à celui du labour. Ce bon résultat obtenu sur les parcelles en semis direct peut être expliqué par :

- la bonne rétention de l'eau due à l'action des couvertures du sol qui joue le rôle d'une éponge pour limiter la perte en eau par ruissellement.
- les activités des microorganismes pour créer des micropores ainsi que des macro pores favorables à l'infiltration de l'eau, permettant ensuite de la mettre à la disposition de la plante.

En effet, le haricot exige beaucoup d'eau pendant la formation des gousses. (I.Bezipaly, 1984) afin de donner une bonne production.

Par contre, pour le maïs, en cette première année de mise en culture sur une jachère de longue durée, les rendements obtenus sur les parcelles conduites en labour sont supérieurs à ceux obtenus sur semis direct. Cette supériorité en rendement peut être expliquée par l'ameublissement du sol au début de la saison, les systèmes racinaires plus développés avaient alors mieux profité de la fumure utilisée par rapport à ceux en semis direct. En effet, le labour profond avant le semis ou l'utilisation des plantes de couverture à enracinement profonde comme le brachiaria est nécessaire si le sol est compact pour ameublir le sol afin d'obtenir de bon rendement.

↓ *Lab : Labour, *SD : Semis direct

En somme le semis direct ne consiste pas seulement à protéger le sol mais il permettrait également d'obtenir un bon rendement car ce système :

- conserverait voir même améliorerait la fertilité du sol. Cette amélioration ne serait perceptible qu'à partir de la troisième année de culture d'après les constatations sur différents sites de TAFE.
- offrirait au sol un meilleur stockage de l'eau.

3.4. Limites de travail.

Malgré les résultats très prometteurs obtenus sur cette étude, des recherches complémentaires sont nécessaires pour compléter et valoriser les nombreuses données enregistrées tout au long de ce travail :

➤ Déterminations des pertes en éléments chimiques : les éléments fertilisants sont les responsables de la fertilité du sol. Or, dans cette étude, notre travail consiste seulement à déterminer les pertes en terres, alors que les pertes en éléments chimiques ne sont pas évaluées. Nous pensons que pour pouvoir déterminer les pertes en éléments fertilisants, des analyses chimiques sur les pertes en terres et sur les eaux de ruissellements sont nécessaires car les éléments fertilisants sont entraînés non seulement dans la phase solide du sol, mais aussi en solution, sous forme d'ions. Ces analyses n'ont pas encore été effectuées à cause de leur coût élevé et du temps limité pour les réaliser. Mais elles méritent d'être étudiées.

➤ Retard d'installation : les installations des dispositifs de mesures doivent être effectuées avant la période de début des pluies afin de pouvoir déterminer toutes les pertes annuelles.

➤ Problèmes des micro lots ou cadres : des problèmes de débordement sont fréquents sur les micro-lots pendant la période de forte pluie du mois de décembre. L'abondance d'eau peut être due à l'entrée d'eau directement dans le bidon sans avoir passé par les cadres. L'eau s'écoule à la partie inférieure du tuyau puis pénètre dans le bidon. Le scotch qu'on a mis pour faire dévier l'eau n'est pas toujours efficace si la pluie est intense. Des mises au point techniques restent à faire pour améliorer le dispositif qui doit être pérenne.

CONCLUSION

CONCLUSION

A cause de la forte pression démographique sur les Hautes Terres, la plupart des agriculteurs sont obligés d'étendre la surface cultivée pour survivre. Du fait de la saturation des bas fonds et des plaines consacrés à la riziculture de submersion, le développement des cultures pluviales sur les «*tanety*» constitue l'avenir de l'agriculture.

Cependant, les «*tanety*» sont des milieux fragiles : en général peu fertile et ayant une topographie tourmentée. En plus de la fragilité des sols et l'agressivité du climat, principalement du fait de la pluie, sur cette partie de Madagascar, les pratiques traditionnelles avec labour et parfois après brûlis de nettoyage favorisent les phénomènes d'érosion. Cette dernière est le premier responsable de la diminution de la fertilité du sol sur les Hautes Terres. La diminution de la fertilité se manifeste par la réduction de la production. Cette situation amène souvent les agriculteurs à abandonner leur parcelle et à mettre en culture d'autres terres aussi mauvaises.

La valorisation durable des terrains sur les Hautes Terres nécessite donc la mise en œuvre de pratiques offrant une meilleure conservation de la fertilité du sol. Pourtant, la pauvreté des paysans, et l'adoption de pratiques qui demandent beaucoup de travail empêchent les agriculteurs des Hautes Terres de pratiquer les mesures de conservation, qu'elles soient préventives ou curatives, connues actuellement.

Ainsi, le présent rapport consiste à montrer l'intérêt du système de semis direct sur couverture végétale permanente pour contribuer à résoudre ce problème. Ce système de semis direct ne nécessite pas beaucoup de temps et de travail. Il permet une bonne gestion de la fertilité du sol, par la limitation de l'érosion et la fourniture en éléments minéraux utilisables par les cultures due à la minéralisation des débris végétaux laissés sur le sol.

Les résultats obtenus par la quantification des ruissellements et érosions sur les deux sites à l'aide des dispositifs de mesures simples montrent que le semis direct sur couverture végétale permet de contrôler voire même annuler les pertes en terres même si la pente du terrain est forte (13%). Les quantités moyennes de terres perdues sont de l'ordre 0,5 t ha⁻¹ sur les parcelles conduites en semis direct contre 24 t ha⁻¹ pour les terrains labourés.

En ce qui concerne le rendement, la maîtrise des autres ennemis de culture comme les maladies et ravageurs est nécessaire pour avoir une bonne récolte. Il faut également assurer un

meilleur ameublissement du sol pour développer les systèmes racinaires des plantes, donc un labour profond peut être nécessaire au début de la mise en culture si le sol est compact.

Mais même si cette pratique peut résoudre le problème de l'érosion, de temps de travaux et de pénibilité des tâches, des questions et des difficultés peuvent encore exister :

➤ le coût : l'application de cette technique nécessite des charges opérationnelles élevées car le prix des herbicides à Madagascar actuellement est encore très élevé. En plus, leur utilisation par les agriculteurs doit respecter des normes de sécurité qu'il faut connaître et appliquer. C'est un des facteurs limitant pour sa vulgarisation dans les petites exploitations paysannes.

➤ la protection de l'environnement : même si cette méthode de semis direct a pour objet la protection de l'environnement, l'utilisation d'herbicide pourrait encore poser des questions en ce qui concerne la pollution qu'elle peut entraîner. Cependant, les herbicides sont généralement les pesticides les moins toxiques, et comme pour tous autres produits chimiques, il faut respecter les doses prescrites pour éviter les effets indésirables. Des hypothèses sur les résidus éventuellement toxiques dans les plantes et sols selon les modes de gestion des sols sont actuellement en cours d'étude.

➤ la connaissance des pesticides et des plantes de couverture : les systèmes de culture en semis direct sont des systèmes difficiles à maîtriser, et totalement nouveaux pour les paysans ; ainsi, pour bien maîtriser les cultures, il faut une bonne connaissance des pesticides, des plantes de couverture utilisées et de leur action. La maîtrise de ces techniques est encore difficile pour les paysans malgaches qui sont généralement à faible niveau d'éducation.

Face à ces problèmes, l'Etat et les agents de développement doivent appliquer des mesures appropriées d'encouragement des paysans par la facilité d'accès aux intrants et des encadrements techniques concernant principalement les principes de base des ces nouvelles pratiques. La promotion de cette méthode de semis direct sur couverture végétale permanente, conservatrice de la fertilité du sol, peut permettre de stabiliser voire même d'accroître la production au cours des années, par la conservation et l'amélioration de la fertilité du sol. Le semis direct sur couverture végétale pourra ainsi permettre aux agriculteurs d'exploiter durablement leur parcelle, et d'assurer la durabilité du milieu et de leur terroir.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI René et HOERNER Jean-Michel, 1986, Géographie de Madagascar.
- BOURGEAT F., 1979, Pédogenèse et morphogenèse d'après des exemples à Madagascar, Madagascar revue de géographie N° 35, p9-54.
- BOURGEAT F, HUYNH Van Nhan, F Vicariot, C. Zebrowski, 1972, relation entre relief, les types de sols, et leurs aptitudes culturales sur les Hautes Terres Malgaches, 36p.
- C Bailly et P. Goujon, J. Pare, 1969 Conservation des sols au Sud de Sahara, 2^{ème} édition, du GERDAT, par le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT). 295p
- Coopération "Gouvernement Malagasy - Service de coopération et d'action culturelle Ambassade de France à Madagascar", 2003, MONOGRAPHIE COMMUNE RURALE ANDRANOMANELATRA Province Antananarivo, Fivondronana Antsirabe II.
- DRDR, 2003, MONOGRAPHIE de la sous préfecture Antsirabe I, 10p.
- DRDR, 2003, MONOGRAPHIE de la sous préfecture Antsirabe II, 10p.
- E. Roose, 1994, Pour l'introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. GCES. Stratégie nouvelle de lutte antiérosive. Outil de la gestion de terroir, Directeur de Recherche en Pédologie de l'ORSTOM, Montpellier, 224p.
- HUDSON N.W et JACKSON D.C. 1959. Results achieved in the measured of erosion and runoff in Southern Rhodesia.
- I. Bezpaly, 1984, les plantes cultivées en Afrique occidentale, 278p
- Isabelle DOUNIAS, 2001, Système de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales. 121p.
- JOSSE Pierre, Olivier PAGE, Véronique de CHARDON, Anne-Caroline DUMAS, Carole BORDES, Bénédicte BAZAILLE, André PONCELET, Jérôme De GUBERNATIS, Marie BURIN DES ROZIERES et Thierry BROUARD, 2001, le guide du routard (Madagascar).
- ARREOLA Tostado Jésus Manuel, 1996, étude et modélisation de l'effet des paillis sur le bilan hydrique. Le cas de semis direct sous paillis au Mexique, 83p.

- LILIN Ch, et P. Koofrafkan, 1987, techniques biologiques des sols en Haïti FAO, Rome, 36p.
- MURA R., 1990, la correction torrentielle, Cemagref, Grenoble, 9p.
- N. Nadia Pons- Ghitulescu, 1985, La défense des sols contre l'érosion dans les tropiques, fév. 77p.
- NEUVY Guy, 1995, Eau continentale et aménagement rural, les domaines tropicales malgaches, 156p.
- **RAMAHEFARISON Heriniaina, La variabilité des systèmes de production; cas de la région d'Andranomanelatra, mémoire de fin d'étude, juin 2004, 99p.**
- RABEZANDRINA René, janvier 2002, Manuel d'Agriculture générale Malagasy, cours à l'ESSA, 119p
- RABEZANDRINA René, décembre 2000, Manuel de la pédologie malagasy, cours à l'ESSA, 93p.
- RANOROSOA Domoina Malalatiana, 1991, Ajustement structurel et dynamique des exploitations agricoles sur les Hautes Terres Malgaches, région d'Antsirabe, 104p.
- RASAMILALA Alexandre Anatole, 2004, Contribution à la résolution des problèmes de dégradation du sol par l'érosion hydrique pour la mise en valeur des Tanety : cas des SCV sur le riz pluvial dans la région du Vakinankaratra, mémoire de fin d'étude, 111p.
- RAVELONARIVO Andriatahiana, 1994, le semis direct, une alternative à la lutte anti-érosive sur Tanety : contribution à son adaptation dans la région d'Antsirabe, mémoire de fin d'étude, 75p.
- **RAZAFINDRAKOTO Marie Antoinette, cours de D.R.S à l'ESSA.**
- SEGUY L, BOUZINIAC S., MARONNEZI A.C., 2001, Un dossier du semis direct : Système de culture et dynamique de la matière organique. CIRAD-CA-AGRONOTE PESQUISAS- GROUPE MAEDA – ONG TAFI/FOFIFA/ANAE, 202p. <http://agroécologie.cirad.fr>.
- www.ens-lyon

ANNEXES

ANNEXE I : Résultats des analyses statistiques : érosions et ruissellements LES MICRO LOTS.

The SAS System 14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	Lab SD

CADRES EROSION

Number of observations 4

The SAS System 14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Dependent Variable: erosion

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	5564244.088	5564244.088	2.87	0.2322
Error	2	3873381.137	1936690.568		
Corrected Total	3	9437625.225			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	erosion Mean
0.589581	111.7448	1391.650	1245.383

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	5564244.088	5564244.088	2.87	0.2322

The SAS System 14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure
Least Squares Means

	erosion LSMEAN	H0:LSMean1= LSMean2 Pr > t
sol		
Lab	2424.81500	0.2322
SD	65.95000	

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	Lab SD

CADRES RUISSELLEMENT

Number of observations 4

The SAS System
The GLM Procedure

14:30 Friday, June 24, 2005

Dependent Variable: ruis

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	23.256506	23.256506	0.01	0.9208
Error	2	3686.155863	1843.077931		
Corrected Total	3	3709.412369			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ruis Mean
0.006270	49.58330	42.93108	86.58375

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	23.25650625	23.25650625	0.01	0.9208

The SAS System
The GLM Procedure
Least Squares Means

14:30 Friday, June 24, 2005

sol	ruis LSMEAN	H0:LSMean1=LSMean2 Pr > t
Lab	84.1725000	0.9208
SD	88.9950000	

LES LOTS D'EROSIONS.

The SAS System

14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	SD lab

LOTS PENTE EROSION

Number of observations 9

The SAS System

14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Dependent Variable: erosion

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	11418758.56	3806252.85	3.81	0.0919
Error	5	4992718.83	998543.77		
Corrected Total	8	16411477.39			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	erosion Mean
0.695779	61.10470	999.2716	1635.343

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	139161.8001	139161.8001	0.14	0.7242
pente	1	860.1700	860.1700	0.00	0.9777
pente*sol	1	5926.1831	5926.1831	0.01	0.9416

The SAS System

14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Least Squares Means

sol	erosion	H0:LSMean1=
	LSMEAN	LSMean2
		Pr > t
SD	27.60060	0.0403
lab	2414.56371	

The SAS System

14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	SD lab

LOTS PENTE EROSION

Number of observations 9

The SAS System

14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Dependent Variable: erosion

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	11418758.56	3806252.85	3.81	0.0919
Error	5	4992718.83	998543.77		
Corrected Total	8	16411477.39			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	erosion Mean
0.695779	61.10470	999.2716	1635.343

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	139161.8001	139161.8001	0.14	0.7242
pente*sol	2	6744.3123	3372.1562	0.00	0.9966

The SAS System

14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Least Squares Means

	erosion LSMEAN	H0:LSMean1= LSMean2
		Pr > t
sol		
SD	27.60060	0.0403
lab	2414.56371	

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	SD lab

LOTS PENTE EROSION

Number of observations 9

Dependent Variable: erosion

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	11412014.25	11412014.25	15.98	0.0052
Error	7	4999463.14	714209.02		
Corrected Total	8	16411477.39			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	erosion Mean
0.695368	51.67776	845.1089	1635.343

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	11412014.25	11412014.25	15.98	0.0052

	erosion LSMEAN	H0:LSMean1= LSMean2 Pr > t
sol		
SD	42.86000	0.0052
lab	2431.58500	

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	SD lab

LOTS PENTE RUISSELLEMENT

Number of observations 9

Dependent Variable: ruis

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	1597.083807	532.361269	5.70	0.0454
Error	5	467.078393	93.415679		
Corrected Total	8	2064.162200			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ruis Mean
0.773720	27.46049	9.665179	35.19667

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	94.7915923	94.7915923	1.01	0.3600
pente	1	417.3714734	417.3714734	4.47	0.0882
pente*sol	1	30.8045667	30.8045667	0.33	0.5907

		H0:LSMean1= LSMean2	Pr > t
sol	ruis LSMEAN		
SD	10.9140959	0.0091	
lab	45.5606784		

The SAS System 14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	SD lab

LOTS PENTE RUISSELLEMENT

Number of observations 9

The SAS System 14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure

Dependent Variable: ruis

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	1566.279240	783.139620	9.44	0.0140
Error	6	497.882960	82.980493		
Corrected Total	8	2064.162200			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ruis Mean
0.758797	25.88132	9.109363	35.19667

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	1561.937612	1561.937612	18.82	0.0049
pente	1	419.553190	419.553190	5.06	0.0656

The SAS System 14:30 Friday, June 24, 2005

The GLM Procedure
Least Squares Means

		H0:LSMean1=LSMean2	
sol	ruis LSMEAN	Pr > t	
SD	12.6745860	0.0049	
lab	46.4577070		

**ANNEXE II : Résultats des analyses statistiques :RENDEMENT
Maïs grain et Haricot grain.**

MAIS GRAIN

The SAS System 12:57 Sunday, June 26, 2005

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	lab sd

Number of observations 12

The SAS System 12:57 Sunday, June 26, 2005

The GLM Procedure

Dependent Variable: **maisgrain** (rendement maïs - kg/ha)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	981575.885	981575.885	15.51	0.0028
Error	10	633014.586	63301.459		
Corrected Total	11	1614590.471			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	maisgrain Mean
0.607941	14.75199	251.5978	1705.518

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	981575.8854	981575.8854	15.51	0.0028

The SAS System 12:57 Sunday, June 26, 2005
The GLM Procedure
Least Squares Means

	maisgrain LSMEAN	H0:LSMean1= LSMean2 Pr > t
sol		
lab	1907.75250	0.0028
sd	1301.04750	

HARICOT GRAIN

The SAS System 12:57 Sunday, June 26, 2005

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
sol	2	lab sd

Number of observations 12

The SAS System 12:57 Sunday, June 26, 2005

The GLM Procedure

Dependent Variable: **hgrain (rendement haricot grain)**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	509778.1165	509778.1165	18.42	0.0016
Error	10	276735.2464	27673.5246		
Corrected Total	11	786513.3629			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	hgrain Mean
0.648149	20.23445	166.3536	822.1308

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
sol	1	509778.1165	509778.1165	18.42	0.0016

The SAS System 12:57 Sunday, June 26, 2005

The GLM Procedure

Least Squares Means

	hgrain LSMEAN	H0:LSMean1= LSMean2 Pr > t
sol		
lab	676.38875	0.0016
sd	1113.61500	

ANNEXE III : Quelques informations culturelles sur le dispositif de l'URP SCRID.

Opérations	En labour	En semis direct.	Période
Préparation avant semis	Labour	Fauchages et désherbages chimiques (glyphosates 3,5 l.ha ⁻¹)	Début décembre
Semis (maïs et haricot)	En poquet		9 décembre.
Démariage maïs	Laissé 2 plantes par trous		5 janvier.
Sarclage	Avec angady	-	11-12 janvier.
Fertilisation	Epannage d'urée (50 kg.ha-1)		28 janvier.
Récolte haricot	Récolte plante entière	Récolte gousse seulement	30 mars
Récolte maïs	Récolte plante entière	Récolte épis seulement	25 mai.

Semis :

-mode : en poquet de 5 grains/trou pour le maïs et 3 grains/trou pour le haricot.

-espacement :

- maïs : 1m X 40 cm
- haricot : 40 x 20 cm

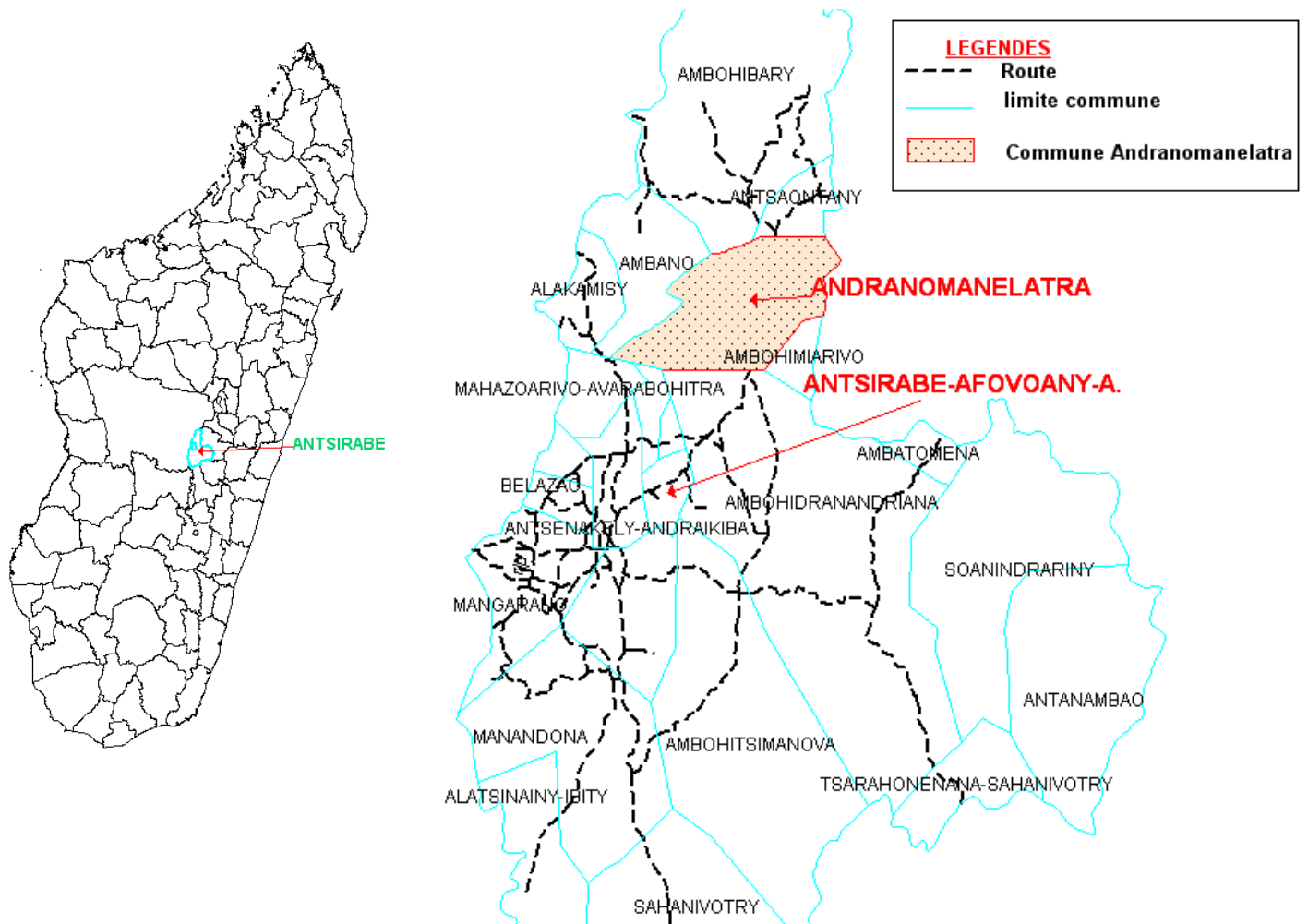
Le maïs et haricot sont en association de culture.

Fertilisation : 5t ha⁻¹ de fumier.

Traitement de semences :

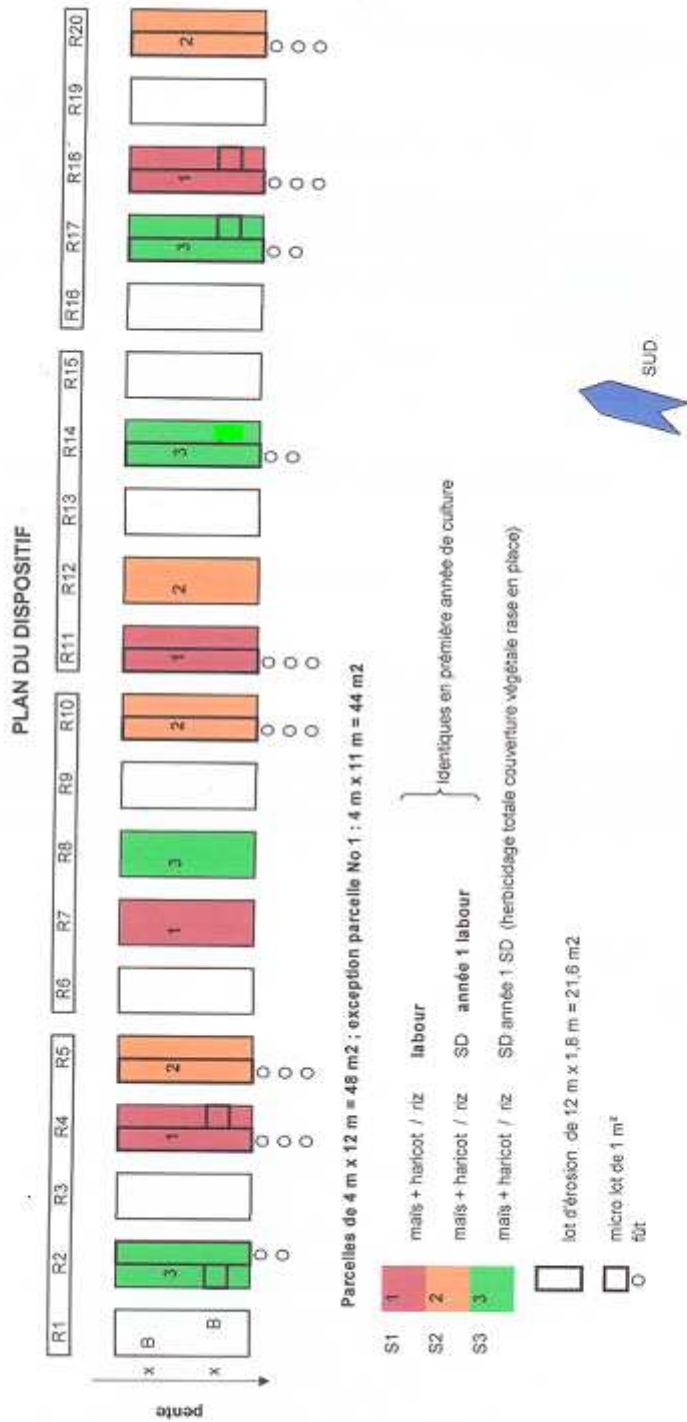
- maïs : Gaucho T45WS à 5g.kg⁻¹
- haricot :Thirame 5 g.kg⁻¹

ANNEXE IV : Localisation de la zone d'étude.



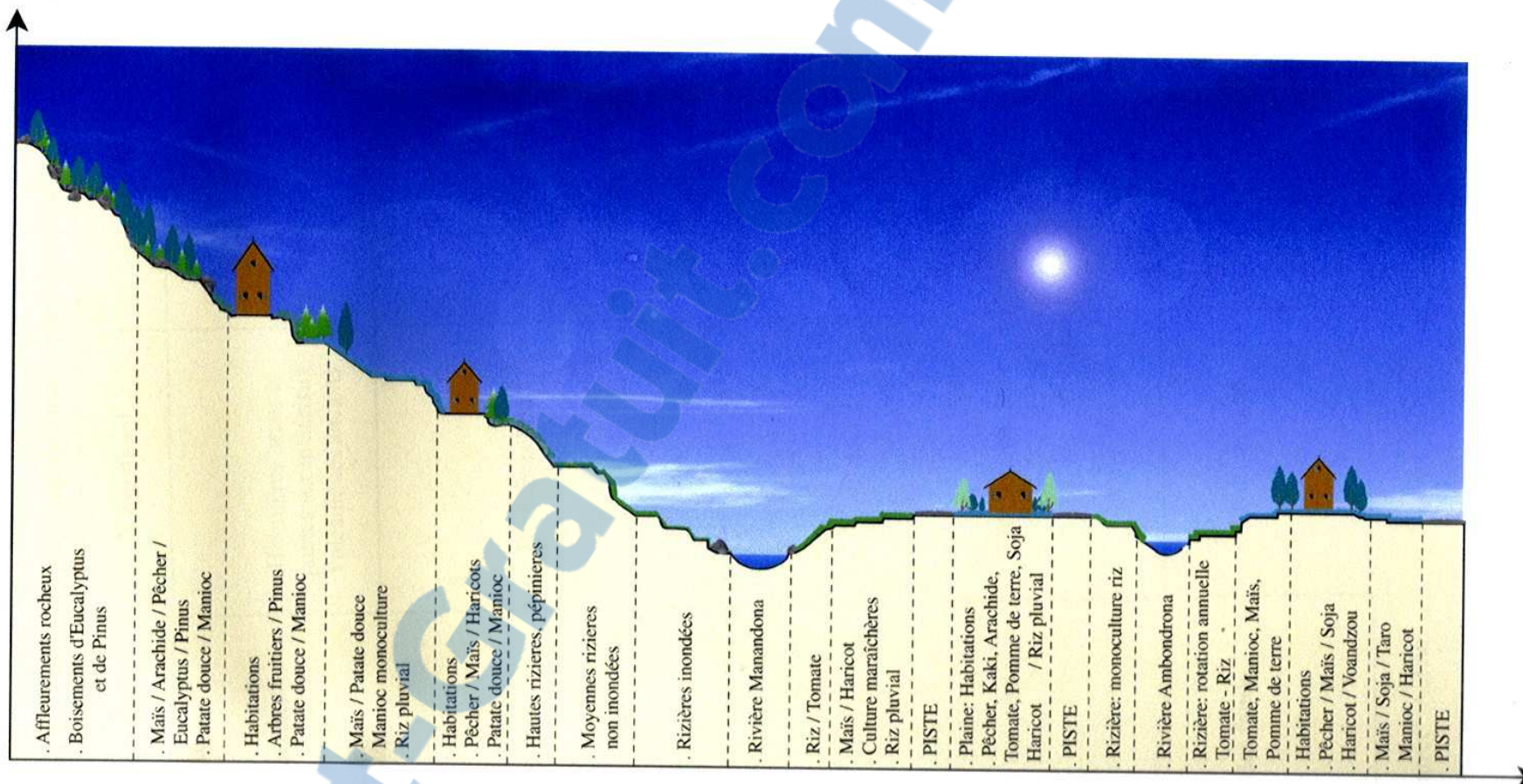
Source : Carte F.T.M.

ANNEXE V : Plan du dispositif



ANNEXE VI : Exemple d'une Toposéquence prise dans une zone d'Andranomanelatra.

EST



Source : (RAMAHEFARISON, 2004)

Résumé :

Sur les Hautes Terres de Madagascar, les agriculteurs sont obligés de mettre en culture des terrains de «tanety» à cause de la forte pression démographique. L'exploitation de ces terrains fragiles exposés à l'érosion hydrique, de fertilité médiocre en général, et ayant une topographie tourmentée, nécessite la mise en œuvre des procédés de lutte contre la dégradation du sol. Cependant, ces procédés biologiques et culturaux ne sont efficaces que sur des pentes faibles, les procédés mécaniques sont peu pratiqués par les paysans car ils demandent souvent des investissements et des travaux pendant la période de travaux agricoles.

Cette étude a permis de mettre en place des dispositifs de terrain pour la quantification des pertes par ruissellement et par érosion. Grâce à cette quantification, il a été possible de comparer différents modes de gestion de sol sur les «tanety» exposés très souvent à ces phénomènes qui dégradent les terres cultivées.

Dans ce travail, les résultats obtenus sur les lots d'érosion du dispositif principal sont plus fiables par rapport à ceux obtenus sur les micro-lots car sur ces derniers, il se peut que quelques données aient été susceptibles d'être faussées. En ce qui concerne les ruissellements, ceux provoqués par les parcelles en SCV (19, 2 mm) sont inférieurs à ceux engendrés par des terrains en labours (43.1 mm). Pour l'érosion, les pertes en terres moyennes sont de l'ordre de 24 t. ha⁻¹ pour les terrains labourés, et moins d'une tonne (0,4 t.ha⁻¹) pour les parcelles conduites en SCV.

La limitation des pertes en terres est due principalement à la couverture du sol qui : assure sa protection permanente, crée des obstacles aux transports solides et améliore la structure du sol.

Par le contrôle de l'érosion, le SCV peut contribuer à résoudre le problème de dégradation du sol et permettrait une agriculture durable, base de développement de notre pays.

Mots clés : *érosion hydrique, ruissellement, dégradation du sol, SCV, «tanety», Vakinankaratra, Hautes Terres de Madagascar.*