

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU N° 1 : CARACTERISTIQUES DU SOL	12
TABLEAU N° 2 : AVANTAGES OU ATOUTS, INCONVENIENTS ET POINTS COMMUNS.....	14
TABLEAU N° 3 : ECHELLES DE TAUX DE SATURATION	15
TABLEAU N° 4 : GRADUATION D'ECHELLE CARTOGRAPHIQUE.....	18
TABLEAU N° 5 : TYPOLOGIE DES BASSINS VERSANTS ELEMENTAIRES (Cf. TABLEAU JOINT)	61
TABLEAU N° 6 : CARACTERISTIQUES DES CLASSES DE SOLS CITEES PRECEDEMMENT.....	65

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	83
FIGURE 2:CARTE DES ZONES D'EROSION CARACTERISEES PAR L'INTENSITE PLUVIOMETRIQUE HORAIRE REGIONALE D'APRES ETUDE DE B.SOUCHER	84
FIGURE 3: CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN DU LAC ITASY.....	85
FIGURE 4: CARTE GEOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC ITASY	86
FIGURE 5 : PROFIL NORD OUEST-SUD EST DU BASSIN VERSANT DU LAC ITASY	87
FIGURE 6: PROFIL SUD OUEST-NORD EST DU BASSIN VERSANT DU LAC ITASY.....	88
FIGURE 7: CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DU LAC ITASY	89
FIGURE 8: CARTE DE PENTES, D'EROSION SUBIE ET DE SENSIBILITE DES SOLS A L'EROSION DU BASSIN VERSANT LAC ITASY	90
FIGURE 9 : CARTE D'OCCUPATION DE SOLS DU BASSIN VERSANT DU LAC ITASY	91
FIGURE 10: CARTE D'APTITUDE DES SOLS DU BASSIN VERSANT DU LAC ITASY.....	92
FIGURE 11: PROFILS TYPES DE REFERENCE	93
FIGURE 11: PROFILS TYPES DE REFERENCE (SUITE).	94
FIGURE 11 : PROFILS TYPES DE REFERENCE (SUITE)	95
FIGURE 11 : PROFILS TYPES DE REFERENCE (SUITE).	96
FIGURE 11 : PROFILS TYPES DE REFERENCE (SUITE).	97

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE I : PRINCIPAUX PROFILS DE REFERENCE (DUCHAUFOR, 2001).....	I
ANNEXE II : APPLICATION DU CONCEPT DE PLANIFICATION.....	V
ANNEXE III : CLASSIFICATION GENERALE DES SOLS (RIQUIER, 1956).....	VI
ANNEXE IV : LES HUIT CLASSES DE TERRES SELON LEUR VALEUR (SERVICE DE LA CONSERVATION DU SOL DES ETATS-UNIS)	VII
ANNEXE V : LES ONZE CLASSES DE TERRES AINSI QUE LEURS SUBDIVISIONS (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955).....	IX
ANNEXE VI : FICHE D'ENQUETE	XII
ANNEXE VII : DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES DU LAC ITASY ET SES BASSINS VERSANTS (SERVICE PROVINCIAL DES EAUX ET FORETS, 1991).....	XIII
ANNEXE VIII : SPECIMENS DE STRUCTURES - ELEMENTS STRUCTURAUX ET STRUCTURES - LEGENDE DES STRUCTURES UTILISEES.....	XVI
ANNEXE VIII EXEMPLE SPECIMENS DE STRUCTURES	XVI
ANNEXE VIII : EXEMPLE SPECIMENS DE STRUCTURE (SUITE)	XVII
ANNEXE VIII : ELEMENTS STRUCTURAUX ET STRUCTURES (SUITE).....	XVIII
ANNEXE VIII : LEGENDES ES STRUCTURES UTILISEE (SUITE)	XIX

ANNEXE IX : DIAGRAMMES DES TEXTURES	XX
ANNEXE IX : DIAGRAMMES DES TEXTURES (SUITE).....	XXI
ANNEXE X : LES PRODUITS CHIMIQUES UTILISES.....	XXIII
ANNEXE XI : PRECIPITATION (1951 – 1980)	XXIV
ANNEXE XII : HAUTEURS D’AVERSES DE 24 HEURES ET 1 HEURE POUR DIVERSES STATIONS A MADAGASCAR.....	XXV
ANNEXE XIII : HAUTEUR D’AVERSE DE 24 ET 1 HEURES	XXVI
ANNEXE XIV : BILAN HYDRIQUE : RESULTATS EXPRIMES EN MILLIMETRE D’EAU.....	XXVII
ANNEXE XV : TEMPERATURES MOYENNES EXPRIMEES EN DEGRE CELCIUS	XXVIII
ANNEXE XVI : DEFINITION DES RELIEFS.....	XXIX
ANNEXE XVII : FICHE DE DESCRIPTION	XXX
ANNEXE XVIII : PRINCIPAUX RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS..	XXXI
ANNEXE XIX : CORRESPONDANCE DE CLASSIFICATION DE SOLS ADOPTEE PAR RAPPORT AUX AUTRES CLASSIFICATIONS	XXXII
ANNEXE XX : CORRESPONDANCE DE LA CLASSIFICATION ADOPTEE AVEC LES AUTRES CLASSIFICATIONS DES TERRES SELON LEUR VALEUR.....	XXXIV
ANNEXE XX : CORRESPONDANCE DE LA CLASSIFICATION ADOPTEE AVEC LES AUTRES CLASSIFICATIONS DES TERRES SELON LEUR VALEUR (SUITE).....	XXXV
ANNEXE XX : CORRESPONDANCE DE LA CLASSIFICATION ADOPTEE AVEC LES AUTRES CLASSIFICATIONS DES TERRES SELON LEUR VALEUR (SUITE)	XXXVI

LISTE DES ABREVIATIONS

- A E : Acidité Echangeable
- B A D. : Banque Africaine pour le Développement
- C E C. : Capacité d'Echange de Cations
- C.F.S.I.G.E : Centre de Formation aux Sciences de l’Information Géographique et de
l’Environnement.
- D R S. : Défense et Restauration des Sols
- F T M. : Foibe Taotsarintanin’i Madagasikara
- F A O. : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- M N T. : Modèle Numérique du Terrain
- P A E. : Plan d'Action Environnementale
- P N U E : Programme des Nations Unies pour l’Environnement
- P N U D. : Programme des Nations Unies pour le Développement
- U C S : Unité Cartographique de Sol
- U I C N : Alliance mondiale pour la nature
- U.T.S. : Unité Typologique de Sol
- S.I.G. : Système d'Information Géographique
- W W F : Word Wide Fund (Fonds Mondial pour la Nature)

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	I
RESUME.....	II
SUMMARY	III
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES	IV
LISTES DES ANNEXES	IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	V
INTRODUCTION.....	1
ETAT DE CONNAISSANCE	3
a) Classification des sols :	3
b) Classification des terres (sols) selon leur valeur	4
c) Fertilité du sol.....	4
d) Planification régionale	4
PREMIERE PARTIE : METHODOLOGIE	5
1.1 Problématique et hypothèse de recherche.....	5
1.1.1 Problématique.....	5
1.1.2 Hypothèse de recherche.....	6
1.2 Objectif de la recherche.....	6
1.3 Discussion méthodologique.....	7
1.3.1 Classification des sols.....	7
1.3.2 Classifications des terres selon leurs valeurs	9
1.3.2.1 Classification de la F.A.O. des terres selon l'aptitude.....	9
1.3.2.2 Classification générale des sols selon l'aptitude (RIQUIER, 1956).....	10
1.3.2.3 Classification américaine des terres selon leurs valeurs	11
1.3.2.4 Classification selon FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX (1950-1951) des terres selon leurs valeurs.....	12
1.3.2.5 Comparaison de ces quatre méthodes de classification des terres selon leurs valeurs.....	14
1.3.3 Valeurs caractéristiques du sol	15
1.3.4 Sensibilité du sol à l'érosion	16
1.3.4.1 Groupement selon la F.A.O.	16
1.3.4.2 Groupement selon FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX, 1950-1951.....	16
1.3.5 Cartographie des sols.....	17
1.3.6 Représentation des légendes.....	19
1.3.6.1 Représentation synthétique.....	19
1.3.6.2 Représentation analytique.....	19
1.3.6.3 Représentation mixte	19
1.3.6.4 Représentation des pédopaysages (Jamagne et King, 1991).....	19
1.4 Méthodes	20
1.4.1 Préparation des travaux de terrain	20
1.4.2 Reconnaissance de terrain	20
1.4.3 Enquête socio-économique.....	21

1.4.4 Diagnostic du milieu.....	22
1.4.5 Analyse au laboratoire.....	22
1.4.6 Traitement des données.....	23
1.4.6.1 Utilisation du Système d'Information Géographique (SIG).....	23
1.4.6.2 Technique d'interprétation.....	24
1.4.7 Méthode d'élaboration des cartes.....	29
1.4.7.1 Carte pédologique.....	29
1.4.7.2 Carte d'occupation des sols.....	29
1.4.7.3 Carte d'érosion subie et de sensibilité des sols à l'érosion.....	30
1.4.7.4 Carte d'aptitude des sols.....	30
1.5 Matériels.....	32
1.5.1 Matériels de terrain.....	32
1.5.2 Matériels de laboratoire.....	33
1.6 Schéma méthodologique.....	34
1.7 Contraintes, limites et avantages de la méthodologie.....	35
1.7.1 Contraintes.....	35
1.7.2 Limites.....	35
1.7.3 Avantages.....	35
1.8 Conclusion partielle.....	36
DEUXIEME PARTIE : RESULTATS, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DE LA CARACTERISATION DES SOLS DU	
BASSIN VERSANT DU LAC ITASY.....	37
2.1 Milieu Naturel conditionnant la formation des sols.....	37
2.1.1 Climat.....	37
2.1.2 Géologie.....	37
2.1.2.1 Séries gneissico-migmatitiques.....	37
2.1.2.2 Roches volcaniques prépléistocènes et pléistocènes.....	38
2.1.2.3 Granites migmatitites et migmatites granitoïdes.....	38
2.1.2.4 Gneiss micaschistes.....	38
2.1.2.5 Granites.....	38
2.1.2.6 Formations superficielles.....	38
2.1.3 Géomorphologie.....	38
2.1.4 Hydrologie.....	39
2.1.5 Végétation.....	40
2.2 Sols du bassin versant du lac Itasy.....	40
2.2.1 Différents types de sols de Madagascar.....	40
2.2.2 Description et classification des unités pédologiques.....	41
2.2.2.1 Classe de sols à minéraux bruts et peu évolués.....	41
a) Sous-classe de sols non climatiques.....	42
2.2.2.2 Classe des Sols à "mull" (matière organique évoluée).....	44
a) Sous classe des sols à "mull" des pays tropicaux, à pédoclimat chaud et humide.....	45
2.2.2.3 Classe des sols ferrallitiques.....	46
a) Sous-classe de sols ferrallitiques tronqués.....	47

b) Sous-classe de sols ferrallitiques rajeunis	49
c) Sous-classe des sols ferrallitiques pénévolués ou fortement rajeunis.....	52
2.2.2.4 Classe de sols hydromorphes.....	53
a) Sous-classe de sols hydromorphes organiques ou humifères	53
b) Sous-classe de sols hydromorphes moyennement organiques.....	53
c) Sous-classe de sols hydromorphes peu humifères à gley	54
2.2.2.5 Conclusion partielle.....	55
2.3 Erosion.....	56
2.3.1 Définition.....	56
2.3.2 Formes d'érosion et ses manifestations	56
2.3.2.1 Erosion nulle ou légère	57
2.3.2.2 Erosion modérée	57
2.3.2.3 Erosion sévère	57
2.3.2.4 Erosion forte ou très sévère	57
2.3.2.5 Erosion spectaculaire ou extrêmement sévère	58
2.3.2.6 Erosion de berge	58
2.3.3 Facteurs d'érosion	59
2.3.3.1 Facteur naturel.....	59
2.3.3.2 Facteur anthropique	60
2.3.4 Carte de pentes, d'érosion et de sensibilité des sols à l'érosion.....	60
2.3.5 Conclusion partielle.....	60
2.4 Utilisation de sols	60
2.4.1 Caractéristiques des bassins versants élémentaires.....	60
2.4.2 Systèmes d'utilisation des terres et pratiques agricoles.....	62
2.4.2.1 Zones de bas-fonds	62
2.4.2.2 Tanety cultivés.....	62
2.4.2.3 Tanety boisés	62
2.4.2.4 Pâturage	63
2.4.2.5 Carte d'occupation de sols.....	63
2.4.3. Différentes classes de sols selon leur valeur.....	63
2.4.3.1 Classe I : terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture	63
2.4.3.2 Classe II : terres de bonne qualité moyennant quelques mesures de conservation,	64
2.4.3.3 Classe III : terres à emploi limité par suite de sa pente topographique moyenne à forte et/ou zone plane peu perméable ou trop humide.....	64
2.4.3.4 Classe VIII : terres d'assez bonne qualité pour le pâturage	64
2.4.3.5 Classe X : terres à vocation forestière ou de pâturage limité sous forêts.....	64
2.4.3.6 Classe XII : terres rocheuses ne répondant ni à la culture ni à la forêt	64
2.4.3.7. Carte d'aptitude des sols.....	66
2.4.4 Conclusion partielle.....	66
TROISIEME PARTIE : PROPOSITION D'AMENAGEMENT	67
3.1 Généralité	67
3.2 Aménagement de sols selon la toposéquence.....	67

3.3 Système de protection et de conservation des terrains cultivables	68
3.4 Aménagement et gestion de pâturage	70
3.5 Reboisement et aménagement de forêts	72
3.5.1 Reboisement	72
3.5.2 Aménagement de la forêt de "Tapia" (<i>Uapaca bojeri</i>)	73
3.6 Protection et fixation de "lavaka" et de berge.....	73
3.6.1 Protection et fixation de "lavaka"	73
3.6.2 Protection de berge	74
3.7 Protection et conservation des bas-fonds.....	74
3.8 Critère prioritaire d'intervention d'aménagement du bassin versant.....	75
3.9 Conclusion partielle.....	75
CONCLUSION GENERALE	77
BIBLIOGRAPHIE	80
ANNEXES.....	I

INTRODUCTION

Le sol est le principal substrat du monde biologique, agricole et forestier. A part les facteurs physiques et chimiques, les facteurs biologiques constituent un élément essentiel de son évolution.

Dans notre monde contemporain, une bonne partie de la surface du globe terrestre est occupée par l'être humain. Il met en usage son savoir et savoir-faire pour l'exploiter afin de satisfaire ses besoins individuels ou collectifs. Aussi joue-t-il un rôle très important sur l'évolution des sols. Il travaille le sol sans relâche avec ses habitudes, traditionnelles ou modernes, pour cultiver et avoir des rendements soutenus.

Les terrains de cultures ne se limitent pas non seulement sur les terrains à proximité des zones d'habitation, mais ils s'étendent aussi un peu plus loin, voire très loin de celles-ci.

Les marécages et les bas-fonds inondés sont transformés en rizières. Certaines forêts sont converties en zones d'exploitation agricole et d'élevage de bovins. Les 'tanety' sont souvent utilisées comme pâturages. Ces derniers sont annuellement renouvelés par les feux de pâturage qui, constamment se transforment en feux sauvages et ravagent les quasi-étendues de brousses et de forêts.

Le nombre de la population ne cesse de s'accroître d'année en année et conduit l'homme à intensifier l'exploitation des terrains de cultures et/ou à se concurrencer pour la conquête de nouvelles terres cultivables. Les biologistes, les pédologues, les microbiologistes, les sociologues affirment que le renouvellement du pâturage, l'exploitation et l'augmentation de terrains de cultures conduisent à la modification du paysage malgache et à la destruction progressive de l'environnement. Cette destruction se présente comme un danger imminent sur la vie de la faune et de la flore.

A Madagascar, ce triste schéma d'évolution attire l'attention des dirigeants malgaches et les a incités, à formuler un vaste Plan d'Action Environnementale (P A E). Ce plan est appuyé par les partenaires techniques et financiers tels la Banque Mondiale, la Banque Africaine pour le Développement (B A D), le Programme des Nations Unies pour le Développement (P N U D) etc.

Ce plan est opérationnel depuis 1990 et comporte quatre volets prioritaires à savoir :

- la conservation des sols,
- le développement de l'écotourisme,
- la mise en place d'un cadre institutionnel pour la gestion, la protection et la conservation de l'environnement pour l'assainissement des cadres de vie urbaine et rurale,
- et le développement de l'éducation, de la formation, de l'information et de la sensibilisation de la population à la protection, à la conservation et à la gestion de l'environnement.

De ce fait, le Gouvernement a accordé au secteur forêt une importante action prioritaire pour la protection des écosystèmes naturels (sols, rivières, lacs, forêts etc.) Elle vise l'autosuffisance alimentaire et l'amélioration des conditions de vie de la population locale notamment à travers :

- l'aménagement et la rationalisation de l'exploitation de forêts ;
- la réduction des superficies brûlées et défrichées ;

- le renforcement de la protection des aires protégées ;
- et l'atteinte de l'autosuffisance en bois d'énergie domestique pour les besoins de la population urbaine et rurale.

Etant donné les caractéristiques topographiques (dominance de pentes), et l'exploitation traditionnelle des ressources naturelles renouvelables dans le monde rural, la politique forestière, le PAE, la stratégie malgache pour la conservation et le développement durable ainsi que le plan de développement régional Itasy mettent l'accent sur l'aménagement des bassins versants et l'augmentation des surfaces boisées à travers la démocratisation du reboisement, pour ramener le taux de couverture actuel de 21% à 50%.

A l'heure actuelle, le Faritany d'Antananarivo dispose d'une Stratégie Forestière et d'un Plan Directeur Forestier Régional dictés par cette politique. Pour mener à bien les actions, cette stratégie met en priorité les activités forestières dans la province d'Antananarivo suivant l'importance des zones stratégiques. Celles-ci sont caractérisées par la superposition de différents secteurs de production : agriculture, élevage, foresterie, pêche, écotourisme.

Selon cette stratégie, le bassin versant du lac Itasy figure parmi les grandes zones stratégiques de la province. Il s'étend sur une superficie de 55.423 ha.

En effet, la Direction Interrégionale de l'Environnement, des Eaux et Forêts a jugé utile une intervention dans l'immédiat tout en profitant déjà de l'expérience du projet P N U D – F A O MAG/88-02 sur la restauration et l'aménagement des quatre bassins versants pilotes dans la province d'Antananarivo.

Comme il s'agit d'action d'aménagement, l'étude pédologique constitue une étude préliminaire essentielle qu'il ne faut pas négliger. D'où la raison de choix de la présente étude qui s'intitule «**Aménagement des sols du bassin versant du lac Itasy** ». Il est axé sur des éléments pédologiques reconnus dans le bassin versant, tels que :

- la répartition des différents types de sols ;
- le degré de fertilité de sols ;
- l'état de l'érosion ainsi que l'aptitude culturale de sols qui en découle.

Ces renseignements sont complétés par d'autres données socio-économiques et sur la tenure foncière pour l'élaboration d'un document de projet de restauration et d'aménagement du bassin versant du lac Itasy. Cette étude porte sur la méthodologie de recherche adoptée, le résultat, l'interprétation et la discussion de la caractérisation de sols du bassin versant du lac Itasy et se terminera par la proposition de son aménagement.

ETAT DE CONNAISSANCE

Au départ, le sol était considéré comme un milieu statique et la science du sol, intégrée dans la chimie agricole. Vers la fin du XIX^{ème} siècle, cette notion sur la théorie conceptuelle du sol était sujette à caution et grâce aux travaux menés par DOKUTCHAEV, une nouvelle science est née, la "PEDOGENESE"(DUCHAUFOR, 2001).

En bref, celle-ci a pour objet la formation et l'évolution du sol dans le temps, lesquelles dépendent en majeure partie des matériaux d'origine ; dès lors, le sol n'est plus considéré comme un milieu statique, mais plutôt un milieu biophysique, subissant le même sort que les milieux biologiques (naissance, croissance, développement, dépérissement). Au cours de l'évolution, le sol se différencie en couches superposées ou HORIZONS dont l'ensemble constitue le PROFIL (DUCHAUFOR, 2001).

Ces notions ne reposant pas sur des vérités rationnellement admises, ont été mal accueillies dans les pays occidentaux (zones climatiques variées, conditions de reliefs et de géomorphologie différentes). Néanmoins, la notion de dynamique et celle de différenciation concomitante des HORIZONS au sein du profil, continuent à imposer ses droits dans tous les pays.

Plus récemment, les auteurs américains ont proposé d'usiter le terme de pédologie à l'étude de la pédogenèse, tout en admettant la science du sol à une acceptation plus générale. C'est ainsi, que P.DUCHAUFOR a trouvé meilleur qu'il s'avère nécessaire d'adopter le titre : INTRODUCTION A LA SCIENCE DU SOL pour la 6^e édition de l'Abrégé de pédologie.

En substance, on peut dire et affirmer que les propriétés du sol ne peuvent se comprendre que par l'étude de son histoire, c'est-à-dire par celles de processus qui ont déterminé sa formation.

De ce fait, l'état de connaissance actuel sur la pédologie se manifeste comme suit :

a) Classification des sols :

La pédologie classe les sols selon différents types. Il existe deux classifications systématiques des sols mondiaux :

- une classification française basée sur le degré d'évolution du profil, l'altération des éléments minéraux, le type de la matière organique et l'hydromorphie ;
- une classification américaine fondée sur des horizons typiques dénommés " horizons de diagnostic " (LAROUSSE -1973). Ils forment de ce qu'on entend par **pedon** (Profil). Ce dernier se subdivise en deux horizons de diagnostics principaux à savoir :
 - l'horizon de surface, généralement humifère (épipedon),
 - l'horizon de profondeur, correspondant à un (B) d'altération ou un B illuvial.

Ces horizons servent à identifier les ordres (classes) (DUCHAUFOR, 2001).

D'autres classifications existent également mais en étendue moins importante :

- une classification russe : sols des régions de la Russie d'Asie et de la Russie d'Europe, géographiquement parlant et se fondant globalement sur les sols zonaux (climatiques), intrazonaux (stationnels) et azonaux (non ou peu évolués) (DUCHAUFOR, 2001).

- une classification allemande : sols du Territoire allemand et de l'Europe Centrale se fondant sur la structure du profil dans la mesure où elle reflète toutes les actions des facteurs de l'évolution du sol (DUCHAUFOR, 2001).

Quant aux sols de Madagascar, une classification des sols ferrallitiques a été établie par F. BOURGEAT et G. AUBERT (BATTISTINI R. et al., 1972).

Pour revenir à la classification française, elle a été mise à jour par les pédologues français (Principaux profils de référence). De ce fait, elle comprend 13 classes. Quant à la classification américaine (DUCHAUFOR, 2001), elle en compte 12 (Cf. Annexe I).

b) Classification des terres (sols) selon leur valeur

En plus de la classification proprement dite des sols à partir de leurs propriétés physico-chimiques, biologiques et génétiques, la classification de leurs valeurs d'aptitude devient un passage obligé pour pouvoir planifier l'utilisation du sol et de choisir à bon escient les techniques adéquates de mise en valeur.

c) Fertilité du sol

La connaissance de la fertilité du sol est l'un des éléments fondamentaux pour la réussite de l'agriculture ; l'estimation de celle-ci prend en compte toutes les propriétés du sol, aussi bien génétiques que fonctionnelles (DUCHAUFOR, 2001).

d) Planification régionale

Le développement d'une région donnée dépend de sa planification. L'objectif de cette dernière consiste à connaître la répartition judicieuse de l'utilisation des sols sur la base d'une cartographie à l'échelle moyenne. Ainsi les sols sont rangés dans quatre catégories, en fonction de leurs <<aptitudes>> :

- 1) Zones d'urbanisation et zones industrielles ;
- 2) Zones agricoles ;
- 3) Espaces verts et forêts ;
- 4) Sols utilisés comme support, filtre ou système épurateur.

De ce fait, la discrimination d'une zone pour sa mise en valeur, destinée à une utilisation déterminée est faite d'une manière plus détaillée et fonction des conditions locales (DUCHAUFOR, 2001).

En effet, les cartes d'aptitude, généralement obtenues par informatique à partir de cartes thématiques sont utilisées dans ce but (Cf. Annexe II).

PREMIERE PARTIE : METHODOLOGIE

Il s'agit d'une étude permettant de définir et de hiérarchiser les séquences de démarches pour une méthode de prospection pédologique afin de pouvoir aboutir à la compréhension de l'évolution et de la répartition des sols, à leur vocation, à la fixation des potentialités régionales, à l'étude des sols dans le paysage et les chaînes de sols.

1.1 Problématique et hypothèse de recherche

1.1.1 Problématique

Le bassin versant du lac Itasy est un endroit naturel bien délimité topographiquement et géographiquement parmi tant d'autres à Madagascar.

Ce bassin versant se trouve dans la Région de l'Itasy, à cheval sur les districts de Miarynarivo et de Soavinandriana. D'une superficie de 55.423 ha, il se trouve à 110 km à l'Ouest de la ville d'Antananarivo et est situé entre 19°12' et de 21°10' de latitude Sud, et entre 49°30' et 49°70' de longitude Est. Il est délimité au Nord par la commune de Miarynarivo I, à l'Est par les communes de Soamahamania et de Mandiavato, à l'Ouest par la Commune d'Ampefy et au Sud par les Communes de Soavinandriana et d'Ampary (Cf. Figure 1: Carte de localisation du bassin versant du lac Itasy).

Les facteurs de production tels que les sols, l'eau et la végétation y sont disponibles et propices à l'installation humaine.

En fait, il fait vivre bon nombre de population et contribue à la fois au développement économique régional et national à travers différents secteurs de production, en particulier l'agriculture, l'élevage, la foresterie et la pêche (Cf. Annexe VII).

Au début, cette population ne s'intéressait qu'à l'exploitation des bas fonds et les bas de pente des "tanety" qui ne demandent pas de travaux d'aménagement trop astreignants car il suffit pour chaque famille d'avoir un lopin de terre pour vivre. Mais du fait de l'accroissement démographique, ces lopins, transmis de génération en génération, deviennent insuffisants pour satisfaire leurs besoins.

Les paysans se mettent alors à conquérir les "tanety", les versants des reliefs, les collines à pente moyenne et forte pour étendre leurs terrains de culture et de pâturage. Les pratiques et techniques d'exploitation adoptées sont par ailleurs traditionnelles et transgressent souvent la règle de l'art agricole.

Cette exploitation abusive rend le sol facilement érodible et érodable au fil des années. Ceci aurait pour conséquence, l'augmentation de la susceptibilité du sol au ruissellement et à l'érosion sous l'action de précipitations agressives, l'appauvrissement chimique du sol et la dégradation de ses propriétés physiques, le tarissement des rivières et l'envasement du lac Itasy ; bref, la chute de la production agricole, de la pêche et des forêts de la région.

Alors la vocation des sols une fois établie en fonction des classes et sous-classes existantes, on doit déterminer le degré de fertilité et les éventuelles réponses à telle ou telle fertilisation

biologique et / ou minérale tout en considérant les besoins des espèces végétales à cultiver ou à planter. Les techniques culturales de production, de conservation, de protection devront être vulgarisées et appliquées.

Mais tout l'arsenal technique agro-sylvo-pastoral va-t-il être accepté, respecté et suivi par les paysans du terroir ?

Quant aux techniciens encadreurs, auront-ils la capacité de persuasion vu que les paysans résistent presque toujours aux innovations ?

L'implantation d'un chantier pilote ou au moins des parcelles de démonstration est une alternative mais en fin de compte, c'est l'adhésion de la population à l'aménagement de son terroir que dépendra le succès. Dans cette optique, une partie du bassin versant du lac Itasy notamment le bassin versant de la rivière Makamo et le bassin versant de la rivière Andohariana a déjà fait l'objet de restauration et d'aménagement en 1990-1996 dans le cadre du projet pilote PNUD-F.A.O. MAG/88-032. Malgré le résultat palpable obtenu par certains paysans de ces bassins versants élémentaires, le phénomène de tache d'huile n'a pas d'impact significatif dans d'autres bassins versants avoisinants à cause de défaut d'encadrement technique et des mesures d'accompagnement tels que l'approvisionnement en semences de plantes agroforestières et la sécurisation foncière.

Un plan d'aménagement et de restauration de ce bassin versant est donc vivement souhaitable pour qu'il y ait vraiment une production rentable et soutenue.

1.1.2 Hypothèse de recherche

Dans cette étude, nous avons adopté comme hypothèse de recherche que si les différents types des sols sont connus avec leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, il est possible de faire une proposition d'aménagement approprié du bassin versant du lac Itasy rendant ainsi l'utilisation du sol non transgressive vis à vis des ressources naturelles. L'adoption et l'application de la méthode d'aménagement y afférent aide facilement les techniciens à vulgariser des règles appropriées d'exploitation des sols.

1.2 Objectif de la recherche

L'objectif de cette étude est de collecter toutes les données pédologiques (type de sol, degré de fertilité, état de l'érosion, aptitude et contrainte liées aux sols etc.) et d'établir en effet des cartes, à savoir : carte géologique, carte géomorphologique, carte pédologique, carte des pentes, d'érosions subies et de sensibilité du sol à l'érosion, carte d'occupation des sols, et carte d'aptitude des sols afin de définir les règles d'exploitation des sols du bassin versant du lac Itasy. Ces éléments accompagnés des données socio-économiques sont nécessaires en vue de la réalisation du document d'étude de faisabilité de restauration et d'aménagement du bassin versant du lac Itasy.

Ce document sera présenté aux différents partenaires techniques et financiers pour le développement afin de trouver un financement pour son exécution. Cette étude se veut aussi être

comme un document de référence en matière des techniques d'aménagement de bassin versant basées sur l'étude pédologique, même dans des régions à conditions écologiques différentes.

1.3 Discussion méthodologique

Les travaux débutent par la collecte des informations sur l'ensemble des ouvrages, des publications et des documents se rapportant aux études pédologiques et socio-économiques réalisées ailleurs ou dans la région où se trouve la zone d'étude. Toutes ces informations permettent de nous rafraîchir les idées et de nous renseigner sur la connaissance du milieu.

Par la suite, ils sont suivis par l'interprétation des documents existants (cartes géologiques, topographiques, de végétation et dans la mesure du possible photoaériennes ou images satellitaires) pour avoir une idée sur la répartition des sols. On s'adonne ensuite à une reconnaissance rapide suivie par des études prospectives détaillées.

1.3.1 Classification des sols

Pour une meilleure performance, les diverses méthodes de classification des sols, des valeurs des terres, des méthodes antiérosives, du dressement des cartes (cartes pédologiques, d'aptitude des sols, d'érosion) ont été combinées. La classification des sols associe donc la méthode américaine basée sur le profil actuel de diagnostic (Pedon) (Sol Taxonomy, USA, cité par DUCHAUFOR, 2001) et la méthode française fondée sur l'évolution du profil, l'altération des éléments minéraux, le type de la matière organique et l'hydromorphie promulguée par DUCHAUFOR en 1956 (DUCHAUFOR, 1965). Cette notion de profil caractérisé par une succession verticale d'horizons a servi de base à la plupart des classifications (DUCHAUFOR, 2001).

D'ailleurs, la classification récente adoptée par le Soil Taxonomy (USA) a un caractère mixte : effectif et génétique (DUCHAUFOR, 2001). Selon DUCHAUFOR en 2001, le caractère effectif du sol adopté par Schlichting en 1986, donne privilège aux propriétés fonctionnelles. Ces dernières forment de ce qu'on entend par les faits pédologiques (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955).

Par ailleurs, la plupart des classifications de sols récentes donnent la priorité au caractère des sols traduisant les processus évolutifs, plutôt qu'aux circonstances ou causes extérieures de l'évolution (DUCHAUFOR, 1965). Cette classification de sols a été reprise par BOURGEAT et AUBERT (1972) sur les sols ferrallitiques de Madagascar ainsi que par RANDRIAMBOAVONJY dans " l'étude des pédopaysages dans 4 zones tests de Madagascar" (1996).

D'HOORE J. dans les sols malgaches en 1964 et HERVIEU J. de l'ORSTOM dans la géographie des sols malgaches, volume n°1 en 1967 ont adopté également la classification de DUCHAUFOR sans parler des autres pédologues de nombreux pays. Taxonomiquement, la correspondance entre la classification française et la classification américaine est sensiblement la suivante :

A la française

A l'américaine

Classe.....	Ordre
Sous-classe.....	Sous-ordre
Groupe.....	Groupe
Sous-groupe.....	Famille
Famille.....	
.....	Série
Texture	Type
Pente, éléments grossiers, érosion.....	Phase (FOURNIER, MOULINER et

MOUREAUX, 1955 ; DUCHAUFOR, 2001)

La différence réside sur le fait que la classification américaine ne mentionne pas la roche mère. Le profil décrit se cantonne dans les horizons diagnostics principaux, l'un de surface, généralement humifère (épipedon), l'autre de profondeur, correspondant à un (B) d'altération ou un B illuvial. En plus des horizons diagnostics principaux peuvent exister des horizons diagnostics secondaires permettant de caractériser certains groupes particuliers (Calcique, par exemple) (DUCHAUFOR, 2001). Et dans la pratique, les unités systématiques reconnues sur terrain sont les Séries, les Types et les Phases (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955) et les Séries (DUCHAUFOR, 2001).

Il y a lieu de remarquer que le concept de famille de la classification française, basé sur les différences pétrographiques entre les roches mères, n'a pas son équivalent aux Etats-Unis. Celui de la classification américaine désigne un groupement de séries similaires ayant en commun quelques faits pédologiques importants. Toutes les séries d'une même famille doivent obligatoirement appartenir au même groupe (FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX, 1955). La série indique le nom de localité accompagné d'une indication concernant la texture (DUCHAUFOR, 2001).

En effet, la terminologie d'origine doit être retenue si c'est possible car elle est mieux comprise que les terminologies récentes plus connues dans leurs pays d'origine (Par exemple : sol ferrallitique, sol lessivé au lieu de ferrasol) (DUCHAUFOR, 2001). Il est à signaler toutefois que dans la plupart des classifications modernes A_0 a été remplacé par O, et A_e par E. Pour les horizons fondamentaux, on utilise toujours les trois lettres majuscules A, B et C (DUCHAUFOR, 2001).

Dans cette étude, ont été seulement désignés les horizons principaux pour être plus facilement compréhensible par les utilisateurs. La détermination des types de terres, telle qu'elle a été créée aux Etats-Unis, fournit les bases scientifiques sur lesquelles s'appuient, tout d'abord, la détermination de la valeur des terres, puis l'établissement d'un plan agricole d'exploitation. De ce fait, l'aptitude, les fertilités et les contraintes liées aux sols découlent de la connaissance des caractéristiques pédologiques.

En effet, les valeurs des terres obtenues sont le résultat d'interprétation de cette connaissance ainsi que la synthèse y afférente (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955).

En somme, les sols sont classés à partir de la combinaison des principaux profils de référence utilisés par J.HERVIEU en 1967 dans la géographie des sols malgaches et ceux adoptés par

P.DUCHAUFOR en 2001 (Cf. Annexe I). Et une bonne classification doit être applicable et doit traduire les aptitudes et les contraintes liées au sol (RANDRIAMBOAVONJY, 1995).

1.3.2 Classifications des terres selon leurs valeurs

Différentes classifications des terres selon leurs valeurs sont données ou proposées dans la littérature parmi lesquelles figurent :

- la classification de la F.A.O.,
- la classification de l'ORSTOM par RIQUIER,
- la classification américaine,
- la classification de FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX.

1.3.2.1 Classification de la FAO des terres selon l'aptitude

La FAO classe les terres, en deux grands ordres :

- les terres aptes pour une utilisation déterminée, désignés par le symbole S.
- les terres non aptes pour une utilisation déterminée, désignées par le symbole N (GIL N., 1986). Ces deux ordres sont divisés en classes, qui expriment le degré d'aptitude ou de non-aptitude des terres.

Les terres aptes sont divisées en trois classes à savoir :

- Classe S1 = Hautement aptes - sans limitations notables pour une utilisation donnée.
- Classe S2 = Moyennement aptes - avec des limitations modérées pour une utilisation donnée.
- Classe S3 = Marginalement aptes - avec de sérieuses limitations pour une utilisation donnée.

Les terres non aptes sont divisées en deux classes telles que :

- Classe N1 = Non apte dans les conditions actuelles - avec des limitations pour une utilisation donnée, qui peuvent cependant être surmontées par des pratiques adaptées, propres à convertir ces terres en terres d'aptitude "S"

- Classe N2 = Inaptes de façon permanente - avec de sérieuses limitations rendant impossibles d'en changer les conditions pour les faire passer en classe "S" pour une utilisation donnée.

Chaque classe peut être subdivisée en sous-classes et chaque type d'utilisation par des symboles représentant les raisons de leurs limitations. Si nécessaire est, les sous-classes peuvent également être subdivisées en unités. Chaque unité permet de résumer les caractéristiques de zones ayant les mêmes limitations et les mêmes pratiques correctives à mettre en œuvre. Pourtant toute subdivision supplémentaire aux sous-classes n'est pas nécessaire sauf dans des cas très particuliers.

Par ailleurs, la détermination des classes d'aptitude des terres nécessite les études suivantes : une prospection pédologique complète ou des recherches sur la texture et la structure des sols, leur profondeur, la pente, le drainage interne, l'érosion, la proportion de pierres, le pH, la salinité, la teneur en matière organique, le drainage externe, les disponibilités de l'eau d'irrigation, et surtout sur les conditions climatiques d'ensemble de la ou des zones agro-écologiques que l'on trouve dans le bassin versant.

De ce fait, les grands groupes d'utilisation des terres à considérer sont au nombre de quatre, et désignés par les symboles suivants :

- F : - sols forestiers,
- P : - terres prairiales et de parcours,
- H et B : - terres hautes et terres basses de cultures annuelles ou pérennes,
- W : - terres incultes et improductives.

Comme les trois premiers groupes sont aptes pour la production, ils sont classés en "S". Par contre, le quatrième étant un groupe de terres inaptés est classé en "N".

Il y a lieu de noter dans chaque unité cartographique l'utilisation actuelle des sols et ses classes d'aptitude. La classe d'aptitude et l'utilisation actuelle peuvent ne pas correspondre.

1.3.2.2 Classification générale des sols selon l'aptitude par RIQUIER en 1956 (RANDRIAMBOAVONJY, 2005)

Les sols sont divisés en groupes d'aptitude à savoir :

- les sols aptes pour la culture,
- les sols aptes pour la plantation arbustive,
- les sols aptes pour le pâturage,
- et les sols aptes pour le bois.

Pour ces quatre (04) groupes d'aptitude les sols sont divisés en 15 classes suivant leurs types et leurs caractéristiques propres à chaque classe. Cette dernière attribue un symbole de classification alfa numérique de I-a, I-b, I-c,....., à VII-b.

Le premier groupe d'aptitude répartit le sol en quatre (04) classes, le second groupe ne dispose qu'une classe tandis que le troisième et le quatrième groupe en possèdent deux chacun.

Les caractéristiques de classification désignent une qualification de sol et sa vocation. Les types de sol indiquent l'état ainsi que le degré de l'érosion, la pente du terrain, la fertilité du sol, la localisation suivant la toposéquence, et la classe ou la sous-classe du sol. Par ailleurs, certains types de sol nécessitent des travaux antiérosifs.

En général, la classification de RIQUIER est plutôt fondée sur certains éléments de l'unité fonctionnelle du sol (la toposéquence et la pente), l'état d'érosion et les travaux antiérosifs à adopter. L'avantage de cette classification donne une lecture générale de la classe de sol, sa vocation ainsi que les interventions ultérieures à apporter. C'est une classification plus pratique aux yeux des utilisateurs. Le détail de cette classification est donné en annexe III.

1.3.2.3 Classification américaine des terres selon leurs valeurs

Comme toute classification, la classification des terres selon leur valeur a de l'échelon, à savoir :

- le groupe des terres,
- la classe des terres,
- la sous-classe des terres,
- et l'unité d'aménagement.

Le groupe des terres est l'échelon supérieur, il se répartit en deux catégories : - le groupe des terres aptes à la culture et le groupe des terres impropres à la culture. Chaque groupe est divisé en classes selon le degré d'aptitude des terres.

La classe des terres est subdivisée en sous-classes. Chaque sous-classe désigne un groupe de types de terres présentant la même caractéristique limitant leur emploi. Les sous-classes peuvent elles-mêmes être subdivisées en " unité d'aménagement". Chaque unité d'aménagement est un groupe de types de Terres, dont les caractéristiques commandent l'emploi de mêmes pratiques ou méthodes culturales et/ou de conservation.

La détermination de la valeur des terres est tributaire de la connaissance des types de terres. En fait, avant toute classification des terres, la détermination de ces derniers est nécessaire.

La connaissance de la capacité de production du sol, de ses possibilités et limite d'utilisation ainsi que les pratiques et méthodes d'aménagement qui lui conviennent sont tributaires même de sa valeur. La classification y afférente résulte de la distinction des différents types de sols inventoriés. Les types de terres de même valeur sont groupés dans une même <<classe>>, et les terres sont classées en fonction de leur valeur. Elle est un groupement systématique de ces différents types de terres en fonction des propriétés qu'ils présentent, propriétés qui déterminent leur capacité d'emploi ou de production. Elle est le résumé et l'interprétation agronomique de faits pédologiques (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955).

En fait, cette distinction est basée sur les différences qui existent dans les caractéristiques du sol et celles du milieu auquel il est associé (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955). La valeur du sol ainsi obtenue est le fruit de l'examen des rapports des différentes caractéristiques et l'interprétation des résultats de l'étude.

Nombreuses sont les caractéristiques du sol, à savoir :

- les caractéristiques capitales,
- les caractéristiques associées,
- les caractéristiques additionnelles.

Pour mieux connaître les éléments de ces caractéristiques, elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau n°1 : Caractéristiques du sol

Caractéristiques capitales	Caractéristiques associées	Caractéristiques additionnelles
- l'épaisseur de sol utilisable pour la culture, - la texture de l'horizon supérieur, - la perméabilité des horizons inférieurs, - la perméabilité de la roche mère ou la zone de départ, - la nature de la roche mère - la teneur en matière organique	- pente topographique - état d'érosion subie - l'humidité du sol - salinité du sol - risques d'inondation	- l'épaisseur des horizons supérieurs du sol, - l'épaisseur des horizons inférieurs du sol, - la capacité de rétention, - réaction du sol, - drainage naturel du sol, - degré de fertilité,

Source : FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX, 1955

En fait, la classification des Terres créée par le Service de la Conservation du Sol des Etats-Unis, comprend huit classes (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955) :

- Classe I à IV : groupe des Terres aptes à la culture,
- Classe V à VIII : groupe des Terres impropres à la culture.

Il y a lieu de remarquer que cette classification est fondée sur le type des sols, l'unité fonctionnelle et la fertilité. En outre, elle écarte toute forme d'interprétation individuelle.

Le détail de cette classification est donné en annexe IV.

1.3.2.4 Classification selon FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX des terres selon leurs valeurs en 1955

C'est une classification qui n'est autre que la proposition de l'application de la classification américaine par ces trois auteurs suite à leur mission de 1950-1951 aux Etats-Unis et dans les Territoires français d'outre-mer. De ce fait, 11 classes de terres ont été déterminées en se basant sur :

- la valeur de la terre elle-même,
- la nature et l'importance des travaux de conservation ou de mise en valeur à effectuer (Cf. annexe V).

Il est tenu compte de chacun de ces deux facteurs pour classer une terre dans telle ou telle classe. Cette classification a pour principe qu'une terre de mêmes caractères fondamentaux peut être placée dans des classes différentes suivant la nature ou l'importance des travaux de conservation ou de mise en valeur à appliquer pour son utilisation rationnelle. Dans cette classification, il existe quatre séries de classes à savoir :

- les terres utilisables pour la culture regroupant les six premières classes;
- les terres utilisables pour le pâturage réunissant les classes VII et VIII;
- les terres utilisables pour la forêt : les classes IX et X;
- les terres à laisser sous végétation naturelle, sans exploitation : la classe XI.

Pour distinguer les terres qui sont groupées à l'intérieur de chaque classe suivant la nature et l'importance des travaux à accomplir pour une conservation ou une mise en valeur, une subdivision a été créée en utilisant les lettres alphabétiques a, b, c, etc. De cette manière, les travaux ci-après ont été pris en compte, à savoir : - a) Apport d'engrais et/ou d'amendements à dose d'entretien ou modérée

et/ou travaux d'assainissement ordinaires. - b) Apport d'engrais et/ou d'amendements de fonds, ou fréquente utilisation d'engrais verts ou de plantes de couverture. - c) Culture en bandes alternées. - d) Sous solage. - e) Terrasses à lit en pente. - f) Irrigation avec simple colature et quelques drains à faible profondeur. - g) Importants travaux de drainage ou d'assainissement. - h) Terrasses en banquettes. - i) Travaux conjugués d'irrigation et de drainage. - j) Réglementation stricte du pâturage. - k) Réglementation stricte de l'exploitation forestière. - l) Reboisement.

A chacun d'eux est attribué un symbole graphique noir qui sera apposé en superposition aux couleurs de classes de terres. Cartographiquement, les subdivisions d'une même classe seront déterminées par la présence, sur une même couleur, de symboles graphiques noirs différents. En outre, les couleurs suivantes sont proposées aux classes de terres :

CLASSE	COULEUR
Classe I	Marron
Classe II	Carmin
Classe III	Rouge
Classe IV	Orange
Classe V	Chamoise ou Ocre
Classe VI	Jaune
Classe VII	Bleu foncé
Classe VIII	Bleu clair
Classe IX	Vert foncé
Classe X	Vert clair
Classe XI	Violet

Source : FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX, 1955

1.3.2.5 Comparaison des quatre méthodes de classification des terres selon leurs valeurs

Chacun de ces quatre méthodes offre d'une part d'avantages ou d'atouts et d'inconvénients, et d'autre part, ils ont des points communs. Les éléments y afférents sont représentés dans le tableau ci-après.

Tableau n° 2 : Avantages ou Atouts, Inconvénients et Points communs des quatre méthodes de classification des terres selon leurs valeurs

Classification de :	Avantages ou atouts	Inconvénient	Points communs
FAO, 1956	- Présentation simple et claire des cartes d'utilisation - Lecture rapide	- Carte d'aptitude à légendes non exhaustives	- Etudes fondées sur les types de sols et leurs caractéristiques fonctionnelles
RIQUIER , 1956	- Classification plus terre à terre - Présentation simple et claire des cartes d'utilisation - Lecture rapide	- Carte d'aptitude ne relatant pas complètement les caractéristiques fonctionnelles des sols	" idem "
AMERICAINE (FOURNIER et al., 1955)	- Présentation simple et claire des cartes d'utilisation - Mise à l'écart de toutes formes d'interprétation personnelle - Lecture rapide	- Carte d'aptitude assez compliquée pour les utilisateurs non avertis	" idem "
FOURNIER et al 1955	- Classification et représentation cartes d'utilisation convenant particulièrement aux pays africains dits autrefois "outre-mer" - Présentation associée de carte d'utilisation et aptitude - Lecture rapide	- Carte d'aptitude assez compliquée pour les utilisateurs non avertis	" idem "

Dans le présent travail, la méthode de classification des terres selon leurs valeurs ainsi que la carte de classification établie ont été inspirées à la fois de la méthode américaine et celle présentée par FOURNIER et al. Ce choix a été dicté par les avantages et les points communs que ces méthodes présentent. Nombreuses sont les caractéristiques des terres mais il suffit pour nous de se limiter aux caractères ci-après pour la détermination de leur valeur :

- l'épaisseur de sol utilisable pour la culture,
- la texture de l'horizon supérieur,
- la pente topographique,
- l'érosion subie,
- la réaction du sol,
- la fertilité,
- la teneur en matière organique.

1.3.3 Valeurs caractéristiques du sol

A part les caractéristiques du sol citées plus haut, il existe aussi d'autres valeurs caractérisant un sol donné quelle que soit la classe où il appartient. Ces valeurs servent d'une part aux pédologues de faire la comparaison entre les différentes classes des sols d'une région à l'autre, d'une même localité et au sein d'une classe du sol elle-même, et d'autre part de fournir aux agronomes un élément de décision aux éventuels aménagements ultérieurs quant à l'apport de fertilisant ou correction du pH du sol (à l'aide de fumures de fond ou de redressement).

Selon DUCHAUFOR P. en 2001, ces valeurs caractéristiques permettent, pour un sol donné de caractériser l'état du complexe absorbant (la capacité d'échangé et la somme des bases échangeable) qui est relativement constant pour un sol en équilibre stable avec le milieu. Toutefois il existe certaines variations saisonnières qu'il faudrait tenir compte : cas du pH. De ce fait, trois valeurs sont définies pour caractériser un sol, à savoir : la capacité d'échange =T ou CEC (capacité d'échange de cations), la somme des <<bases>> échangeables(S), le taux de saturation en <<bases>> ($V=S/T\%$ ou S/CEC).

Les deux premières valeurs ont pour unité de mesure, les *milliéquivalents* (désigné par m.e.) exprimés pour 100g de matière sèche. Elles sont indépendantes du poids atomique des cations absorbés. Ce qui fait que leur rapport donne de valeur V%. Ainsi un sol est saturé lorsque le taux de saturation ne descend pas en dessous de 85-90%.

En somme, il existe ainsi des échelles de valeurs de taux de saturation définies par certains auteurs afin de pouvoir classer un sol. Elles varient selon les auteurs. De cette manière, il existe une correspondance de classification du taux de saturation pour guider les utilisateurs. Elle est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau n° 3 : Echelles de taux de saturation

Classes Taux de saturation (S/T%) selon les quatre auteurs			
Segalen	BOURGEAT P., 1972	Référentiel Pédologique	FAO
- S/T=40% : peu désaturés - Idem	- S/T>40% : faiblement désaturé avec réserve supérieure a 5 m.e - Idem	- S/T > ou = 95% : saturé (ou resaturé) - 80% < S/T < 95% : sub-saturé (ou resaturé) - 50% < S/T < 80% : méso-saturé	- Eutrique - idem - idem
-20% < S/T < 40% : moyennement désaturé	-20% < S/T < 40% : moyennement désaturé, avec réserve 10-20 m.e NB: S/T < 20% avec réserve important supérieur a 15-20 m.e peuvent être considérées moyennement désaturés.	- 20% < S/T < 50% : oligo-saturé	- Dystrique
-20% < : Fortement désaturé	- 20% < : fortement désaturé	- S/T < 20% : désaturé	- idem

Dans la présente étude, la classification selon les valeurs caractéristiques du sol adoptées par BOURGEAT et AUBERT en 1972 a été retenue. La raison de ce choix réside sur le fait que les propriétés des sols ferrallitiques de Madagascar ont été observées et étudiées par ces deux auteurs en 1972 et ce, à partir du fondement de la classification française elle-même (DUCHAUFOR, 1965)

1.3.4 Sensibilité du sol à l'érosion

La sensibilité du sol indique sa susceptibilité aux facteurs d'érosion hydrique et/ou éolienne. Elle dépend de plusieurs facteurs entre autres : Texture du sol, Structure du sol, Pente du terrain, Etat de couverture végétale, Climat et Matière organique. Leur rôle s'entremêle et les effets concomitants permettent d'apprécier le type d'érosion du sol étudié.

Dans la pratique, l'observation du sol au cours et après une pluie, suivie d'une lecture de profil (coupe de sol) permet d'avoir une idée générale sur la manifestation de l'érosion (Cours ronéotypé de D.R.S- Ecole Nationale Supérieure Agronomique de l'Université de Madagascar, 1965). Quant à la prévision de l'érosion, les variables des facteurs de l'érosion suivants sont à déterminer : l'érosivité des pluies (R), l'érodibilité des sols (K), l'indice topographique (SL), l'interaction couverture végétale (C) et techniques culturales (P), dont la formule empirique de perte en terre de Wischmeier formée de 5 équations est la suivante :

$$E = R * K * SL * C * P \text{ (ROOSE, 1994).}$$

En effet, pour classer les différents types d'érosion, nous avons trouvé deux méthodes de groupement, à savoir :

- groupement adopté par la F.A.O. en 1986
- et groupement de FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX, 1955.

1.3.4.1 Groupement selon la FAO

La F.A.O. recommande de classer les types d'érosion en trois groupes :

<u>Erosion hydrique</u>	<u>Classe</u>	<u>Description</u>
- Erosion légère	L	Erosion légère en nappe ou en rigoles.
- Erosion modérée	M	Enlèvement d'une grande partie du sol superficiel, début de ravinement.
- érosion forte	F	Tout le sol superficiel est enlevé, ainsi que tout ou partie du sous-sol: ravinement intense.

1.3.4.2 Groupement selon FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX

D'après le Service de la conservation des sols des Etats-Unis, l'état d'érosion d'un sol est un facteur important à une classification axée sur la capacité dudit sol. En fait, il permet d'estimer quantitativement les modifications survenues antérieurement tout en indiquant l'intensité d'érosion ayant existé, donc pouvant survenir également dans le futur.

Comme le phénomène d'érosion est complexe et multiforme, le but recherché a été tout de même atteint par l'examen des faits dont l'existence entraîne une notification possible de l'intensité de l'érosion subie par un sol. Ainsi la réunion des observations faites permet la création à posteriori de classes d'érosion significatives.

En cas d'érosion hydrique, les faits examinés sont :

- Le pourcentage du profil du sol ayant été érodé,
- La densité du réseau de ravins, s'il en existe,
- La profondeur des ravins,
- Les matériaux accumulés.

En effet, FOURNIER, MOULINIER et MOUREAUX en 1955 divisent l'érosion du sol en 5 classes, à savoir :

- érosion nulle ou légère
- érosion modérée
- érosion sévère
- érosion très sévère
- érosion extrêmement sévère.

En somme, ce groupement d'érosion a été adopté dans la présente étude.

1.3.5 Cartographie des sols

La conséquence de toute prospection, de toute classification pédologique est l'établissement d'une carte, qui est à la fois la traduction des études faites et un instrument de travail capital (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955).

Selon DUCHAUFOR en 2001 l'élaboration de cette carte nécessite une mise au point; celle-ci étant effectuée d'après les rapports de terrain. Cette mise au point exige le choix de l'unité représentée et le choix du mode de représentation.

Par ailleurs, l'étude pédologique permet de dégager l'unité typologique du sol d'une région ou d'une localité. De cette manière, les unités typologiques du sol au sein d'une unité cartographique du sol sont regroupées en fonction de la géomorphologie ; le choix des unités cartographiques est fonction de l'échelle et de l'objectif poursuivi. Ces unités se basent sur un système de classification ou un référentiel et ce, selon toujours l'objectif poursuivi et l'échelle adoptée, le système utilisé est soit <<génétique>>, soit <<effectif>>. Dans la mesure où les unités typologiques décrites lors des relevés sont bien individualisées, l'unité cartographique de sol (UCS) correspond à l'unité typologique de sol (UTS). Dans le cas où les unités typologiques ne pourraient pas faire l'objet d'une représentation séparée sur la carte, ils constituent alors de véritables mosaïques. De ce fait, les unités cartographiques de sol regroupant plusieurs unités typologiques sont choisies afin de représenter la carte.

En ce qui concerne l'échelle de la carte, le coût de l'impression entre toujours en jeu. Par conséquent, on essaie dans la mesure du possible de choisir la plus petite échelle, à condition toutefois que la carte soit bien lisible (BOULAIN, 1966).

Qui que ce soient les auteurs, BOULAIN J. en 1966, ou DUCHAUFOR P. dans "Introduction à la science du sol" en 2001, ou ceux de l'Encyclopédie Internationale des Sciences et Techniques en 1972 (LAROUSSE, 1973), pour ne citer qu'eux, affirment que le choix de l'échelle de la carte est fonction du travail demandé c'est-à-dire des unités cartographiées.

Enfin de compte, les cartes établies appartiennent à l'une des échelles suivantes :

- à petite échelle
- à échelle moyenne
- à grande échelle

dont la graduation par auteur est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau n° 4 : Graduation d'échelle cartographique.

Auteurs	Petite échelle	Echelle moyenne	Grande échelle
- LAROUSSE, 1973	De 1/1.000.000 à 1/200.000	De 1/100.000 à 1/50.000	De 1/20.000 à 1/5.000
- DUCHAUFOR P., 2001	De 1/1.000.000 à 1/250.000	De 1/100.000 à 1/50.000	De 1/25.000 à 1/5.000

En fait, d'après ces auteurs, les cartes à petite échelle ont un but scientifique et didactique destiné à montrer l'influence des facteurs naturels fondamentaux (climat et roche mère) sur la formation des sols (pédogenèse).

L'échelle moyenne vise à la détermination pratique des vocations et aptitudes des grands types de sols (culture, forêts, prairies), donc de définir les grandes orientations de la mise en valeur de la région. Mais, il est à noter qu'elle constitue également un instrument indispensable pour dégager les lois fondamentales de la répartition écologique de sols ainsi que la mise en place des unités cartographiques utilisées ayant une base génétique et des familles, ces dernières étant définies sur des données lithologiques et texturales (DUCHAUFOR, 2001).

Les cartes à grande échelle, sont utilisées dans le choix des techniques appropriées pour mettre en valeur chaque type de sol (protection et conservation des sols, amélioration des terrains de cultures et des sols forestiers dégradés, plant d'aménagement etc.).

De plus, les cartes à grande échelle sont également très employées dans la réalisation des études de mise en valeur de certaines régions en vue d'évaluer les aptitudes culturales des sols (Pédologie, Encyclopédie Internationale des Sciences et Techniques, Tome 8, 981 pages, page 754, 1972).

L'unité cartographique utilisée est alors la série (Etats-Unis) ou le profil cultural (Henin et al, 1970), qui prend en compte les caractères fonctionnels (DUCHAUFOR, 2001).

Ici, le dressement de carte choisie est celui des cartes à échelle moyenne (1/100.000 à 1/50.000) car on vise à la détermination pratique des vocations et aptitudes des grands types de sols (culture, forêts, prairies).

1.3.6 Représentation des légendes

D'après DUCHAUFOR en 2001, le mode de représentation doit être adapté au problème posé. D'ailleurs, il existe quatre modes de représentation, à savoir :

- représentation synthétique
- représentation analytique
- représentation mixte
- représentation des pédopaysages.

1.3.6.1 Représentation synthétique

Il s'agit d'une simple représentation qui consiste à représenter chaque unité cartographique du sol ou chaque unité typologique du sol par un seul signe distinctif : couleur ou trame. La carte ainsi obtenue est alors simple et peut être imprimée en noir et blanc.

1.3.6.2 Représentation analytique

Par opposition de la précédente méthode, elle vise à figurer sur la carte le code approprié, à toutes propriétés importantes du sol. Cette méthode a pour avantage de donner une interprétation rapide par les utilisateurs. Par contre, elle est souvent difficile à lire. D'un côté, elle donne privilège aux caractères fonctionnels, par rapport aux caractères génétiques du sol. En fait, cette représentation offre davantage un intérêt agronomique.

1.3.6.3 Représentation mixte

Il s'agit d'un mode de représentation qui consiste à combiner les deux méthodes sus citées. De cette manière, le type génétique est représenté par la couleur, le matériau d'origine (famille) par une trame en noir rompu (ou parfois par le mode d'impression de la couleur). C'est un mode de représentation adoptée par le Service d'étude des sols de France (INRA) pour l'établissement des cartes au 1/100 000.

1.3.6.4 Représentation des pédopaysages (Jamagne et King, 1991)

C'est un mode de représentation synthétique nouvelle pour l'établissement de la carte au 1/250 000, qui consiste à faire apparaître les <<petites régions naturelles>>, fondées sur les données de la géomorphologie, la pédologie, et la possibilité de mise en valeur. En fin de compte, cette méthode repose sur la mise œuvre d'un modèle d'organisation spatiale des sols caractéristiques des unités de paysage distinguées dans ce type de cartographie.

En somme, dans la présente étude, la représentation des légendes utilisées tient compte de l'objectif visé et se base sur les trois premiers modes de représentation suscités. Ainsi, l'élaboration des différentes cartes, entre autres : carte géologique, carte pédologique, et carte d'occupation des sols se base sur la représentation synthétique en utilisant la couleur ou le trame. Quant à la carte des pentes, d'érosions subies et de sensibilité du sol à l'érosion, la représentation utilisée se fonde sur le principe de la représentation analytique en combinant la couleur avec des lettres alphabétiques. Alors que, l'élaboration de la carte d'aptitude s'appuie sur la représentation mixte en associant la couleur, le trame, les lettres et les chiffres.

1.4 Méthodes

1.4.1 Préparation des travaux de terrain

Pour que l'opération de prospection aboutisse à son terme (caractérisation des sols), la préparation doit être bien conçue. Elle nous a conduit d'avoir un comportement et attitude bien ordonnés face aux objectifs visés.

Cette préparation commence tout d'abord à la collecte et à la compilation des documents de base reflétant la réalité de la zone d'étude à savoir :

- une carte de fond topographique à l'échelle de 1/100 000 ème, feuille N47 de Miarinarivo, Soavinandriana, éditée par le Foibe Taotsaritanin'i Madagasikara (FTM), portant les coordonnées et les limites du bassin versant étudié ;
- une carte géologique à l'échelle de 1/100 000 ème, feuille N47 de Miarinarivo, et M47, M48 de Soavinandriana, publiée par le Service Géologique de Madagascar (1963 et 1964)
- des photos aériennes à l'échelle de 1/40.000 ème (mission 1949) éditées par Foibe-Taotsaritanin'i Madagasikara (FTM)

Par la suite, des cartes de travail à l'échelle de 1/100.000 ème et 1/40.000 ème ainsi qu'une fiche de prospection pédologique pour la collecte des informations relatives à la pédologie et à l'occupation de sols ont été élaborées. De cette manière, les renseignements à fournir reposent sur les trois conditions essentielles suivantes :

- avoir comme objet une même catégorie de sol bien définie ;
- se renseigner sur les propriétés non éphémères ;
- être formulés avec précision et en terme non équivoques (**Direction Agriculture, Forêts et Elevage du Ministère des colonies à Bruxelles, 1954**).

Parallèlement à la conception de ces éléments de travail, les fournitures et les matériels de collecte suscités au paragraphe 1.5.1 ont aussi été identifiés et rassemblés. Enfin, cette préparation se termine à l'établissement du cadre temporel pour la reconnaissance et le diagnostic du milieu ainsi que les travaux d'analyses au laboratoire.

1.4.2 Reconnaissance de terrain

C'est une phase préliminaire qui précède le diagnostic du milieu au cours de laquelle, les autorités locales sont informées sur la nécessité et l'importance de l'étude pédologique pour le développement local. L'emplacement des profils pédologiques en fonction de l'écologie de la station (DUCHAUFOR, 1965) est identifié et coché sur la carte de travail.

De ce fait, elle permet d'avoir une idée précise sur le nombre d'échantillonnages à prélever pour l'étude physique sur terrain aussi bien que pour l'analyse physico-chimique au laboratoire, d'apporter d'éventuelles rectifications d'approche et de méthode de travail sur terrain. Pour éviter toute méfiance de la population, cette reconnaissance de terrain est effectuée en compagnie d'une personne ressource locale.

1.4.3 Enquête socio-économique

Selon GIL N. en 1986, les études de développement communautaire doivent être menées sur le terrain. Les données à noter peuvent varier selon les localités et les conditions climatiques. En conséquence, lorsqu'on établit les fiches concernant le développement communautaire, il faut procéder à des enquêtes très détaillées de façon à englober tous les aspects de la vie des communautés villageoises, et identifier les améliorations à apporter »

Comme nous avons déjà mentionné dans l'introduction, la présente étude va compléter les données socio-économiques et la tenure foncière pour une étude de faisabilité de restauration et aménagement du bassin versant du lac Itasy, aux fins d'une requête de financement auprès des partenaires techniques et financiers. Ainsi les enquêtes socio-économiques que nous avons faites se limitent uniquement sur les données essentielles (semi détaillées).

De ce fait, l'absence d'une méthodologie fixe à une étude telle que la nôtre nous a permis d'adopter une méthode qui permet de collecter les données nécessaires. De cette manière, nous avons opté une méthode mixte, qui consiste à associer l'interview et l'enquête à un individu ou à un groupe d'individus composé de quelques personnes.

C'est cette méthode qui vise à recueillir dans un bref délai les informations ou renseignements utiles à cette étude. L'enquête et l'interview touchent essentiellement les informateurs-clés, entre autres :

- responsables des services techniques de la région (Eaux et Forêts, Elevage, Agriculture, Pêche etc.) ;
- élus au niveau des communes touchées par l'étude (Maires, Conseillers etc.) ;
- personnes âgées ou doyens (Loholona) etc.

Le questionnaire base de l'interview et de l'enquête porte sur :

- le nombre de la population des communes concernées ;
- le nombre de hameaux ;
- le système de production et les techniques culturales ;
- les principales activités de la population ;
- les différents types de production : l'agriculture, l'élevage, la pêche et la foresterie ;
- les différentes activités économiques de la population ;
- les servitudes de passage ;
- les relations entre les activités économiques et l'utilisation de l'espace ;
- l'existence des feux de brousse : période, fréquence, type etc. ;
- les problèmes causés par les feux de brousse ;
- l'historique de la population ;
- l'utilisation de la forêt de "Tapia" ;
- l'outil de production ;
- l'érosion de sol

A cet effet, une fiche d'enquête a été élaborée pour collecter ces informations (Annexe VI). Les résultats des enquêtes socio-économiques, en complément des études techniques proprement dites, se trouvent en annexe VII.

1.4.4 Diagnostic du milieu

Il s'agit de procéder à une étude analytique durant laquelle on est entré en contact direct avec le milieu naturel pour avoir plus d'informations sur les sols, en particulier leur classification et répartition dans la zone d'étude. Pour y parvenir, les éléments suivants seront étudiés :

- les caractères généraux de la station
- la végétation
- la morphologie et la description du profil (DUCHAUFOR, 2001).

Les unités de sols seront délimitées en fonction de l'écologie de la station et vérifiées à l'aide de profils pédologiques dont l'emplacement de chacun se fait au milieu d'une unité de sol homogène suivant les segmentations fonctionnelles de toposéquence : sommet, milieu, piedmont et bas-fond (RANDRIAMBOAVONJY, 1996). Ainsi, le point de sondage doit être fait dans la rupture des pentes. Dans le même ordre d'idée, ces unités seront aussi vérifiées au prorata des couvertures naturelles voire même artificielles du terrain.

Au cours de cette étude analytique, les unités de sols ayant de morphologie, de topographie et de végétation semblables, non pas fait l'objet de description systématique de profils pédologiques. Elles sont toutes reconnues à l'aide de l'étude des unités représentatives et de la description de profils dont les échantillons de sols prélevés (profils types) sont analysés au laboratoire (DUCHAUFOR, 2001). Ce principe nous accorde un gain de temps considérable et un moindre coût financier très important pour la réalisation de la présente étude pédologique (**Direction Agriculture, Forêts et Elevage du Ministère des colonies à Bruxelles, 1954**).

En somme, les prospections de terrain nous renseignent un certain nombre d'observations qui aboutissent sur la distinction des unités de sols rencontrés. Ces observations reposent sur les facteurs pédogénétiques actuels, la végétation, les associations de sols et la description physique de profils pédologiques se rapportant à la texture, à la structure, à la couleur, à l'épaisseur des horizons, à l'humidité, à la consistance, à l'enracinement, aux éléments grossiers, aux minéraux primaires, à l'érosion etc.

1.4.5 Analyse au laboratoire

L'étude pédologique qui se fait uniquement à l'aide de prospection physique sur terrain n'est pas totalement précise et complète et nécessite donc un recoupement basé sur l'analyse physico-chimique au laboratoire. Cette phase de laboratoire apporte des apports d'éclaircissements sur les données recueillies (composition granulométrique, matière organique etc.) en plus de celles recueillies sur le terrain. Elle permet aussi de fournir d'informations complémentaires. Ces informations concernent uniquement certains éléments chimiques de sols que nous jugeons utiles pour la caractérisation de sols.

Cette analyse chimique consiste à déterminer la texture de sols basée sur les propriétés physiques, le type génétique et la base de fertilité (DUCHAUFOR, 1965). Les résultats ainsi obtenus seront compilés et interprétés simultanément avec ceux recueillis durant les prospections physiques de terrain pour en tirer des conclusions adéquates à la classification des sols, à la répartition des sols et à la proposition d'aménagement.

1.4.6 Traitement des données

1.4.6.1 Utilisation du Système d'Information Géographique (SIG)

a) Généralités

Quant on parle d'un système d'information géographique, il y a deux notions qui entrent en jeu : d'une part, l'information et d'autre part, la localisation géographique où se trouve cette information. C'est ainsi que l'information est définie comme étant un « ensemble de renseignements » ou « un événement porté à la connaissance d'un public » (Microsoft, 1997 ; in C.F.S.I.G.E, 2001).

D'après Da Vinci en 1996 (in C.F.S.I.G.E, 2001), le système d'information géographique (SIG ou GIS en anglais) est un ensemble organisé de matériels, de données géographiques, de personnel compétent et toutes procédures permettant la saisie, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et la visualisation des informations référencées spatialement grâce à la combinaison d'information cartographique et de base de données.

Le développement de la technologie implique la recherche d'informations qui correspond à la réalité de terrain avec plus de précision. Dans la présente étude, le système d'information géographique a été utilisé pour traduire les vérités sur terrains en données référentielles.

De cette manière, il sert comme un outil qui permet d'obtenir des résultats fiables et exploitables entre autres, la carte géologique, la carte d'occupation du sol, la carte pédologique la carte d'érosion et la carte d'aptitude de sol. Autrement dit, en tant qu'outil d'analyse, il permet d'identifier les relations spatiales entre les éléments d'une carte.

Ces données sont nécessaires car elles aident les utilisateurs en cas d'éventuelles utilisations dans leurs prises de décision pour conduire convenablement le type d'aménagement et de restauration du bassin versant du lac Itasy.

b) Données utilisées

Les données de bases qui ont été utilisées pour l'élaboration de ces cartes proviennent de multiples sources à savoir, celles énumérées dans le paragraphe 1.4.1 et les BD 100 et BD 500 produites par le FTM. La carte de fond topographique permet d'établir les cartes de travail et l'itinéraire des travaux sur terrain. Elle sert aussi de référence pour le calage des photos aériennes correspondantes.

Les BD 100 et BD 500 contiennent des données numériques reflétant certaines réalités du terrain telles que l'hydrologie, les courbes de niveau, les hameaux, les villages et la végétation. Après photointerprétation, les photos aériennes correspondantes décrivent des informations visuelles sur l'occupation du sol.

c) Technique de traitement et d'analyse

A la lumière de ce qui précède, les données collectées sont traitées et analysées à partir de l'utilisation séquentielle de :

- scanner
- logiciel Mapinfo. 6.0
- logiciel Word 98.

Le scanner sert à transcrire une image quelconque vers le logiciel Adobe Photoshop 6.0 pour être disponible au traitement et l'analyse de ces données après amélioration et retouche d'image par ce logiciel.

Quant au logiciel Mapinfo 6.0 doté du Vertical Mapper, il permet de créer et de personnaliser les cartes en modèle numérique du terrain (M.N.T) à trois dimensions. En d'autres termes il consiste à procéder au calage et à la numérisation des couches, des courbes de niveau etc. Les données ainsi traitées seront converties dans le logiciel Word 98 ou Word 2000 pour être compatibles à la saisie des autres informations et à la mise en page du présent mémoire.

De ce fait, les différentes étapes de traitement se font de la manière suivante :

- documentation,
- élaboration de carte de travail
- collecte des données relatives aux vérités terrains,
- transcription et finalisation de ces données sur la carte de travail,
- scannage de cartes ainsi formées,
- calage et numérisation sur le logiciel Mapinfo 6.0 et Vertical Mapper ;
- conversion des données numérisées vers le logiciel Word 98 ou Word 2000

A noter que les vérités terrains consistent à porter sur la carte de travail les informations collectées lors de prospection sur terrain.

1.4.6.2 Technique d'interprétation

Quelles que soient les démarches ou les méthodes adoptées pour l'étude pédologique, tous les résultats obtenus après l'étude de terrain ainsi que ceux du laboratoire doivent être suivis d'interprétation. De cette manière, chaque résultat a sa propre technique d'interprétation.

Dans cette étude, nous allons voir d'une part la technique d'interprétation de l'étude morphologique et d'autre part la technique d'interprétation de l'étude de sols au laboratoire.

a) Technique d'interprétation morphologique

La technique d'interprétation de l'étude morphologique a été faite sur l'observation des parois de fosse pédologique ayant une dimension de 1m³ et de l'examen détaillé des horizons. Dans cette optique, les talus décapés naturellement ou artificiellement ont été aussi observés pour comparaison et confirmation des résultats obtenus

- **Observation des parois**

Il s'agit d'observer le détachement des différents éléments par la pointe d'un couteau vitré et de voir le mode de débit des mottes de terre

- **Examen détaillé des horizons**

Il consiste à distinguer les différents éléments suivants :

- la couleur : elle est déterminée par le code Munsell
- la texture : elle est obtenue par des tests sur terrain ; observation directe à l'œil nu et manipulation au toucher. Avec le toucher le sable est rugueux, le limon est doux et se casse facilement après déformation des bâtonnets fabriqués, et l'argile est connue par son caractère pâteux, collant et flexible après déformation des bâtonnets

Ce test a l'avantage d'être très rapide sur la détermination de la texture. Par contre, il est moins précis que l'analyse granulométrique (RANDRIAMBOAVONJY, 1995).

- la structure : Elle est reconnaissable par l'observation à l'œil nu et au toucher. Ainsi elle se présente sous deux formes, à savoir : structure grumeleuse, structure motteuse, structure granulaire, structure polyédrique, structure prismatique, structure colonnaire, structure lamellaire, structure particulière et structure massive (fondue ou continue) (FAO, 1956) (Cf. Annexe VIII).
- l'humidité : elle est déterminée par l'observation à l'œil nu et au toucher.
- la consistance : elle est caractérisée par la résistance des agrégats sous la compression entre le pouce et l'index ou dans la pomme de la main à l'état sec et humide.
- l'enracinement : il est aussi observé à l'œil nu et reconnu par la forme du cheminement des racines dans le sol (racines pivotantes, traçantes et fasciculées)
- les éléments grossiers : il est caractérisé par la présence des gravillons de taille et de forme différentes aussi bien en surface qu'en profondeur de sols.
- la matière organique : la connaissance de la matière organique se fait par l'observation de la présence de débris ou de résidus végétaux enfouis dans le sol.
- les activités biologiques.

b) Technique d'interprétation au laboratoire

Dans cette étude, les analyses de sols sont divisées en trois catégories entre autres, la détermination du type textural, basé sur la propriété physique ; la détermination du type génétique, basé sur le type d'humus et la détermination de l'état du complexe absorbant et certaines propriétés

chimiques. L'ensemble de ces analyses est destiné à la connaissance de la fertilité des sols étudiés d'après les dosages des éléments nutritifs assimilables par les plantes (DUCHAUFOR, 1965).

- **Détermination de texture**

Par définition, la texture est l'ensemble de la composition granulométrique du sol. Elle est constituée par le degré ou plus précisément par les pourcentages respectifs de limon, d'argile et de sable dans le sol.

La teneur de ces éléments constituant la texture s'obtient à partir de l'analyse granulométrique. La méthode d'analyse adoptée est la méthode internationale modifiée par l'emploi de pipette de Robinson.

En effet la composition granulométrique des sols est connue par l'élimination complète de la matière organique, la dispersion, le prélèvement à la pipette de Robinson des limons et de l'argile (limons+argile(<50 μ m), limons fins+argile(<20 μ m) et argile) et le tamisage des fractions sableuses. Les résultats ainsi obtenus sont interprétés à l'aide de diagramme de texture.

Ainsi la détermination texturale des sols a fait l'objet de divers diagrammes aboutissant à des schémas différents. Et nous avons opté pour le diagramme à 3 dimensions de texture (triangle équilatéral dont les 3 côtés correspondent respectivement au sable, limon, argile) présenté par P.DUCHAUFOR en 1965 (Cf. Annexe IX).

Il est bon de noter qu'en 1955, FOURNIER H., MOULINIER M., et MOUREAUX Cl. ont déjà présenté un diagramme textural à 12 classes dénommé "Triangle de texture" formulé par ABLEITER J.K. (Cf. Annexe IX).

De plus, P.DUCHAUFOR a présenté un diagramme à 2 dimensions axées respectivement sur l'argile et le sable ou sur l'argile et le limon, le 3^e constituant étant obtenu par la différence avec 100 (Cf. Annexe IX).

Nous avons adopté la représentation de P.DUCHAUFOR (Diagramme à 3 dimensions), non seulement par habitude de travail mais également et surtout pour avoir plus de précision sur les résultats attendus.

- **Détermination du pH**

Le pH est un nombre de mesure indiquant le degré d'acidité ou de basicité d'une solution. Du point de vue pédologique, on peut le définir comme la concentration en ions H⁺ des solutions du sol. Le pH varie de 0 à 14, la neutralité étant 7.

Pour le dosage du pH, on a utilisé un pH-mètre qui est un appareil électrométrique à lecture directe, que ce soit pour le pH eau ou le pH KCl.

- **Détermination de l'alumine échangeable et de l'hydrogène échangeable**

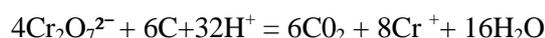
Pour le dosage de l'aluminium échangeable, on a utilisé la méthode titrimétrique de Yuan. Le principe réside sur le déplacement par percolation sur une fraction aliquote du percolât et doser par titrimétrie Al³⁺ H⁺. Ensuite, sur une autre fraction aliquote, on dose H⁺ seul, après avoir complexé Al³⁺

La différence entre le premier dosage et le second correspond à Al échangeable. On obtient ainsi la teneur en aluminium échangeable et celle de l'hydrogène échangeable

- **Détermination du carbone organique et de la matière organique**

La matière organique du sol provient des débris de végétaux de toute nature (feuilles, rameaux morts etc.). Une fois arrivée au sol ces débris sont plus ou moins facilement décomposés par l'activité biologique (WOLLNY, 1902).

En fait, la teneur en matière organique et du carbone organique du sol est connue à partir de l'utilisation de la méthode WALKEY et BLACK. Et les résultats ainsi obtenus seront interprétés à partir de l'échelle de valeur d'appréciation adoptée par ILACE en 1981 organique C/N Landon. Comme principe, la matière organique est oxydée à froid par une solution sulfurique de bichromate de potassium et l'excès de bichromate est dosé par le sel de Mohr. La réaction d'oxydation peut s'écrire de la manière suivante :



A froid, l'oxydation est incomplète. Il s'est avéré que 77% seulement du carbone est oxydé, d'où l'expression des résultats ;

- 10 ml de bichromate correspond à $30 \times 100/77$ soit 39 ml

Soit C‰ le poids de carbone en g pour 1000 g de terre, donc $C\% = (V_a - V_s) \times 39/V_a \times 1/p$ avec p étant la prise d'essai en grammes, V_a le volume de sel de Mohr 0,5N en ml pour le témoin et V_s le volume de sel de Mohr 0,5N en ml pour l'échantillon.

Et la teneur en matière organique sera obtenue en multipliant la valeur de C‰ calculée par 1,723», d'où $MO\% = 1,723 C\%$.

- **Détermination de l'état du complexe absorbant et certaines propriétés chimiques**

Quels sont les intérêts de la détermination de ce complexe absorbant? D'après DUCHAUFOR P. en 2001 l'ensemble des ions H^+ et Al^{3+} augmente l'acidité du sol et entraîne une diminution de l'activité biologique globale, surtout des horizons humifères. De plus, l'ion Al^{3+} exerce une action directe toxique sur le développement racinaire des plantes neutrophiles. Par conséquent, lorsqu'on apporte des amendements organiques dans les sols acides, la toxicité alumine se trouve considérablement diminuée par complexation (interaction des substances biologiques et des éléments minéraux)

Par ailleurs, la capacité d'échange du sol varie avec le pH ; ainsi, par exemple, lorsqu'on apporte un amendement calcaire à un sol acide, à mesure que le pH monte, le sol devient capable d'absorber de nouvelles quantités de calcium. De ce fait, les agronomes utilisent cette propriété en mesurant la capacité d'échange potentielle à pH_7 (utilisation de solutions tamponnées), pour pouvoir déterminer la quantité de chaux à apporter pour amener le pH du sol à la neutralité.

Par contre, si on veut définir l'état actuel du complexe absorbant, on mesure la valeur de la capacité d'échange effective (CECE) à partir de solutions non tamponnées. Les valeurs de la capacité d'échange effective ainsi obtenues sont nettement inférieures pour les sols acides (souvent, de moitié).

L'état du CECE s'exprime alors par l'équation : $CECE = S+H+Al$.

- **Détermination des bases échangeables**

Les bases échangeables ou en d'autres termes les cations échangeables essentiels sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K) et le sodium (Na). Ces quatre cations jouent un rôle essentiel dans la nutrition minérale des plantes. La forme échangeable de ces cations en équilibre avec la forme soluble constitue la forme immédiatement assimilable par les plantes (Philippe DUCHAUFOR, 1956). Elles sont obtenues en principe par la mise en contact de l'échantillon de sol avec une solution molaire et neutre d'acétate d'ammonium (NH₄) à pH₇. Par la suite la percolation est de mise. Dans ces conditions, l'équilibre SolX + (AB) solution = SolA = (XB) solution est déplacé vers la droite et les cations échangeables du sol passent en solution. Cette dernière est dosée par complexométrie pour l'extraction du Ca et par spectrophotométrie pour l'obtention de K, de Mg et de Na. Les résultats ainsi obtenus sont interprétés à partir de la norme d'interprétation de COTTENTE en 1980.

- **Détermination de la somme des bases échangeables(S)**

La somme des bases échangeables (S) représente la quantité totale des ions dits <<basiques>> (on dit couramment <<bases échangeables, bien que ce terme soit, en fait, impropre) actuellement retenus c'est-à-dire : Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (l'ion (NH₄)⁺ peut être présent aussi, mais étant très minoritaire, il n'est pas pris en compte) (DUCHAUFOR, 2001). D'où S = Ca+Mg+K+Na en m. e.

- **Détermination de la capacité d'échange (T ou CEC = capacité d'échange de cations)**

Par définition la capacité d'échange T ou CEC est la quantité maximale de cations qu'un sol peut absorber (pour 100g de matière sèche) (DUCHAUFOR, 2001). De ce fait, il est obtenu par la somme des bases échangeables et de l'acidité échangeable (T = S + (A.E) en m.e.). L'A.E s'appelle l'acidité d'échange, elle est obtenue par la formule suivante : A.E = Al³⁺ + H⁺

Les résultats obtenus sont interprétés à partir de l'échelle de valeur d'appréciation adoptée par COTTENTE EN 1980

- **Détermination de taux de saturation en <<base>>(V ou S/T% = S/CEC%)**

D'après P.DUCHAUFOR en 2001 le taux de saturation en <<base>> du complexe absorbant (ensemble des<<colloïdes>> = composés humiques et argiles, dotés de charges négatives susceptibles de retenir les cations sous forme dite échangeable, c'est à dire pouvant être remplacés par d'autres cations précises) est le rapport S x 100/T.

De ce fait, un sol est dit saturé lorsque S = T, donc S/T = 100%. Ainsi aucun ion acide n'est présent. Dans le cas pratique un sol se comporte en sol saturé lorsque le taux de saturation ne diminue pas en dessous de 85%.

- **Détermination de l'Azote total selon Landon en 1984**

L'azote total est obtenu à l'aide de la méthode de Mikrokjeldhal. Il s'agit de faire le dosage en deux temps. Dans un premier temps, on procède à la transformation de l'azote organique en azote minéral : c'est la minéralisation. Dans un deuxième temps, on déplace l'ammoniac (NH₃) de son sel. On est ramené au dosage de l'ammoniac dans un sel d'ammonium (NH₄) en procédant par distillation.

Les données ainsi obtenues sont interprétées à l'aide de la norme d'interprétation adoptée par Landon en 1984.

- **Détermination du Phosphore assimilable**

Il est obtenu et interprété par la méthode et norme d'interprétation adoptées par Truog. Cette méthode consiste à faire déplacer ou d'extraire dans un échantillon de 10g du sol, les éléments assimilables P du sol par une solution de H₂SO₄ 0,2N. Par la suite, on procède le dosage par colorimétrie (660 μ).

Les valeurs de P ainsi obtenus sont interprétées par la norme d'interprétation de Landon en 1986.

1.4.7 Méthode d'élaboration des cartes

1.4.7.1 Carte pédologique

La carte pédologique est élaborée de la manière suivante : on porte et on coche sur la carte de travail établie à l'aide de la carte de fond topographique citée au paragraphe 1.4.1 les itinéraires pédologiques et les résultats de la description morphologique des sols durant le diagnostic du milieu.

Les lieux où se trouvent les fosses pédologiques y sont pointés avec des différents codes. Les fosses, objets de description et prélèvement pour l'analyse au laboratoire sont numérotés au verso de cette carte de travail par des nombres impairs ou pairs entourés chacun d'un cercle fait en crayon ou stylo à bille. Et les fosses qui font uniquement l'objet de description sont codées par des nombres pairs ou impairs, toujours entourés chacun d'un cercle dessiné à l'aide d'un crayon ou stylo à bille.

A titre d'exemple, les chiffres 1 et 1' indiquent un même type de sols de même couleur (légende) sur la carte de travail. Ainsi, les différents types de sols identifiés ou inventoriés d'une manière systématique sont tous codés en différentes couleurs et reportés sur cette carte et ce, au profit des sols dominants.

En effet, nous avons obtenu une carte pédologique provisoire manuelle (faite à main levée). Par la suite, la carte pédologique définitive géoréférenciée sera obtenue à partir du traitement et analyse de cette carte manuelle à l'aide de l'application des procédés stipulés dans le paragraphe 1.4.6.1.

1.4.7.2 Carte d'occupation des sols

Dans l'aménagement, l'utilisation de la photo interprétation constitue un élément très important. Elle sert à élaborer une carte d'occupation de sols à partir d'interprétation des photos aériennes.

Il consiste dans un premier temps d'acquérir des cartes de fond topographique à 1/100 000 ème et des photos aériennes à 1/40 000 ème de la zone d'étude. Les cartes de fond topographique sont élaborées et agrandies à l'échelle de 1/40 000 ème. Elles sont corrigées à partir de la photo interprétation de ces photos aériennes.

Par la suite, c'est à dire, dans un deuxième temps, on procède à l'interprétation des photos aériennes à l'échelle de 1/40 000 ème, à l'aide de stéréoscope à miroir pour avoir le dessin de l'occupation de sols correspondant à la date de prise de vue sur feuille transparente. Au moment où l'on fait l'interprétation, on procède au recouplement de terrain avec les photos aériennes pour vérifier les vérités terrain.

Pour ce faire, nous avons sillonné de long en large la zone d'étude pour bien identifier ces réalités. Ainsi, tous les éventuels changements relevés sont portés sur les feuilles transparentes. Cette action sera suivie dans un troisième temps d'un travail de bureau pour transposer les corrections prises sur des feuilles transparentes sur le fond de carte sus corrigé.

En effet, ce procédé aboutira à la cartographie d'une carte d'occupation des sols à main levée. Mais pour avoir une carte d'occupation de sols geo-referenciée, on procédera dans un quatrième temps au traitement de données consigné dans le paragraphe 1.4.6.1.

1.4.7.3 Carte d'érosion subie et de sensibilité des sols à l'érosion

La carte de sensibilité d'érosion représente le type d'érosion qui pourrait survenir sur terrain. Sa méthode d'élaboration consiste à décrire et à cocher sur la carte de travail les différents types d'érosion qui se manifestent sur le terrain lors de la prospection pédologique.

Les différents types d'érosions définies sont représentés comme suit :

- au numérateur : l'érosion subie
- au dénominateur : l'érosion à risque

Enfin de compte, l'existence ou non de l'érosion à risque dépend de l'érosion subie et des interventions anthropiques apportées.

1.4.7.4 Carte d'aptitude des sols

La carte d'aptitude des sols est la synthèse des cartes thématiques obtenue généralement par informatique. Comme toute étude pédologique, la classification de type de sols, et la caractérisation de ceux-ci en fonction de leur valeur débouchent à la cartographie d'une carte d'utilisation de sols. Cette dernière permet aux utilisateurs de se conformer aux règles des activités rationnelles d'exploitation de sols.

Afin de pouvoir donner plus d'informations à ce sujet, il s'avère nécessaire de porter sur cette carte les éléments qui suivent :

- les types de sols inventoriés,
- la profondeur de l'horizon supérieur,
- la profondeur utilisable pour la culture,
- le degré de fertilité correspondant aux végétaux qui poussent sur le sol,
- la pente topographique,
- l'érosion subie,
- et la sensibilité à l'érosion.

De ce fait, les différentes classes de terres suivant leur valeur ainsi que leur degré d'aménagement sont configurés sur cette carte d'aptitude sous forme de trames de couleurs différentes. Pour représenter ces classes de terres, on utilise des chiffres et des lettres sous forme de fraction. De cette manière, le type de sol, l'épaisseur de sol utilisable pour la culture et la roche mère sont placés au numérateur tandis que l'érosion subie, la sensibilité des sols à l'érosion et la pente topographique se trouvent au dénominateur.

En effet, les symboles utilisés sont les suivants :

a) **les types de sols :**

sol d'apports alluviaux et colluviaux X1 63

sols ferrallitiques typiques modaux VII31 1

sol à profil peu différencié correspondant au sol ferrallitique humifère : sols bruns eutrophes VIII31 3

sol ferrallitique typique tronqué X51 1

sol ferrallitique typique rajeuni VIII30 3

sol hydromorphe à gley et/ou à pseudo-gley IX 41 0

b) **la profondeur utilisable pour la culture**

0 à 0,25m P1

0,25 à 0,50m P2

0,50 à 1m P3

1 à 2 m P4

plus de 2m P5

c) **la profondeur de l'horizon supérieur**

0,10 à 0,15m a1

0,15 à 0,30m a2

0,30 à 0,45m a3

0,45 à 0,90m a4

d) **la pente topographique**

0 à 5% A

5 à 10 % B

10 à 15% C

15 à 20% D

20 à 25 % E

25 à 30% F

plus de 30% G

e) **l'érosion subie**

• **érosion en nappe**

0 à 25% De l'horizon humifère supérieur enlevé

b1

25.à 75%	De l'horizon humifère supérieur enlevé	b2
•	érosion en rigoles	
0 à 25%	De l'horizon humifère supérieur atteint	c1
25 à 75%	De l'horizon humifère supérieur atteint	c2
•	érosion en "lavaka"	
	Horizon de départ atteint	d6
	Roche mère atteinte	d7
•	érosion en ravinement	
	Horizon de départ atteint	e1
	Roche mère atteinte	e2
f)	<u>familles de sols</u>	
	En provenance de roche éruptive ou métamorphique :	
	Acides à grains grossiers	A
	Acides à grains fins	B
	Neutre à grains grossiers	C
	Basiques à grains grossiers	E
	Basiques à grains fins	F
	Roches sédimentaires acides	G

1.5 Matériels

1.5.1 Matériels de terrain

Ce sont des matériels qui servent à collecter les données sur terrain. Ils sont divisés en deux catégories :

- le matériel roulant
- et les matériels techniques

Le matériel roulant, que nous avons utilisé est un véhicule tout terrain (moto 125 cc marque Honda XL). Quant aux matériels techniques, ils comprennent :

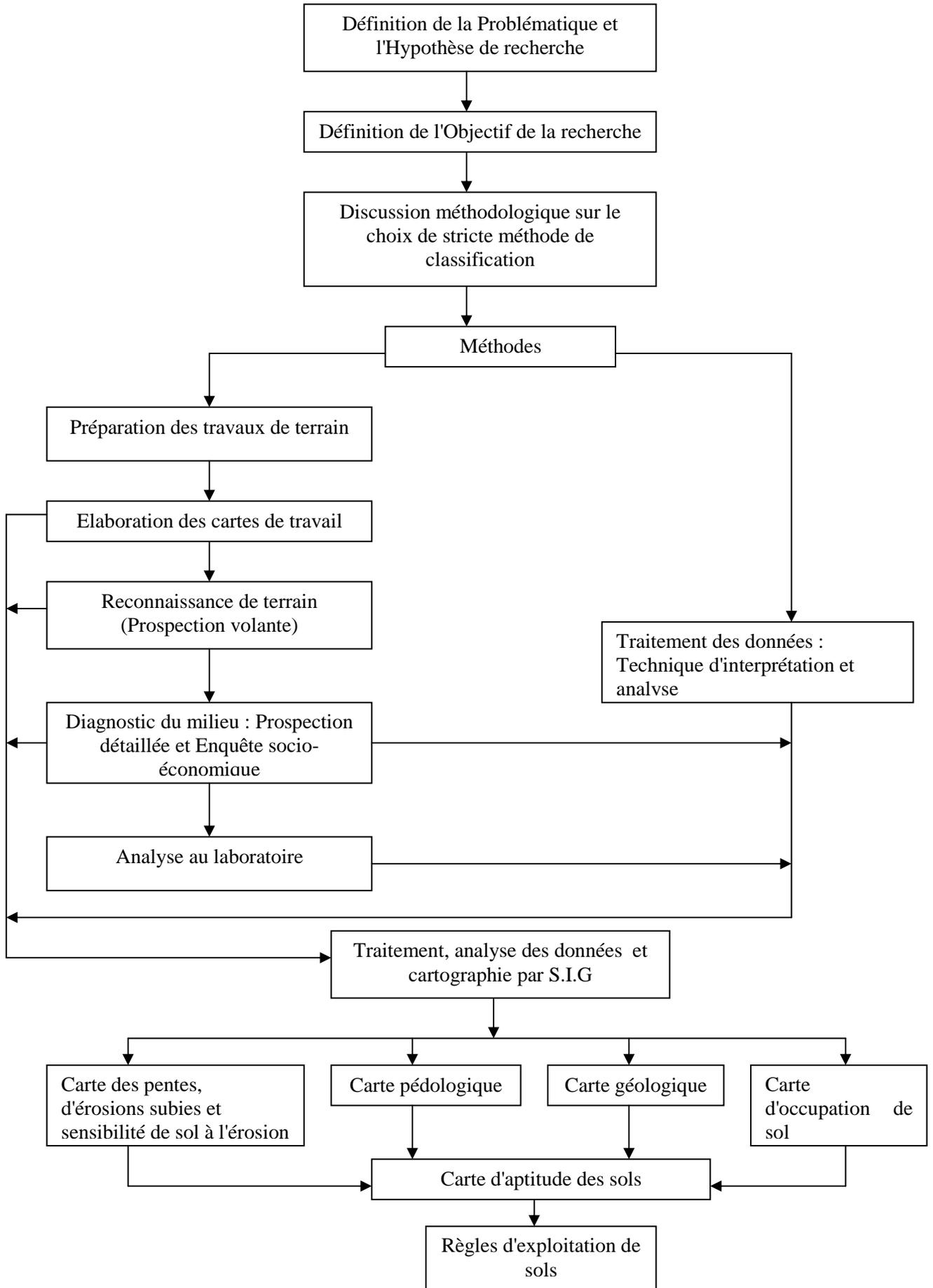
- une bêche,
- un mètre ruban métallique de 2m,
- un sac de 50 kg fait en raphia,
- un couteau vitré,
- un sécateur,
- un flacon pulvérisateur de 1 litre,
- des petits sacs plastiques pour transporter les échantillons prélevés, destinés à l'analyse au laboratoire,
- une boussole,
- des fiches de prospection pédologique,

- un code Munsell,
- un stéréoscope à miroir,
- un pantographe et un curvimètre.

1.5.2 Matériels de laboratoire

Afin de pouvoir déterminer les propriétés physico-chimiques de sols, nous avons utilisé deux types de matériels : les matériels techniques proprement dits (outils) et les produits chimiques. Les outils techniques utilisés appartiennent au laboratoire de la Direction des Eaux et Forêts à Ambatobe. Quant aux produits chimiques, ils ont été achetés auprès des organismes et sociétés commerciales agréées par l'Etat. Les produits chimiques utilisés sont donnés en annexe X.

1.6 Schéma méthodologique



1.7 Contraintes, limites et avantages de la méthodologie

1.7.1 Contraintes

Bien entendu que la méthodologie que nous avons adoptée est une méthodologie parmi tant d'autres. Elle demande des moyens nécessaires, entre autres : moyen matériel, moyen humain et moyen financier.

A ce titre, le traitement et l'analyse des données pour parvenir aux résultats escomptés réclament :

- un travail d'équipe pluridisciplinaire interdépendante (laborantin, informaticien, cartographe etc.) ;
- des matériels adéquats ;
- l'utilisation des systèmes d'information géographique ;
- et des moyens financiers coûteux. Faute de l'une de ces ressources, voire l'absence d'un élément constituant une de ces ressources, la présente étude ne pourrait pas être parvenue à son terme.

1.7.2 Limites

Bien qu'on ait essayé d'être précis dans l'analyse de modelé (forme de relief) pour la mise en place des fosses pédologiques, il risquerait de ne pas atteindre la représentativité complète vu d'ailleurs la grande variété de sols d'une étendue à l'autre. Faisant suite à cette remarque, l'échelle utilisée est loin d'être satisfaisante à une étude telle que la nôtre dans l'optique d'avoir une étude fine et détaillée.

Par ailleurs, les matériels de laboratoire d'analyse de sols sembleraient presque dépassés par le contexte de la modernisation actuelle, même s'ils donnent toujours de résultats satisfaisants. Ainsi le traitement et l'analyse des données se font un à un et demandent beaucoup de temps.

En effet, la méthodologie applicable est toujours en rapport avec les ressources disponibles à savoir : en matériels, humaines et financières.

1.7.3 Avantages

La méthodologie que nous avons adoptée consiste à répondre à l'analyse de la problématique et à vérifier l'hypothèse de recherche. Elle permet donc d'étudier et de traiter l'exploitation et l'analyse des résultats pour aboutir à l'objectif visé.

Quant au système d'information géographique (SIG), il y a lieu de mentionner que son utilisation permet de procéder au traitement des données numériques d'une manière rapide et précise, et de corriger facilement toute éventuelle erreur due au travail manuel. En outre, d'après la communication de F. LE LANDAIS et G. FABRE dans MJCOMERO.DOC en 1995, le SIG permet d'élaborer des cartes thématiques (sol, érosion, pente, vocation de sol etc.), de faire le croisement de celles-ci et de mieux approcher la logique d'organisation de l'espace au niveau d'un terroir. L'intérêt de ces croisements justifie donc le recours à un SIG même si la gestion d'un tel outil est une grosse entreprise (RAZAFINDRAKOTO, 2004).

En fait, les résultats ainsi obtenus sont d'ordre thématique et géoréférenciel qui vont refléter les vérités terrains (occupation de sol, type de sol, valeur de terres, érosion et aptitudes).

En somme, cette méthodologie proposée conduit à la réalisation de la présente étude.

1.8 Conclusion partielle

La méthodologie que nous avons adoptée tient compte des éléments suivants :

- la bibliographie et la documentation
- la définition des matériels utilisés
- la préparation des travaux sur terrain
- la reconnaissance et le diagnostic du milieu
- l'analyse au laboratoire
- le traitement et l'exploitation des données

Les vérités sur terrain sont traduites en données thématiques géoréférencielles à l'aide de l'utilisation du SIG doté de logiciels : Mapinfo 6.0 et Word 98. L'application de la méthodologie telle que la nôtre requiert les conseils de plusieurs spécialistes (pédologue, informaticien, cartographe, laborantin, etc.), l'emploi de matériels informatiques dotés de logiciel performant et la mise en œuvre de moyens financiers très suffisants.

DEUXIEME PARTIE : RESULTATS, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DE LA CARACTERISATION DES SOLS DU BASSIN VERSANT DU LAC ITASY

2.1 Milieu Naturel conditionnant la formation des sols

2.1.1 Climat

La région de Miarinarivo où se trouve le bassin versant du lac Itasy appartient au régime climatique tropical d'altitude subhumide supérieur à 900 m. Il est caractérisé d'une part par une température moyenne annuelle de 19°C, et d'autre part par deux saisons bien distinctes, une saison sèche et une saison pluvieuse.

Cette région reçoit une précipitation annuelle de 1.471 mm pendant 111,5 jours, avec des précipitations maximales aux mois de décembre (319,5 mm) et de janvier (325,2 mm). La température maximale moyenne est de 25,9°C, la minimale est de 12,3°C. L'amplitude thermique est de l'ordre de 13,7°C.

La saison des pluies s'étend de novembre à mars et elle tombe 84 jours de pluie avec une précipitation moyenne de 1.293 mm. Le bilan hydrique montre que durant ces 5 mois de pluie, de décembre à mars, le sol est saturé d'eau avec 736,7 mm de ruissellement et de drainage.

La saison sèche dure sept mois, d'avril à octobre. Elle enregistre une température minimale de l'ordre de 8,2 °C et une température maximale de 27,9°C. Cette période accuse un déficit en eau de 138,9 mm.

Pendant toute l'année, la région présente une évapotranspiration réelle de 734,6 mm (Cf. Annexes XI, XII, XIII, XIV et XV).

2.1.2 Géologie

L'ensemble du bassin versant du lac Itasy repose sur le socle ancien cristallin mais les substrata primitifs dérivés de ce socle sur le versant Ouest et Est correspondent à deux faciès différents. D'une part, le versant Ouest est composé de : la série gneissico-migmatitique, la roche volcanique pléistocène, la roche volcanique prépléistocène, de formation superficielle. D'autre part, le versant Est est composé surtout de granites migmatitiques et migmatites granitoïdes, de gneiss micaschiste, et de granite de formation superficielle.

La région a connu une tectonique de plissement complexe. Il semble que celle-ci serait le résultat de l'action conjuguée de deux cycles géologiques de direction et de poussées différentes (RANDRIAMAMONJIZAKA, 1991) (Cf. fig. n°3).

2.1.2.1 Séries gneissico-migmatitiques

Les séries gneissico-migmatitiques occupent une bonne partie de l'Ouest du bassin versant. Ce sont des roches très facilement altérables. Leurs structures gneissiques sont caractérisées par l'alternance de lits parallèles plus ou moins fins. Elles se présentent sous deux formes à savoir : ferromagnésiens et quartzofeldspathiques. Le manque de fertilité au niveau de la zone de départ est

l'un des caractères pédogénétiques des sols issus de ces roches. Une fois que la partie supérieure proche de la surface est enlevée par le phénomène de décapage ou de remaniement à la suite des érosions, leur mise en valeur pose de problèmes de carence.

2.1.2.2 Roches volcaniques prépléistocènes et pléistocènes

Ce sont des roches volcaniques récentes (éruptions quaternaires récentes), caractérisées par une zone d'altération à faible épaisseur. Cette dernière est riche en produits non cristallisés, vitreux, riche en minéraux primaires et très riche en cations. L'abondance de matières organiques est très manifeste grâce à la protection de l'allophane¹.

2.1.2.3 Granites migmatitites et migmatites granitoïdes

Ce sont des roches moyennement altérables. Sur le terrain, elles sont facilement reconnaissables du fait de la présence fréquente en surface de résidus d'altération à profondeur variable. Dans l'ensemble, la partie du bassin versant du lac Itasy est constituée essentiellement par ces roches. La distinction entre ces deux roches est très difficile car la région présente une série pétrographique continue.

2.1.2.4 Gneiss micaschistes

Ce sont toujours des roches facilement altérables avec une zone d'altération de l'ordre de 20 à 40 m de profondeur en milieu latéritique. La fréquence du graphite en grains disséminés dans les roches constitue leurs particularités. Ils sont composés essentiellement de quartz sous forme de sable et de micas ainsi que de fer (rouge violacés).

Dans le bassin versant, ils n'occupent qu'une extension moyenne. Les sols issus de ces roches sont facilement érodibles.

2.1.2.5 Granites

Ce sont des roches difficilement altérables, caractérisées par leurs zones d'altération très faibles. Dans la région, ils se présentent sous forme de boules d'affleurements et de filons respectivement à Ampefy et Mandiavato. Ces formations ne présentent qu'une faible extension.

2.1.2.6 Formations superficielles

Elles sont constituées par des alluvions récentes déposées dans la plaine, tout le long des bas-fonds, de part et d'autre des cours d'eau et au pied de la montagne en cônes de déjection par suite de l'érosion des sols. Les zones inondables sont aménagées en rizières.

2.1.3 Géomorphologie

Le bassin versant du lac Itasy est situé entre 1.228m et 1.846m d'altitude. Il appartient au deuxième niveau d'aplanissement ou surface d'aplanissement intermédiaire. Ce niveau témoigne le plateau de Miarinarivo avec une altitude de 1.450m. Il est caractérisé par son degré de dissection plus marquée (beaucoup plus disséquée) par rapport au premier niveau d'aplanissement.

¹ Minéraux silicatés (RANDRIAMBOAVONJY, 1995)

Il est constitué essentiellement par l'alternance des reliefs résiduels, de dissection multiface, des collines, de croupes convexes et de pénéplaine (Cf. Annexe XVI). La dissection de ce niveau intermédiaire détermine l'évolution de ces reliefs et collines. Ces dernières sont caractérisées par des vallées à interfluves plus ou moins étroites (Cf. fig.4).

Les surfaces d'érosion ancienne datant du mésotertiaire sont dominées par des reliefs résiduels et de dissections multifaces, de formation granitique. Ces reliefs culminent de 1.840m à Ambohimiangara et de 1.765m à Nanja avec des pentes supérieures à 45%. Les surfaces de rajeunissement sont attribuées au fin tertiaire. Elles sont constituées essentiellement de basses collines et de petites croupes à replat sommital ou disséqués et d'altitude moyenne variant de 1.350 m à 1.500 m ; ces collines et croupes sont souvent entaillées par des "lavaka" ou ravine à parois verticales résultant du processus particulier d'érosion entaillant profondément les versants des "tanety" ² (Cf. fig5 et 6).

Quelle que soit la forme du relief, il exerce une action importante sur la pédogenèse par la modification du régime des eaux qu'il impose. De ce fait, les sols varient de façon continue le long des pentes, alors qu'ils restent identiques le long des courbes de niveau (DUCHAUFOR, 2001).

2.1.4 Hydrologie

Le bassin versant du lac Itasy constitue comme une grande zone de captage des eaux de pluie où la rivière Lily prend sa source. Il est divisé en cinq grands sous bassins versants :

- le bassin versant des rivières d'Ambodimanga, d'Antsamadinika, de Soanierana et d'Ambatondramina au Sud Ouest ;
- le bassin versant des rivières de Fitandambo, de Kelimivazo et de Varahina au Sud ;
- le bassin versant de la rivière Matiandrano à l'Est ;
- le bassin versant de la rivière d'Andranomena au Nord Est ;
- le bassin versant d'Ambatondramina.

Chacun de ces sous bassins reçoit annuellement les eaux de pluie de la saison pluvieuse et le crachin d'hiver de la saison sèche. Les vallées situées en aval des reliefs résiduels, des collines et des croupes convexes sont arrosées par des ruisseaux. Ces derniers sont alimentés par diverses formes de régimes d'écoulement superficiel, hypodermique et phréatique.

Dans l'ensemble le bilan hydrique indique que le ruissellement et le drainage (737 mm) dominant l'infiltration (733 mm). De ce fait, l'écoulement superficiel à ruissellement très élevé au détriment de l'infiltration se rencontre sur les reliefs résiduels et massifs montagneux ayant des versants abrupts à pente supérieure à 45%. C'est le régime de ruissellement à intensité et vitesse de concentration très forte.

Le ruissellement diminue progressivement au profit de l'infiltration et de l'écoulement hypodermique sur les versants à pente moyenne, comprise entre 25 et 45%. Par conséquent, l'intensité et la vitesse de concentration de ruissellement en surface semblent en diminution. C'est le régime

² Terres sur relief de collines des Hauts Plateaux (BOURGEAT, 1975).

d'écoulement fort. Par contre le régime phréatique l'emporte dans les zones à pente faible tels que, les bas-fonds, les sommets à replat moyen et large, et les vallées à interfluve étroit. C'est le régime modeste.

Les ruisseaux qui viennent de l'Ouest, du Sud, de l'Est et du Nord se convergent et forment respectivement la rivière d'Ambohimitombo (les rivières de Fitandambo, de Kelimivazo et de Varahina, la rivière d'Andriambola et la rivière d'Andranomena). Toutes ces rivières se déversent dans le lac Itasy. Ce dernier sort progressivement à son tour ses eaux vers la rivière Lily, exutoire du bassin versant.

Il y a lieu de noter qu'en période de crue, presque toutes ces rivières débordent de leurs lits et inondent les bas-fonds et bon nombre de portions de pistes et de routes. Faute d'entretiens et d'aménagements hydrauliques, ces voies de desserte sont presque impraticables pendant cette période.

2.1.5 Végétation

La couverture végétale du bassin versant du lac Itasy est constituée par des formations graminéennes, des reliques de forêts de "Tapia" et quelques forêts artificielles d'*Eucalyptus sp.* et de *Pinus sp.*. La forêt de "Tapia" couvre une superficie de 5.509 ha alors que la forêt artificielle, formation sporadique couvre une superficie de l'ordre de 363 ha.

Cette couverture végétale est largement dominée par la végétation du type graminéen très peu diversifiée et constituant une sorte de couverture naturelle des sols sous forme de savane herbeuse ou steppe graminéenne. L'état des graminées varie suivant le type de sol ainsi que son degré de fertilité. Elle peut passer de 90% de couverture sur les sols riches à 5% sur les sols pauvres. Malheureusement, cette couverture graminéenne est presque réduite à zéro par les feux de brousse avant les premières gouttes de pluies.

Par conséquent, les terrains à forte pente sont presque toujours exposés annuellement à l'érosion du sol.

2.2 Sols du bassin versant du lac Itasy

2.2.1 Différents types de sols de Madagascar

Les principaux profils de référence mondiaux sont regroupés en treize (13) unités principales ou classes de sols (DUCHAUFOR, 2001) (Cf. Annexe I). Parmi ces groupements de sols, les sols de Madagascar se répartissent dans dix (10) classes (HERVIEU J., 1967) :

- I - Sols minéraux bruts (A)C,
- II - Sols peu évolués (AC),
- III - Sols calcomagnésimorphes,
- IV - Vertisols et Paravertisols A(B)C ou A(B)g ou GC,
- V - Sols isohumiques (sols de steppe ou pseudosteppe AC ou A(B)C),
- VI - Sols à "mull" (matière organique évoluée) A(B)C ou ABC,
- VII - Podzols et Sols podzoliques,

VIII - Sols à sesquioxydes à matière organique rapidement minéralisée,

IX - Sols halomorphes,

X - Sols hydromorphes.

Ces dix classes de sols servent comme données référentielles pour caractériser et classer les sols du bassin versant du lac Itasy.

2.2.2 Description et classification des unités pédologiques

Les unités pédologiques varient d'un modèle à un autre. Certains modèles sont dominés par une unité pédologique, d'autres sont constitués par une association complexe de sols à proportion plus ou moins égale.

Ainsi, dans la région du lac Itasy, les unités pédologiques suivantes ont été inventoriées:

- la classe de sols à minéraux bruts et peu évolués,
- la classe des sols à "mull" (matière organique évoluée),
- la classe de sols ferrallitiques,
- la classe de sols hydromorphes.

Enfin de compte, sur les 55.423 ha, on a pu rencontrer ces quatre classes de sols. Compte tenu de ces différentes classes et superficie, le nombre de sondage est de 34 (24 profils de description et 10 profils de description pour analyse au laboratoire) et le nombre d'observations est de 08 dont les emplacements sont reportés sur la carte pédologique (Cf. fig. 7).

De plus, on s'est adonné à des prélèvements à la tarière (fait à l'angady) pour recoupement en ce qui concerne la texture. Les points de prélèvement y afférents s'élèvent à 27 unités dans le parcours. La correspondance de la classification de sols adoptée par rapport aux autres classifications est donnée en annexe XIX.

2.2.2.1 Classe de sols à minéraux bruts et peu évolués

Selon Philippe DUCHAUFOR en 1965 et en 2001, les sols minéraux bruts et les sols peu évolués sont deux classes de sols caractérisés par une absence presque complète d'humus, d'altération chimique faible et de profil du type (A)C. Le sol ainsi formé est constitué principalement par la simple dégradation de fragments de roches-mères grossiers ou fins. Cette faible altération signifie que les matériaux d'origines restent en grande partie intacts, l'argilogenèse et la libéralisation de fer étant très limitées.

Par ailleurs, cette faible altération est due au facteur temps (durée de l'évolution) qui entre en jeu pour les sols jeunes, proches du matériau d'origine. Quant aux sols formés sous de climats extrêmes (très froid ou très sec), ils proviennent du facteur climatique qui empêche l'altération.

Dans la région du bassin versant du lac Itasy, les sols minéraux bruts et peu évolués forment une association complexe de sols au niveau cartographique. Ils s'observent par endroits à une faible répartition de quelques ares sur les sommets et les versants de quelques reliefs résiduels, de dissections et de croupes à pente forte.

a) Sous-classe de sols non climatiques

a1 Groupe de Lithosols

Ce sont des roches dures. Ils se présentent sous forme d'affleurement, quelquefois recouverts en partie par des minces couches de sols. Au niveau cartographique, ces sols se rencontrent par endroits à faible répartition sur certains reliefs résiduels, de dissections et de croupes. Il couvre une superficie de 2.825 ha.

a2) Groupe de sols d'érosion

Ce sont des sols à profil du type (A)C. dépourvus de litières et de litières décomposées. L'absence de ces dernières s'explique par la présence d'érosion en nappe très sévère du fait des pentes fortes de terrain avec un horizon A inférieur à 5 cm.

Profil type n° 1 (Cf. Fig. 11 et Annexe VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Ambohitratsanga

Topographie : pente forte > 15%

Erosion : en nappe sévère

Date : 10/04/98

• **Morphologie**

- 0 – 5 cm : Horizon de couleur brun rougeâtre (2,5YR-5/2 à l'état sec et 5YR-5/6 à l'état humide) à texture limono-argileuse ; humidité : sèche ; structure à tendance grumeleuse, consistance compacte ; présence de quartz subanguleux. Prédominance de radicules et présence de termites d'où activité biologique importante, transition nette avec l'horizon inférieur.
- A₁
- 5– 12 cm : Horizon de couleur brun jaunâtre (2,5YR-6/2 à l'état sec et 5YR-6/4 à l'état humide), texture limono-argileuse, structure massive à consistance indurée, présence de quartz subanguleux, transition diffuse avec l'horizon inférieur.
- AC
- 12 – 60 cm : Horizon de couleur jaune rougeâtre (2,5YR-4/2 à l'état sec et 5YR-5/6 à l'état humide) à texture limono-argileuse, humidité peu fraîche, structure massive à consistance indurée, présence de quartz grossier.
- C

A noter qu'à la surface du sol, on observe d'épanchement de cailloux de quartz subanguleux.

• **Propriétés physico-chimiques**

La réaction du sol est fortement acide pour l'horizon inférieur à 12 cm et modérément acide pour l'horizon supérieur à 12 cm ; le pH eau est respectivement de 4,4 – 4,60 et 5,01. La teneur en matière organique varie de 0,41% à 3,5%. Elle diminue en profondeur avec un rapport C/N = 4,6 - 5 - 3. Ceci indique que le sol a une minéralisation très rapide.

Deuxième partie : Résultats, Interprétations et Discussions

Le complexe absorbant est désaturé et la moyenne oscille autour de 21%. La somme des bases échangeables Ca, Mg et K est inférieure à 0,12 me et la capacité d'échange CE = T inférieure à 1,57 me. Le phosphore assimilable est faible à tous les niveaux ; il varie de 6 à 14 ppm.

A noter que les résultats analytiques sont consignés dans l'annexe XVIII.

- **Aptitudes culturales**

Ce sont des sols réservés pour le reboisement de *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.* et "Tapia" (*Uapaca bojeri*) et d'autres espèces légumineuses comme les acacia.

a3 Groupe de sols d'apport/Sous-groupe de sols alluviaux

Ce sont des sols d'apport résultant des matériaux arrachés par les phénomènes d'érosion de sols aux sommets et versants de différentes formes de reliefs. Ces matériaux plus ou moins riches en minéraux altérables sont transportés et déposés par les eaux de ruissellement, des ruisseaux et des rivières, soit sur les bas de pente et/ou soit sur les bas-fonds et les lits-majeurs des rivières.

Les minéraux déposés sur les bas de pente constituent les colluvions; par contre ceux déposés sur les bas-fonds et les lits-majeurs forment les sols alluviaux.

Les premiers sont facilement reconnaissables par la présence d'éléments grossiers tels que les cailloux et graviers de forme anguleuse tandis que les seconds se reconnaissent par la présence d'éléments grossiers, cailloux et graviers de forme émoussée. L'horizon de surface est plus ou moins profond : inférieur à 60 cm. Le profil du sol est caractérisé par une hétérogénéité de texture : sablo-limoneuse pour l'horizon inférieur à 80 cm et argilo-limoneuse pour l'horizon supérieur à plus de 80 cm de profondeur. Les sols alluviaux couvrent sur une superficie de l'ordre de 134 ha.

Profil type n°5 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Antanetibe

Topographie : plane

Erosion : nulle

Date : 24/09/98

- **Morphologie**

- 0 – 55 cm : Horizon de couleur brun foncé (5YR-5/1 à l'état sec et 5YR-4/1 à l'état humide), texture sablo-limoneuse moyenne, humidité fraîche, structure grumeleuse à consistance meuble, radicules nombreuses, présence de quartz fin et de mica.
- A₁
- 55 – 65 cm : Horizon de couleur rouge jaunâtre (2YR-6/2 à l'état sec, 5YR-6/6 à l'état humide), texture sablo-limoneuse ; humidité fraîche, structure continue à consistance meuble, quelque présence de radicelle, présence de mica.
- A₂
- 65 – 80 cm : Horizon de couleur brun noirâtre (5YR-5/1 à l'état sec, 5YR-3/1 à l'état humide), texture sablo-limoneuse, humidité fraîche, structure continue à consistance meuble, présence de radicules, de mica et de quartz supérieur à 2 mm de diamètre.
- A₃

80 – 100 cm : Horizon de couleur brun chocolaté (2YR-5/2 à l'état sec, 5YR-4/4 à l'état humide),
C texture argilo-limoneuse, humide, structure massive à tendance polyédrique et à consistance plastique et collante, présence de mica et de quartz fin. La transition entre les horizons successifs est assez nette. En fait comme il s'agit de sols d'apport, les horizons considérés (A₁, A₂, A₃) proviennent des horizons érodés de l'amont si bien que leur disposition se trouve inversée.

Il y a lieu de noter que :

- la texture argilo-limoneuse est de type intermédiaire c'est à dire sols alluviaux à gley (semi-gley). Ce processus d'hydromorphie s'accroît, lorsque la nappe, circulant moins rapidement et subissant des oscillations plus faibles, devient plus réductrice (DUCHAUFOR, 2001).
- la distinction entre les horizons est connue par le changement brusque de couleur, ce qui explique les phases successives de l'alluvionnement.
- la présence d'humidité fraîche de l'horizon supérieur jusqu'à l'horizon profond indique que les sols alluviaux ont une nappe phréatique plus ou moins profonde et subissant des oscillations saisonnières de la nappe. L'eau de cette nappe contient de l'oxygène dissous et les processus d'oxydoréduction sont faibles (DUCHAUFOR, 2001)

- **Propriétés physico-chimiques**

La matière organique est de 2,20% - 3,99% avec un rapport C/N inférieur à 8 ; ceci indique que le sol a une meilleure minéralisation de la matière organique. Concernant les bases échangeables, le sol est moyennement riche en Ca = 1,0 à 3 me, très riche en Mg = 0,5 à 2 me et pauvre en K = 0,01 à 0,02 me. Ainsi, le sol a une capacité d'échange CE = T inférieur à 8,42 ppm et un taux de saturation de l'ordre de 23 à 81%.

La richesse en Ca, la couleur brun chocolatée de l'horizon profond qui constitue un indice d'oxydoréduction ainsi que la texture argilo-limoneuse de cet horizon conduisent au passage de l'hydromorphie des sols. Le pH eau du sol est fortement acide ; il présente une valeur plus ou moins constante de l'ordre de 4,7 pour tous les horizons. Le phosphore (P₂O₅) assimilable tend de la teneur moyenne à pauvre, il varie de 24 à 5 ppm respectivement de l'horizon supérieur à l'horizon profond.

- **Aptitudes culturales**

Ce sont des sols qui répondent bien aux cultures vivrières et maraîchères entre autres : manioc, maïs, haricot, tomate, pomme de terre, banane etc.

2.2.2.2 Classe des Sols à "mull" (matière organique évoluée)

Dans les régions d'altitude de l'Itasy ou leur pourtour, on rencontre des sols qui se développent sur de cendres ou scories volcaniques (BOURGEAT et al, 1965). D'après HERVIEU J. en 1967 <<le mull est une matière organique incorporée à la matière minérale, à transformation biologique active, avec formation d'un complexe argilo-humique>>.

Ce sont des sols à altération biochimique dominante dont la matière organique joue un rôle important dans la pédogenèse par l'intermédiaire des complexes organo-minéraux auxquels elle donne naissance (DUCHAUFOR, 2001).

a) Sous classe des sols à "mull" des pays tropicaux, à pédoclimat chaud et humide

a1) Groupe de sols formés sur cendre volcanique/Sous-groupe des sols bruns eutrophes tropicaux

Ce sont des sols qui se rencontrent sur la partie orientale de la région d'Ampefy. Celle-ci délimite l'Ouest du bassin versant du lac Itasy. Ils sont issus de l'épanchement des roches volcaniques prépléistocènes et pléistocènes récents.

Le profil des sols est du type A(B)C dont la limite entre A et B est très diffuse. Les sols sont riches en allophane.

Le profil type n°8 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Sahapetraka Ampefy

Topographie : pente < 15%

Erosion : en nappe modérée

Date : 25/09/98

• Morphologie

- 0 – 40 cm : Horizon humifère de couleur brune (5YR-5/1 à l'état sec et 5YR-3/1 à l'état humide), texture limono-sableuse, doux au toucher, humidité sèche, structure grumeleuse à tendance meuble. Sols poreux, très bien pénétrés par les racines ; bonne infiltration car après les premières gouttes de pluie celles-ci atteignent jusqu'à 5 cm de profondeur.
- A₁
- 40 – 80 cm : Horizon peu humifère de couleur jaune brunâtre (5YR-8/1 à l'état sec et 5YR-7/1 à l'état humide) texture limono-sableuse, doux au toucher ; structure continue moyennement poreuse. Transition nette entre les 2 horizons. Le changement de couleur brun au jaune brunâtre indique que le processus de l'évolution de sols tend vers la formation de sols ferrallitiques.
- AB

• Propriétés physico-chimiques

Le pH eau du sol diminue progressivement en profondeur, il varie de 6,5 à 6,2. La teneur en bases échangeables Ca, Mg est supérieure à 3 me et celle de la matière organique est comprise entre 5 à 4,5%. Cette dernière diminue progressivement avec la profondeur du sol avec de rapport C/N = 10,5 à 11 ; ceci explique que le sol a une bonne minéralisation.

La capacité d'échange est moyennement riche, supérieure à 15 me et le taux de saturation est supérieur à 58% c'est à dire que le sol est faiblement désaturé. Le sol est riche en bases échangeables, il s'agit d'un "mull" (DUCHAUFOR, 2001). Par rapport à la superficie totale du bassin versant ce sol ne couvre qu'une faible superficie de l'ordre de 5.540 ha.

- **Aptitudes culturales**

La bonne saturation du sol associée avec ses meilleures propriétés physico-chimiques lui permet d'avoir de bon rendement agricole sur les maïs, les haricots, les tomates, les avocats et la canne à sucre. La partie supérieure des reliefs est réservée au reboisement d'*Eucalyptus sp.* et de *Pinus sp.*

2.2.2.3 Classe des sols ferrallitiques

Selon BOURGEAT F. et AUBERT G. en 1972, les sols de Madagascar sont constitués essentiellement par des sols ferrallitiques. Ces derniers couvrent les 2/3 de l'île et ils sont caractérisés par leurs horizons profonds avec une décomposition très poussée des minéraux primaires. Les sols ferrallitiques ont une forte teneur en sesquioxydes de fer et d'aluminium. Les minéraux argileux qui forment ces sols sont constitués par de la Kaolinite et de la gibbsite. Les horizons sont facilement reconnaissables par la couleur jaune vif et/ou rouge vif. Ces couleurs sont dues à la présence de sesquioxydes de fer individualisé en quantité très abondante.

D'après SEGALEN P. en 1969, la couleur jaune vif est due à la présence de fer presque exclusivement sous forme de goethite. Alors que celle de rouge vif est due à la présence de fer amorphe sous forme d'hématite (RANDRIAMBOAVONJY, 1995).

Les sols ferrallitiques sont caractérisés aussi par :

- Le faible capacité d'échange de l'ordre de 4 – 5 me,
- le taux de saturation inférieur à 40%,
- et le pH acide généralement inférieur à 5,5.

Il est à signaler que ce taux de saturation peut descendre jusqu'à 3 – 4% (RANDRIAMBOAVONJY, 1995) et dépasse rarement les 40% ou 50% (BOURGEAT et AUBERT, 1972)

Dans la présente étude, géographiquement, les sols ferrallitiques couvrent la plus grande partie de la superficie totale du bassin versant du lac Itasy. Ce sont des sols qui s'observent souvent sur les replats, les versants et les sommets de reliefs résiduels, de dissections, de croupes convexes. Les sols ferrallitiques de la région sont alors caractérisés :

- (i) Morphologiquement, par des horizons plus ou moins profonds, de profil A(B)C ou ABC et de couleur brun vers rouge ou brun vers jaune. Ce changement de couleur varie progressivement en profondeur, de l'horizon supérieur vers l'horizon inférieur. L'horizon de surface a une faible épaisseur qui ne dépasse pas 20 cm
- (ii) Physico-chimiquement par un pH eau acide inférieur à 5,2, un taux de saturation de 15,75 – 85%, une capacité d'échange inférieure à 10 me, un rapport C/N supérieur à 3 et une teneur en matière organique de l'ordre de 1,95 – 4,87% dans l'ensemble des horizons.

Les deux sous-classes de sols ferrallitiques suivantes sont inventoriées et caractérisées selon leurs groupes d'appartenance.

a) Sous-classe de sols ferrallitiques tronqués

a1) Groupe de sols typiques à structure polyédrique/Sous-groupe modal faiblement désaturé

Ce sont des sols qui se rencontrent sur des basses collines à pente modérée, très souvent envahis par les feux de brousse et le décapage des couches humifères pour la fabrication de compost ou par l'érosion. Ils sont caractérisés par la disparition progressive des horizons humifères.

Profil type n°2 (Cf. Fig. 11 et Annexe VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Antsahabe

Topographie : pente < 10%

Erosion : en nappe modérée

Date de relevé : 11/04/98

• **Morphologie**

- 0 – 5 cm : Horizon de couleur brun-rouge (5YR-6/3 à l'état sec et 5YR-4/3 à l'état humide), à texture argilo-limoneuse fine, doux au toucher ; humidité sèche ; structure grumeleuse à consistance de tendance meuble ; bonne exploration par les racines ; présence de quartz fin. Transition nette avec l'horizon inférieur.
- A₁
- 5 – 80 cm : Horizon de couleur rouge jaunâtre (2YR-6/6 à l'état sec et 5YR-6/8 à l'état humide), à texture sablo-argileuse moyenne ; structure polyédrique à consistance de tendance meuble ; humidité fraîche ; présence de quartz fin ; bonne pénétration par les racines.
- B

• **Propriétés physico-chimiques**

L'horizon supérieur contient 34,9% de minéraux argileux. Le pH eau est acide, il varie progressivement de l'horizon supérieur vers l'horizon inférieur, respectivement de 4,3 et 4,7.

La teneur en matière organique descend progressivement en profondeur de 2,77% à 1,95%. L'horizon supérieur a une minéralisation difficile c'est à dire faible avec un rapport C/N = 20,12. Par contre celui de l'horizon inférieur a une minéralisation rapide avec un rapport C/N = 6,64 Ceci étant expliqué sur le fait que l'altération biochimique intimement liée à la matière organique va progressivement de haut en bas (DUCHAUFOR, Introduction à la science du sol- 2001). Pourtant à cause du tronçage, ce processus d'altération n'aurait pu avoir son cours normal, d'où le changement brusque du rapport C/N de l'horizon supérieur à l'horizon inférieur.

La troncature provient des actions anthropiques, notamment les feux de brousse et le décapage des végétaux pour la fabrication de compost.

Le complexe absorbant a un taux de saturation supérieur à 40% ; il augmente progressivement en profondeur : 81% pour l'horizon supérieur et 84% pour l'horizon inférieur. La capacité d'échange est inférieure à 7 me.

Il y a lieu de signaler que les sols ferrallitiques sont en général désaturés, alors que ces taux de saturation élevés de sols pourraient être expliqués par l'absence de l'Aluminium dans les horizons

éluviaux (horizons de lessivage) et illuviaux (horizons d'accumulation) et l'apport de fumure organique riche en Ca et Mg lors de l'exploitation agricole de terrains.

Parallèlement à cette hypothèse, ces taux de saturation élevés pourraient être expliqués par le ralentissement du phénomène de lessivage à cause de la réduction de l'infiltration des eaux de pluie au profit du ruissellement des eaux dû à l'érosion du sol.

- **Aptitudes culturales**

Au point de vue agronomique, ce sont des sols réservés pour le reboisement et l'agroforesterie. Après la restauration, les sols qui se rencontrent sur les reliefs et les basses collines à large replat et à topographie à pente relativement faible peuvent être destinés à la culture sèche telle que : maniocs, riz pluvial, maïs, haricots, patate douce.

a2) Groupe des sols typiques/Sous-groupe modal fortement désaturé

Ce sont des sols qui s'observent sur des versants de reliefs de dissections, de croupes convexes à pente moyenne supérieure à 25%, fréquemment traversés par les feux de brousse. Ils peuvent être reconnus sous forêt de Tapia (*Uapaca bojeri*) et hors forêt par la disparition progressive par endroits des horizons humifères.

Profil type n°7 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Nanja

Topographie : pente >30%

Erosion : en nappe très sévère

Date : 14/04/98

- **Morphologie**

0 – 5 cm	: Horizon de couleur brun (5YR-6/1 à l'état sec et 5YR-5/1 à l'état humide), à texture argilo-limoneuse fine ; humidité sèche ; structure granuleuse à consistance meuble ;
A	facilement exploré par les racines ; présence de quartz fin. Transition nette avec l'horizon suivant.
5– 30 cm	: Horizon de couleur brun jaunâtre (5YR-8/1 à l'état sec et 5YR-7/3 à l'état humide), à texture limono-argileuse ; humidité fraîche ; structure continue à tendance massive
B ₁	et à consistance plus ou moins compacte ; bonne exploration par les racines. Transition graduelle avec l'horizon inférieur.
30 – 80 cm	: Horizon de couleur jaune blanchâtre (5YR-8/2 à l'état sec et 5YR-7/4 à l'état humide), à texture sablo-limoneuse ; humidité fraîche ; structure continue à
BC	consistance meuble ; bonne pénétration par les racines ; présence de quartz fin et de micas.

- **Propriétés physico-chimiques**

L'horizon supérieur est argilo-limoneux fin avec 35,6% d'argile et 29,3% de limon. Le pH eau est acide : inférieur à 5,5. La teneur en bases échangeables Ca, Mg et K est faible. La teneur en matière organique diminue progressivement en profondeur de 5,5% à 1,30%. Le sol a une minéralisation très élevée au niveau de l'horizon supérieur (0 – 5 cm) avec C/N égal à 2,12 et au niveau de l'horizon

inférieur (30 – 80 cm) avec C/N égal à 3,20. Par contre il présente une minéralisation satisfaisante au niveau de l'horizon intermédiaire c'est-à-dire l'horizon d'accumulation (5 – 30 cm) avec un rapport C/N = 17,71.

Le taux de saturation est inférieur à 16,66% avec une capacité d'échange inférieure à 2,73 me.

- **Aptitudes culturales**

Du fait de la situation topographique, ces sols observés sur des versants et des talwegs à pente forte, sont réservés pour le reboisement d'*Eucalyptus sp.* et de *Pinus sp.* et de "Tapia" (*Uapaca bojeri*)

Dans l'ensemble, la sous-classe de sols ferrallitiques tronqués s'étend sur une surface de 10.903 ha.

b) Sous-classe de sols ferrallitiques rajeunis

b1) Groupe de sols typiques/Sous-groupe modal faiblement désaturés

Ce sont des sols qui se trouvent généralement sur des basses collines, à pente relativement inférieure à 15%. Les sols moyennement profonds sont caractérisés par le profil du type A(B)C ou ABC avec présence de pseudosable dans tous les horizons. Ils couvrent une superficie de l'ordre de 18.124 ha.

Profil type n°4 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Morarano

Topographie : plane

Erosion : en nappe faible

Date : 13/04/98

- **Morphologie**

0 – 20 cm	: Horizon de couleur brun (5YR-7/1 à l'état sec et 5YR-5/1 à l'état humide), à texture argilo-limoneuse fine, doux au toucher ; humidité peu fraîche ; structure grumeleuse à consistance meuble ; éléments grossiers constitués par de quartz fin
A ₁	anguleux visibles à l'œil nu et rugueux au toucher, transition nette avec l'horizon inférieur.
20 – 45 cm	: Horizon de couleur brun rougeâtre (5YR-6/2 à l'état sec et 5YR-6/4 à l'état humide) à texture sablo-limono-argileux à prédominance de sable grossier, humidité fraîche, structure grumeleuse à consistance meuble ; présence de quartz fin visible à l'œil nu et rugueux au toucher. Transition nette avec l'horizon suivant.
A ₂	
45 – 100 cm	: Horizon de couleur jaune rougeâtre (2YR-6/4 à l'état sec et 5YR-5/8 à l'état humide) à texture sablo-limoneuse ; humidité fraîche ; structure grumeleuse à consistance plus ou moins compacte ; présence de quartz fin et de micas.
BC	

- **Propriétés physico-chimiques**

L'horizon supérieur est constitué essentiellement par des minéraux argileux de taille fine avec un taux de 45%. Les pH eau sont fortement acides 4,7 pour l'horizon 0 – 20 cm et 4,9 pour l'horizon 45 – 100 cm. Par contre l'horizon intermédiaire de 20 – 45 cm a une acidité modérée avec un pH de 5,2. La teneur en matière organique qui est comprise entre 4,87% et 2,99% et le rapport C/N est bas, il varie entre 6,71 à 6,00.

La teneur en bases échangeables Ca, Mg est respectivement de 3 me et 4 me tandis que celle de K est comprise entre 0,01 me – 0,04 me. Le taux de saturation V% est supérieur à 40% avec V% = 70% pour l'horizon 0 - 20 cm, V% = 85% pour l'horizon 20 – 45 cm et V% = 81% pour l'horizon 45 à 100 cm. La capacité d'échange est faible, inférieure à 10 me. En ce qui concerne le phosphore assimilable, le sol en est riche.

En résumé, le sol est riche en bases échangeables notamment en Ca et Mg. Par contre il est pauvre en K.

- **Aptitudes culturales**

Les sols conviennent à des cultures sèches telles que manioc, maïs, haricots, "voanjobory " (*Voandzeia sp.*) et de riz pluvial avec de bon rendement.

b2) Groupe de sols typiques à structure polyédrique/Sous-groupe modal faiblement désaturé à concrétion ferrugineuse

Ce sont des sols qui s'observent sur des sommets de reliefs résiduels ou de dissection à replat étroit avec superficies limitées par rapport à l'ensemble du bassin versant. Les sols sont plus ou moins profonds à profil de type ABC, caractérisés par la présence de pseudosable dans tous les horizons.

Profil type n°3 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Nanja

Topographie : plane

Erosion : en nappe faible

Date : 13/04/98

- **Morphologie**

- 0 – 10 cm : Horizon de couleur brun (5YR-7/1 à l'état sec et 5YR-5/1 à l'état humide) à texture argilo-sableuse de taille moyenne ; humidité sèche ; structure grumeleuse à consistance meuble ; présence de quartz fin ; bonne exploration par les racines. Transition nette avec l'horizon suivant.
- A₁**
- 10 – 20 cm : Horizon de couleur brun-rougeâtre (2YR-5/2 à l'état sec et 5YR-5/4 à l'état humide), à texture limono-argilo-sableuse de taille moyenne ; humidité peu fraîche ; structure polyédrique plus ou moins compacte ; présence de quartz fin ; bonne pénétration par les racines. Transition nette avec l'horizon inférieur.
- A₂**
- 20 – 80 cm : Horizon de couleur rouge jaunâtre (2YR-6/6 à l'état sec et 5YR-6/8 à l'état humide) à texture argilo-limoneuse fine ; humidité fraîche ; structure continue à

B consistance de tendance meuble ; quartz fin présent ; bonne exploration par les racines.

Les gros cailloux sont présents mais épars.

- **Propriétés physico-chimiques**

Les minéraux argileux augmentent progressivement en profondeur avec des pourcentages de 28,1%, 29,2% et 34,6%. Le pH eau est fortement acide, inférieur à 4,9. La teneur en matière organique est moyenne, elle varie de 2,55% à 4,02%. La minéralisation est moyenne ou bonne de l'horizon 0 à 10 cm et de 10 à 20 cm. Mais elle est très rapide pour l'horizon inférieur (de 20 à 80 cm) avec un rapport C/N = 3,00.

La teneur en bases échangeables Ca, Mg et K est faible, variant respectivement de 0,5 à 1,0 et 0,02 à 0,04. Le taux de saturation est inférieur à 40% pour l'horizon intermédiaire de 10 à 20 cm avec VV% = 34% ; tandis qu'il est supérieur à 40% pour l'horizon 0 à 10 cm, VV% = 52% et 59% pour l'horizon inférieur 20 à 80 cm.

Le phosphore assimilable (P₂O₅) se réduit brusquement en profondeur avec une teneur en P₂O₅ de valeur moyenne = 20 ppm pour l'horizon supérieur 0 à 10 cm, et de P₂O₅ de valeur basse pour les deux horizons inférieurs (10 à 20 cm et 20 à 80 cm et +) respectivement de 8 ppm et 7 ppm.

- **Aptitudes culturales**

Ce sont des sols favorables au reboisement vu leur position sommitale topographique. Comme ils sont plats, ils conviennent bien à la culture sèche notamment le maïs, le manioc.

b3) Groupe de sols remaniés typiques/Sous-groupe remanié moyennement désaturé

Ce sont des sols qui se rencontrent sur des croupes et collines avec une topographie à pente forte. Ils se trouvent par endroits et couvrent de faibles superficies de l'ordre de 2.774 ha.

Profil n°9 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Monimbola

Topographie : pente > 15%

Erosion : sévère

Date : 27/09/98

- **Morphologie**

- 0 – 7 cm : Horizon de couleur brune (5YR-7/1 à l'état sec, 5YR-5/1 à l'état humide) à texture limono-argileuse fine ; humidité fraîche ; structure grumeleuse à consistance compacte ; présence de quartz subanguleux ; peu exploré par les racines. Transition nette avec l'horizon inférieur.
- A₂
- 7 – 28 cm : Horizon de couleur brun-rouge (2YR-5/2 à l'état sec, 5YR-5/4 à l'état humide) à texture limono-argileuse moyenne ; humidité fraîche ; structure massive à consistance indurée ; présence de lit de quartz ; plus ou moins difficile à explorer
- A₃

par les radicelles. Transition nette avec l'horizon inférieur.

28 - 90 cm : Horizon de couleur rouge jaune (2YR-6/8 à l'état sec, 5YR-5/4 à l'état humide) à texture limono-argileuse ; humidité fraîche ; structure massive à consistance indurée ; présence de quartz fin subanguleux et de concrétions ferrugineuses.

Au niveau de la surface du sol, on observe la présence éparse de nombreux gravillons de quartz subanguleux.

- **Propriétés physico-chimiques**

Le sol est constitué par des horizons à texture limono-argileuse. Le pH eau est acide, il est inférieur à 5,28. La teneur en bases échangeables Ca, Mg et K est faible : inférieur à 0,50 me et elle diminue en profondeur. La somme de bases échangeables et la capacité d'échange sont faibles et inférieures respectivement à 0,76 me et 3,47 me et ce, avec un taux de saturation inférieur à 29,79%. Ces derniers diminuent en profondeur.

La teneur en matière organique a une valeur moyenne ; elle est comprise entre 3,10% - 4,35% pour les horizons 0 – 7 cm et 7 – 28 cm alors qu'elle est basse pour l'horizon 28 –90 cm. Le rapport C/N est de 10,56 pour l'horizon supérieur (0-7 cm) ce qui indique une bonne minéralisation. Quant aux horizons inférieurs (7- 28 cm et 28 - 90 cm), le rapport C/N successivement de 4,27 et 2,14 indique une minéralisation très rapide.

- **Aptitudes culturales**

Ce sont des sols qui peuvent donner de bons rendements avec les cultures sèches : manioc, voanjobory, haricot, patate douce.

c) Sous-classe des sols ferrallitiques pénévulés ou fortement rajeunis

Ce sont des sols caractérisés par de faible profondeur ; en général, moins de 60 cm où l'on reconnaît des minéraux primaires plus ou moins altérés tels que : les micas, le lit de roche mère peu altéré. Ces sols s'observent sur des versants de relief à forte déclivité où ils forment par endroits et sporadiquement en association complexe avec le groupe de sols d'érosion et le groupe de sols tronqués.

Quant à son évolution, les sols pénévulés se sont formés au cours du dernier pluvial vavatenien après avoir décapé et rongé les sols formés antérieurement (RANDRIAMBOAVONJY, 1995).

Du point de vue agronomique, ces sols, de par leur perméabilité, constitue une zone de bonne exploration pour les racines et par corollaire, facile à travailler. Ils sont propices aux cultures vivrières telles que le manioc, le maïs, le "voanjobory", le haricot, la patate douce.

Néanmoins ces sols présentent des inconvénients à savoir ils ne se rencontrent que sur pente forte et à faible stabilité structurale donc, très sensible à l'érosion (RANDRIAMBOAVONJY, 1995).

Pour résoudre à ce problème, il convient d'affecter ces sols essentiellement aux travaux de reboisement *d'Eucalyptus sp.*, de *Pinus patula* et autres essences autochtones telles que : "Tapia" (*Uapaca bojeri*) etc.

2.2.2.4 Classe de sols hydromorphes

Ce sont des sols qui se trouvent sur les cônes de déjection de reliefs résiduels, de dissections et des bas fonds de croupes et des collines à interfluves étroits ou larges. Ils résultent de l'engorgement permanent ou temporaire par l'eau des sols en place et/ou de dépôts de dégradation des sols en amont déposés en aval par suite d'érosion, de battance de pluie et de ruissellement.

Par rapport à l'ensemble du bassin versant, les sols hydromorphes couvrent une superficie de 11.561 ha. Ils sont divisés en sous-classes de sols, à savoir :

- la sous-classe de sols hydromorphes peu humifères,
- la sous-classe de sols hydromorphes moyennement organiques,
- la sous-classe de sols hydromorphes organiques ou humifères.

a) Sous-classe de sols hydromorphes organiques ou humifères

a1) Groupe de sols hydromorphes à gley tourbes eutrophes

Les sols hydromorphes à gley, toujours en submersion, ont été inventoriés et répertoriés sur carte. Ils sont également reconnaissables par la couleur noire verdâtre des eaux qui les couvrent en permanence. Ces sols occupent une superficie de 993 ha environ et se rencontrent dans les marais à eaux stagnantes mais qui en réalité, ont cours lent (DUCHAUFOR, 2001). En fait, ce sont des sols tourbes eutrophes.

b) Sous-classe de sols hydromorphes moyennement organiques

b1) Groupe de sols hydromorphes à gley

Ce sont des sols qui ont subi un engorgement quasi-permanent. Ainsi, le profil de sols a bénéficié d'une alimentation en eau pendant toute la saison par les phénomènes de capillarité ascendante. Ils sont caractérisés par un profil de type AgB avec un horizon <40 cm surmontant l'horizon à gley permanent et se reposent sur des anciens sols hydromorphes tourbeux. Sa superficie s'élève à 2.594 ha.

Profil n°6 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Tandrokondry

Topographie : plane

Erosion : nulle

Date : 24/09/98

• Morphologie

- 0 – 30 cm : Horizon de couleur brun-jaune (5Y-7/1), à texture limono-argileuse ; humidité fraîche
- A₁ ; structure motteuse à consistance compacte ; présence de quelques radicelles.
Transition nette avec l'horizon inférieur.
- 30 – 100 cm : Horizon de couleur brun grisâtre (5Y-6/1), à texture argilo-limoneuse ; humidité
- AB_g humide ; structure massive à consistance collante et plastique ; existence de radicelles ; éléments grossiers constitués par de micas et de quartz. A noter que cet horizon est tacheté de jaune noirâtre (rouille).

- **Propriétés physico-chimiques**

L'horizon supérieur contient 15,6% de minéraux argileux et de 46,42% de limon fin. Le pH eau est acide modéré compris entre 5,0 – 5,5. Les teneurs en bases échangeables (Ca et Mg), et de matière organique se situent respectivement entre 3,0 – 8,5 me et 2,79% - 4,15%.

Ainsi, le sol est riche en bases échangeables notamment en Ca et Mg, et moyennement riche en matière organique. Cependant, il est très pauvre en K (base échangeable) inférieur à 0.2 me.

Le sol a une minéralisation lente avec un rapport C/N = 27,0 – 30,12, une capacité d'échange de 10,02 – 13,61 me et un taux de saturation supérieur à 40%. Ce dernier augmente en profondeur de 90% à 95%. L'horizon supérieur est moyennement riche en P₂O₅ tandis que celui de l'horizon inférieur en est très riche.

- **Aptitudes culturales**

Ce sont des sols qui donnent de bons rendements pour la riziculture en submersion, il en est de même pour les cultures de contre saison : petit pois, tomate etc., après drainage.

c) Sous-classe de sols hydromorphes peu humifères à gley

c1) Groupe de sols hydromorphes à pseudo-gley

Ce sont des sols où le phénomène d'hydromorphie permanent touche l'horizon inférieur ; ceci est entretenu par une capillarité ascendante approvisionnée par la nappe phréatique. Tandis que l'horizon supérieur est soumis par l'hydromorphie de surface plus ou moins temporaire.

Les sols ainsi formés se caractérisent par du profil type AgB. Ils s'observent dans les bas fonds inondables, aménagés en rizière. Sa surface s'étend sur 7.974 ha.

Profil type n°10 (Cf. Fig. 11 et Annexes VIII, XVII et XVIII)

Lieu : Antanetibe

Topographie : plane

Erosion : nulle

Date : 26/09/98

- **Morphologie**

- 0 – 15 cm : Horizon de couleur brun (5Y-5/1), à texture limono-argileuse fine ; humidité plus ou moins sèche ; structure motteuse à consistance compacte ; tacheté en rouille ;
- A₁ : présence de nombreuses radicules et peu de quartz fin anguleux. Transition nette avec l'horizon inférieur.
- 15 – 78 cm : Horizon de couleur brun grisâtre (5Y-6/1), à texture argilo-limoneuse ; humidité humide ; structure massive à consistance collante et plastique ; présence de tache rouge jaunâtre. Transition nette avec l'horizon inférieur.
- B_{g1}
- 78 – 100 cm : Horizon de couleur noir grisâtre (5-4/1), à texture argilo-limoneuse (gley) ; humidité humide ; structure continue à consistance meuble plus ou moins collante. A noter que cette couche inférieure est semi-tourbeuse.
- B_{g2}

- **Propriétés physico-chimiques**

La réaction du sol est fortement acide pH eau = 4,58 et modérément acide pH eau = 5,05, respectivement pour les couches supérieures (0 –15 cm) et intermédiaire (15 – 78 cm) tandis qu'elle est neutre pH eau = 6 pour la couche inférieure (78 – 100 cm). La teneur en matière organique est faible en surface de 1,46% à 1,59% avec un rapport C/N de 21 – 26,01 Ce qui fait que le sol a une minéralisation lente.

La teneur en bases échangeables (Ca, Mg, K) présente un maximum de 5,37 me, à savoir 1,91 me pour l'horizon supérieur (0-15 cm), 5,37 me pour l'horizon intermédiaire (15-78 cm) et 3,18 me pour l'horizon inférieur

La capacité d'échange des cations (CEC = T) de tous les horizons est inférieure à 7 me tandis que le taux de saturation V% dépasse largement les 40% pour chaque horizon.

- **Aptitudes culturales**

Ce sont des sols qui conviennent à la riziculture avec de bons rendements et de culture contre saison notamment : tomate, haricot, pomme de terre, etc.

2.2.2.5 Conclusion partielle

L'interprétation des résultats obtenus à partir des travaux de prospection sur le terrain et ceux d'analyses au laboratoire, se basant sur la caractérisation de sols a permis de dégager une brève explication sur la répartition des sols du bassin versant du lac Itasy. Ainsi, quatre classes de sols ont été identifiées, à savoir :

- ❖ La classe de sols minéraux bruts et peu évolués
 - ❖ La classe des Sols à "mull" (matière organique évoluée) : sols bruns eutrophes
 - ❖ La classe de sols ferrallitiques
 - ❖ La classe de sols hydromorphes
- La classe de sols minéraux bruts et peu évolués ne couvrent qu'une faible superficie de 2.959 ha environ. On y rencontre 3 groupes de sols : les sols d'érosion, les lithosols (2.825 ha) et groupe de sols d'apport/sous-groupe de sols alluviaux (134 ha) appartenant aux sols peu évolués d'érosion (sous-classe)
 - La classe des sols à "mull" (matière organique évoluée) comprend le groupe de sols formés sur cendre volcanique/sous-groupe des sols bruns eutrophes tropicaux. Ces sols ont une superficie de l'ordre de 5.540 ha.
 - La classe de sols ferrallitiques a une superficie totale de 31.801 ha. On y distingue la sous-classe de sols tronqués et la sous-classe de sols rajeunis.
 - La classe de sols hydromorphes s'étend sur une superficie de 11.561 ha. On y distingue les sols hydromorphes à gley proprement dits et les sols hydromorphes à gley en association complexe

avec les sols alluviaux d'apport. Ces sols hydromorphes à gley peuvent être peu organiques ou peu humifère, moyennement organiques ou moyennement humifères et organique ou humifère.

- La présentation sur carte des sols peu évolués d'apport ne peut être effectuée à cause de l'échelle utilisée : sols de faible superficie mais disséminés par endroits. De ce fait, ils ne peuvent pas être formés en sols juxtaposés par rapport aux autres.

2.3 Erosion

2.3.1 Définition

L'érosion est une usure qui affecte la surface du globe. Elle résulte de l'ensemble des phénomènes naturels et/ou anthropiques qui lèchent et rongent cette surface. S'il s'agit d'érosion d'origine anthropique, elle est considérée comme une maladie qui influence sur l'équilibre écologique.

En d'autre terme, d'après Eric ROOSE en 1994 dans l'Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), l'érosion augmente en fonction de la densité de la population. Mais en fait, elle est un processus naturel qui abaisse toutes les montagnes (d'où le terme de "dénudation rate", vitesse d'abaissement du sol des géographes anglophones) mais en même temps, il engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable, tolérable.

2.3.2 Formes d'érosion et ses manifestations

Durant la prospection pédologique, il a été constaté que l'érosion du sol que subit le bassin versant du lac Itasy se présente sous deux formes, l'érosion difficilement perceptible (à l'oeil nu au vue de loin) et l'érosion spectaculaire. La première est divisée en quatre catégories : l'érosion en nappe, en rigole, les griffes d'érosion et l'érosion par ravinement. Par contre, la seconde est dénommée couramment l'érosion en "lavaka".

Sur le terrain ces érosions se manifestent différemment. Leurs actions varient en fonction de l'intensité de pluie, de l'état de la végétation, de la pente, de la topographie du relief ainsi que de la structure et de la texture du sol.

En effet, cinq classes d'érosion ont été recensées, à savoir :

- ❖ l'érosion nulle ou légère ;
- ❖ l'érosion modérée ;
- ❖ l'érosion sévère ;
- ❖ l'érosion forte ou très sévère ;
- ❖ l'érosion spectaculaire ou extrêmement sévère (FOURNIER et al, 1955)

2.3.2.1 Erosion nulle ou légère

C'est une érosion là où ses manifestations sont presque nulles ou légères. Elle appartient aux unités de terrains ayant une classe de pente comprise entre 0 à 5%. Ces terrains regroupent, les zones inondables, les rizières, les fonds alluviaux aménagés et les sommets de reliefs à large replat.

2.3.2.2 Erosion modérée

C'est une érosion là où l'action de l'eau de pluie qui agit sur la surface du sol est modérée. Elle se manifeste sous le phénomène de battance de pluie c'est -à- dire que les particules fines, les plus riches sont entraînées par les gouttes de pluie. Elles se déplacent à une dizaine de cm de celles-ci et forment ce qu'on entend par splash d'érosion ou érosion en nappe. En effet, les sols nus et travaillés, et ayant des pentes de 0 à 15% sont souvent exposés à cette érosion Ces sols couvrent une superficie de 49.917 ha.

2.3.2.3 Erosion sévère

C'est une érosion là où les particules et les minéraux qui constitue le sol sont arrachés et transportés, soit progressivement et/ou soit brusquement par les eaux de ruissellement. De cette manière, le mécanisme de développement de cette érosion se manifeste comme suit :

- (i) sur le terrain dépourvu temporairement de sa couverture végétale, après passage de feux de brousse presque chaque année, les touffes d'herbes perdent leurs tiges (parties aériennes) et forment ce qu'on entend par cheminée de fée. Par la suite, l'eau de pluie qui tombe entraîne l'érosion en nappe et les eaux ainsi rassemblées et qui coulent en surface constituent le ruissellement. Ce dernier trouve ses chemins entre les différents interstices de touffes d'herbes et augmente de vitesse au fur et à mesure que la pente du terrain augmente. Au cours de son passage cette eau de ruissellement déterre petit à petit les racines de ces touffes qui se trouvent sur son passage et au fil des temps, elle finit à les balayer et à les ramener de l'amont vers l'aval. Par conséquent, le sol est décapé de ses horizons humifères et les petits canaux ainsi formés donnent des griffes d'érosion,
- (ii) sur le terrain travaillé ; le sol perd ses stabilités structurales. C'est ainsi qu'il est très sensible et exposé à ce phénomène d'érosion.

En effet, le mécanisme de ce qui vient d'être cité plus haut est presque le même ; mais ce qui le différencie se situe au niveau de l'absence et/ou de la présence de la couverture végétale et le processus de développement de ces griffes d'érosion. En ce qui concerne le terrain travaillé, la formation des griffes d'érosion est très accélérée du fait de l'absence totale de la couverture végétale. Cette classe d'érosion se rencontre par endroits et elle touche les terrains à pente supérieure à 15%.

2.3.2.4 Erosion forte ou très sévère

C'est une érosion là où ses manifestations et ses mécanismes se ressemblent à celles de griffes d'érosion, mais elle agit sur le sol à un degré un peu plus élevé. En réalité, ce sont les griffes d'érosion qui évoluent progressivement ou brusquement au fil de temps en érosion forte que nous dénommons ici érosion en rigoles.

En effet, sur le terrain, elle a la forme d'un sillon de taille et de dimension supérieures à 10cm c'est-à-dire un peu plus grandes voire plus grandes par rapport aux griffes d'érosions. Ce qui lui rend plus visible vu de loin par rapport à ces dernières.

L'érosion en rigole prend souvent sa source sur la tête de versants de reliefs ayant de pente supérieure à 15%. Dans le bassin versant, elle se rencontre par endroits sur des surfaces de faible importance. Elle se trouve souvent en association avec l'érosion en nappe et les griffes d'érosions.

2.3.2.5 Erosion spectaculaire ou extrêmement sévère

C'est une érosion en "lavaka" ou en ravin. Les "lavaka" sont des excavations à parois verticales résultant d'un processus particulier d'érosion entaillant profondément les versants des tanety (BOURGEAT. et al, 1975). Les ravins sont des formes d'érosion dont les creux atteignent plusieurs dizaines de centimètres, parfois même plusieurs kilomètres (grandes ravines) (ROOSE E., 1994). Dans la région du bassin versant du lac Itasy, ces "lavaka" se rencontrent par endroits et se forment surtout sur la partie supérieure de certains versants de reliefs ayant des pentes fortes sous l'action du ruissellement. Elles ont des formes très variées qui peuvent aller du goulet très étroit et très profond jusqu'aux grands cirques couvrant d'importantes superficies.

Par rapport aux différents types d'érosion cités plus haut, elles sont très visibles vu de près ou de loin et se composent de trois parties bien distinctes :

- un bassin de réception,
- un canal d'écoulement où débouchent les matériaux enlevés au niveau du bassin de réception,
- un cône de déjection où elles déposent les matériaux de réception.

Etant donnée ces spécificités, l'érosion en "lavaka" évolue de l'aval vers l'amont. C'est qu'on appelle érosion régressive.

En effet, après enlèvement de la couche argileuse, la zone de départ ayant de couches friables est découverte. Elle correspond à la couche mère du profil pédologique. Ces manifestations expliquent à la fois les formes et l'intensité de l'érosion.

Du fait de leur emplacement loin des zones d'habitations, toutes les "lavaka" ne sont pas dangereuses. Certaines sont en phase d'activité et d'autres ne le sont plus parce que leur profil d'équilibre a été atteint. Ces dernières sont colonisées par la suite petit à petit par certaines végétations herbacées et/ou arbustives (mousse, lichen, herbe etc.).

2.3.2.6 Erosion de berge

C'est une érosion qui ronge dans les anses, et provoque leur recul par chute de terre et l'élargissement des lits majeurs. Juste au début de la saison des pluies, la dégradation temporaire et fréquente de la couverture végétale est presque annuelle, sous l'action néfaste des feux de brousse. La topographie très abrupte de reliefs où les rivières du bassin versant de lac Itasy prennent leurs sources et les eaux de crues ainsi formées sont extrêmement sévères et entraînent l'érosion de berges dans les endroits sensibles.

A cet effet, certaines rivières sont ensablées et débordées de leurs lits, et favorisent l'inondation de quelques bas fonds.

2.3.3 Facteurs d'érosion

Les facteurs d'érosion qui agissent sur le sol du bassin versant du lac Itasy sont divisés en deux catégories à savoir :

- le facteur naturel
- et le facteur anthropique

Dans l'ensemble, la conjugaison ou plus précisément la combinaison de ces deux facteurs constitue la principale source d'érosion ; elle conduit par conséquent à la formation très accélérée du sol (sol tronqué, sols d'apport alluviaux et colluviaux etc.)

2.3.3.1 Facteur naturel

L'action du facteur naturel sur la surface du globe causant le déplacement des particules et des minéraux du sol forme ce qu'on entend par érosion géologique.

Ce facteur associe :

- l'eau de pluie
- le vent
- la variation de température
- les variations de teneur en eau

Etant donné que la géomorphologie du bassin versant du lac Itasy est dominée par de reliefs à pente moyenne et forte, l'eau de pluie qui tombe et qui ruisselle forme dans l'ensemble le principal agent de l'érosion.

2.3.3.2 Facteur anthropique

Pour développer les activités agro-sylvo-pastorales, le paysan se lance dans l'exploitation de certains versants des reliefs et collines à pente moyenne à forte. De cette manière, il défriche et brûle les brousses pour étendre ses terrains de cultures et ses zones de pâturages.

De part ces pratiques culturelles et d'élevage de zébus, le paysan apparaît comme un facteur indirect et important qui intervient dans la modification de la couverture du sol. Là où l'eau de pluie ou les autres agents de l'érosion (le vent par exemple) trouvent un sol nu et travaillé, ils arrachent brusquement souvent les couches arables par les phénomènes de battance de pluie et de ruissellement.

En d'autres termes, la terre végétale a disparu. Ce phénomène brutal s'appelle l'érosion accélérée ou l'érosion pédologique ou l'érosion contemporaine. Par conséquent, le facteur anthropique qui contribue à la formation de l'érosion est conditionné par les techniques culturelles et le système de production que pratiquent les paysans.

2.3.4 Carte de pentes, d'érosion et de sensibilité des sols à l'érosion

La carte de pentes, d'érosion subie et de sensibilité des sols à l'érosion figure parmi les cartes thématiques constituant la carte d'aptitude des sols. Elle sert un répertoire pour toute érosion subie et toute érosion qui pourrait survenir dans le bassin versant par rapport à la réalité sur le terrain et met en garde les utilisateurs des sols de ce bassin versant. Cette carte de pentes d'érosion subie et de sensibilité est représentée dans la figure n°8.

2.3.5 Conclusion partielle

Le bassin versant du Lac Itasy subit six types d'érosion : l'érosion en nappe, l'érosion en griffes, l'érosion en rigoles, l'érosion en "lavaka", érosion en ravin et l'érosion de berge. Leurs manifestations sont tributaires des pentes du terrain de la nature du sol, de l'intensité de pluie, des techniques culturelles et d'élevage.

2.4 Utilisation de sols

2.4.1 Caractéristiques des bassins versants élémentaires

Les bassins versants élémentaires qui constituent le bassin versant du lac Itasy sont caractérisés et classés selon les critères suivants : les sols, les pentes, le degré d'érosion, l'occupation et les rivières. De ce fait, cinq types de bassin ont été recensés à savoir :

B V1 = bassin versant des rivières de Fitandambo, de Kelimivazo et de Varahina (Sud),

B V2 = bassin versant de la rivière Matiandrano (Est),

B V3 = bassin versant de la rivière d'Andranomena (Nord-Est),

B V4 = bassin versant d'Ambatondrainima,

B V5 = bassin versant des rivières d'Ambimitombo, d'Ambodimanga, d'Antohamadinika, de Soanierana et d'Ambatondramina.

Le tableau qui suit montre leurs caractéristiques respectives.

Tableau n° 5 : Typologie des bassins versants élémentaires (Cf. tableau joint)

Bassins versants	Caractéristiques														
	Reboisement (ha)	Foret de tapia (ha)	Champs de cultures	Rizière (ha)	Marais	Prairie (ha)	Petits lacs (ha)	Lac Itasy (ha)	Superficie BV (ha)	Pente 0 à 15% (ha)	Pente > 15% (ha)	Pourcentage pente/superficie 0 à 15%	Pourcentage pente/superficie >15%	Erosion dominante	Sols dominants
BV1	18	4748	3199	3922	653	18096	190		30826	30311,35	30341,7	99,89	0,11	- nappe sévère - lavaka - rigole	Ferrallitiques typiques modaux
BV2	118	701	1020	1948	102	4953	276		9118	9063,41	822,3	91,68	8,32	- nappe modérée - lavaka	Ferrallitiques typiques modaux Lithosol
BV3	208	0	732	658	88	3267	0		4953	4714,30	508,1	90,27	9,73	-nappe modérée	Ferrallitiques typiques modaux
BV4	13	60	1016	358	0	2012	56		3515	2775	213,59	92,85	7,15	- nappe modérée - lavaka	Sols à "mull" eutrophe
BV5	5	0	812	666	150	2338	5		3977	3053,07	313,37	90,69	9,31	-nappe modérée	Sols à "mull" eutrophe Lithosol
Total	363	5509	6778	7551	993	30667	527	3035	513 95						

La superficie totale de ces cinq bassins versants élémentaires (BV1, BV2, BV3, BV4 et BV5) et celle du lac Itasy est de 55423 ha. En 1990, ce lac couvre environ une superficie de 3.500 ha (UICN, PNUE et WWF). Mais d'après ce tableau, le lac ne dispose actuellement qu'une superficie de l'ordre de 3.035 ha. Cette réduction est due à l'érosion du sol du bassin versant.

2.4.2 Systèmes d'utilisation des terres et pratiques agricoles

2.4.2.1 Zones de bas-fonds

Les bas-fonds sont presque exclusivement réservés pour la riziculture. L'exploitation annuelle de la majeure partie de ces zones pour la culture du riz est fortement tributaire des eaux de ruissellement de pluie. Dans certains endroits où l'eau est disponible, les paysans pratiquent la culture de contre saison notamment de blé.

Cependant, à cause des eaux de ruissellement très élevées pendant la saison pluvieuse, une bonne partie des rizières est inondée et ensablée et les ouvrages traditionnels et infrastructures hydrauliques sont ainsi souvent endommagés.

2.4.2.2 Tanety cultivés

Les "tanety" sont fréquemment utilisés pour les cultures sèches: manioc, haricot, maïs, arachide. De ce fait, les paysans les exploitent sous forme de parcelles travaillées souvent suivant la ligne de la plus grande pente. Elles sont accompagnées de mesures traditionnelles anti-érosives sous forme d'un fossé en V inversé à l'amont de la parcelle, servant à l'évacuation des eaux de ruissellement des pluies. Ces petites parcelles se situent surtout sur les flancs et les bas de pente des collines. Elles sont rares sur le sommet.

2.4.2.3 Tanety boisés

Durant la période de la première République, une bonne partie de l'ensemble des collines et des reliefs de la partie Est du bassin versant a été couverte de forêts de tapia avec une densité de peuplement très élevée de plus de 1.200 tiges par ha. Mais après 1972, cette formation forestière a subi de fortes pressions anthropiques par les feux de brousse et les coupes illicites de bois.

Ainsi le taux de couverture se réduit d'année en année avec une densité de l'ordre de 800 à 1.200 pieds à l'hectare pour le peuplement dense, de 600 à 800 pieds par hectare pour le peuplement moyennement dense et de 400 à 600 pieds/ha pour le peuplement disséminé. Au total la forêt de "Tapia" de la région couvre actuellement une superficie de 5.509 ha. Certains paysans pratiquent aussi sur la partie supérieure des "tanety" de reboisement artificiel (*Eucalyptus sp.* et *Pinus sp.*). A cause du chevauchement du calendrier cultural, les paysans mettent au second plan le reboisement au profit des cultures de subsistance : riz, haricot, manioc, maïs, arachide. Par conséquent, la superficie de la forêt artificielle reste moins importante par rapport à l'ensemble de la superficie du bassin versant du lac Itasy.

En somme l'ensemble des forêts naturelles de "Tapia" et de reboisement artificiel occupent une faible partie des "tanety" avec un taux de couverture inférieure à 10%.

2.4.2.4 Pâturage

Comme la majeure partie des "tanety" est occupée par des prairies à dominance de graminées plus ou moins denses, les paysans y font paître leurs bovidés pendant la période pluvieuse et une bonne partie de la saison sèche.

Toutefois, les enquêtes auprès du service de l'élevage en 1998 ont relevé une capacité de charge qui reste faible de 0,5 à 1,3 animaux/ha. Par ailleurs, la végétation connaît une sécheresse très marquée vers la fin de la saison sèche (septembre – octobre) ; elle s'assèche trop et sa valeur nutritive devient très faible.

Ce phénomène est une des causes et conséquences fâcheuses des feux périodiques de renouvellement de pâturage, feux devenus couramment incontrôlables et qui font des ravages dans les endroits où ils traversent.

2.4.2.5 Carte d'occupation de sols

La carte d'occupation de sols (Cf. fig. 9) nous rapporte les aires de reboisement, la forêt de "tapia", les cultures irriguées, les cultures de submersion, les cultures sèches et les prairies.

2.4.3. Différentes classes de sols selon leur valeur

Compte tenu de la méthode de classification exposée ci-dessus (Cf. méthodologie), six classes de terres ont été discernées :

- classe I : terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture,
- classe II : terres de bonne qualité moyennant quelques mesures de conservations,
- classe III : terres à emploi limité par suite de sa pente topographique moyenne à forte et/ou à zone plane peu perméable ou trop humide,
- classe VIII : terres d'assez bonne qualité pour le pâturage,
- classe X : terres à vocation forestière ou de pâturage limitées sous forêts,
 - X : actuellement en végétation forestière
 - X₁ : à reboiser,
- classe XII : terres rocheuses ne répondant ni à culture ni à la forêt

Il y a lieu de signaler que cette classification concerne exclusivement le site étudié. La correspondance de la classification des terres adoptée par rapport aux autres classifications des terres selon leurs valeurs est donnée en annexe XX.

2.4.3.1 Classe I : terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture

Cette classe de terres regroupe les sols ci-après :

- sols d'apport alluviaux et colluviaux,
- sols ferrallitiques à plus ou moins large replat,
- et Sols à "mull" (matière organique évoluée) : sols bruns eutrophes.

Ce sont des sols à faible pente et dont l'effet érosif est presque nul. Ils ne demandent que des méthodes culturales ordinaires. Etant donné leurs positions topographiques et géographiques, ils se

trouvent par endroits en association complexe avec les autres classes de sols cités ci-dessous et ne représentent que quelques ares de superficie seulement.

2.4.3.2 Classe II : terres de bonne qualité moyennant quelques mesures de conservation,

Cette classe de terres appartient aux sols ci-après :

- sols ferrallitiques typiques modaux,
- classe des Sols à "mull" (matière organique évoluée) : sols bruns eutrophes à faible pente et à érosion modérée et dont les pratiques culturales suivant les courbes de niveau sont à appliquer.

2.4.3.3 Classe III : terres à emploi limité par suite de sa pente topographique moyenne à forte et/ou zone plane peu perméable ou trop humide

Cette classe de terres fait partie des sols ci-après :

- sols hydromorphes à Gley et/ou à pseudo-gley,
- Sols à "mull" (matière organique évoluée) : sols bruns eutrophes,
- sols ferrallitiques typiques tronqués et rajeunis,
- les sols hydromorphes se rencontrent dans les zones planes peu perméables ou trop humides dont l'aménagement nécessite un certain drainage. Une bonne partie de ces sols est actuellement aménagée en rizière. En ce qui concerne les sols à "mull" (matière organique évoluée) : sols bruns eutrophes et ceux à profil tronqué, qui se trouvent sur les terrains de moyenne à forte pente, leurs aménagements ont besoin de techniques conservatoires de sols : agroforesterie, jachère améliorée, culture en bandes alternées et suivant les courbes de niveau. Ces sols sont en général réservés pour les cultures sèches.

2.4.3.4 Classe VIII : terres d'assez bonne qualité pour le pâturage

Cette classe de terres inclut les sols ferrallitiques tronqués à savoir le groupe de sol modal faiblement désaturé et celui fortement désaturé. Ce sont des sols situés sur de pentes moyennes à fortes qui ne demandent aucun travail d'aménagement pour le pâturage.

2.4.3.5 Classe X : terres à vocation forestière ou de pâturage limité sous forêts

Cette classe de terres appartient aux sols ferrallitiques tronqués et rajeunis (remaniés) de pente moyenne à forte, lesquels doivent être réservés au reboisement en plus de la forêt de "Tapia" (*Uapaca bojeri*) déjà existante.

2.4.3.6 Classe XII : terres rocheuses ne répondant ni à la culture ni à la forêt

Cette classe de terres appartient aux sols à minéraux bruts de pente forte. Elle ne convient pas à la culture et au reboisement. Elles devaient être laissées sous végétation naturelle sans exploitation, à la faune et à l'écotourisme. En somme, la quasi-totalité des terres appartient aux sols ferrallitiques et se résume dans le tableau ci-après.

Tableau n° 6 : Caractéristiques des classes de sols citées précédemment

Types de sols	Caractéristiques							Classe de terres suivant valeur
	Epaisseur utilisable pour la culture (cm)	Texture de l'horizon supérieur	Pente	Erosion	pH	Fertilité	M.O	
- sols non climatiques : • d'érosion	50 à 90 3* (moyennant profond)	LA	Forte	En nappe sévère	Fortement acide	Faible	0,41 à 3,5% (moyenne)	Classe X
• lithosol	0	-	Forte	Nulle	-	-	-	Classe XII
- sols d'apport alluviaux	90 à 15 2* (profonds)	SL	Plane	Nulle	Acide	Faible	2,20 à 3,99 % (moyenne)	Classe I
- sols à "mull"	50 à 90 3* (moyennement profonds)	LS	Douce	En nappe modérée	Faiblement acide	Elevée	4,5 à 5% (Forte teneur)	Classes I, II
- Sols ferrallitiques tronqués : • Groupe de sol modal faiblement désaturé	50 à 90 3* (sols moyennement profonds)	AL	Douce	En nappe modérée	Fortement acide	Faible	1,95 à 2,77 % (moyenne)	Classes I, II
• Groupe de sol modal fortement désaturé	50 à 90 3* (moyennement profonds)	AL	Forte	En nappe sévère	Fortement acide	faible	1,30 à 5,5 % (moyenne)	Classes X
- sols ferrallitiques rajeunis: • Groupe de sol modal faiblement désaturé	90 à 1,5 2* (profond)	AL	Douce	En nappe	Fortement acide	faible	2,99 à 3,99% (moyenne)	Classes I, II
• Groupe de sol remanié fortement désaturé	90 à 1,5 2* (profond)	LA	Moyenne	Nappe sévère	Modérément acide	faible	3,10 à 3,23% (moyenne)	Classes X
- Sols hydromorphes : • à Gley	90 à 1,5 2* (profond)	AL	Plane	En nappe nulle ou faible	Modérément acide	faible	2,79 à 4,15% (moyenne)	Classes III
• à Pseudo Gley	90 à 1,5 2* (profond)	LA	Plane	En nappe nulle ou faible	Modérément acide	faible	1,46 à 1,59% (faible)	Classes III

D'après ce tableau, la majeure partie des sols du bassin versant du Lac Itasy a une fertilité faible sauf les sols brun eutrophes.

* correspond à la profondeur du sol utilisable pour la culture dans la carte d'aptitude du sol, le chiffre y afférent se trouve au numérateur de la fraction à droite de la lettre P (fig. 10).

2.4.3.7. Carte d'aptitude des sols

Comme il a été dit précédemment, la carte d'aptitude des sols est la synthèse de cartes thématiques (Cf. fig. 10). Ainsi, les cartes ci-après sont utilisées à l'élaboration de cette carte, à savoir : la carte pédologique, la carte de pentes d'érosion subies et de la sensibilité du sol à l'érosion, la carte géologique et la carte de valeurs des terres.

Les types de sols rencontrés dans le bassin versant et les symboles adoptés y afférents sont les suivants :

- sol d'apports alluviaux et colluviaux X1 63,
- sol ferrallitique typique modal VII31 1,
- sols à "mull" (matière organique évoluée) : sols brun eutrophes (correspondant au sol ferrallitique humifère) VIII31 3,
- sol ferrallitique typique tronqué X51 1,
- sol ferrallitique typique rajeuni VII30 3,
- sol hydromorphe à Gley et/ou à pseudo-gley IX 41 0,

2.4.4 Conclusion partielle

L'utilisation de sols est fonction du type de sol, de la pente du terrain, de la disponibilité de l'eau et de la valeur des terres. Ainsi le sol hydromorphe des bas-fonds est réservé à la riziculture alors que les "tanety", à dominance de sol ferrallitique sont utilisés pour les cultures sèches : manioc, maïs, arachides, haricots etc. Les prairies non utilisées à l'agriculture sont destinées au pâturage et au reboisement.

La classification des terres selon leur valeur est tributaire de leurs aptitudes culturales, c'est à dire de l'état de végétation et des caractéristiques du sol notamment les caractéristiques capitales, associées et additionnelles. A cet effet, on a rencontré six classes de terres, à savoir : classe I, classe II, classe III, classe VIII, classe X et classe XII (Cf. paragraphe 2.4.3).

TROISIEME PARTIE : PROPOSITION D'AMENAGEMENT

3.1 Généralité

L'aménagement consiste à arranger, à disposer et à répartir l'exploitation de sols selon leurs aptitudes culturales de manière à ce que ceux-ci donnent le meilleur rendement possible.

En tant que ressource naturelle, le sol tient un rôle fondamentalement important et essentiel dans la vie humaine. Dans cette optique, sa conservation mérite une grande attention et une responsabilité particulière tant au niveau national, régional que familial et individuel.

La présente proposition d'aménagement répond à la nécessité d'apporter des améliorations sur le système actuel d'utilisation de sols ainsi que sur les techniques culturales et pratiques d'élevage adoptées par la population. Elle prévoit également, l'aménagement de nouvelles terres à rizières et des terres de colline.

L'exploitation rationnelle de ces nouvelles terres demande de très gros travaux et d'importants investissements. Mais leur extension respective en rizière et en terrain de culture sèche contribue à résoudre les problèmes de l'alimentation d'une population en pleine expansion démographique (Ministère des Finances et de l'économie, 2000).

Face à cette aspiration, l'intensification de la production agricole constitue pour Madagascar un problème particulièrement urgent à résoudre. En tenant compte des types de sols, ainsi que de la classification de ceux-ci selon leur valeur et leur degré d'aménagement étudié et analysé précédemment, il en résulte que l'aménagement du bassin versant du lac Itasy est divisé en deux catégories :

- a) la classification de l'aménagement de sols afférent à la toposéquence
- b) la priorisation de l'intervention selon la typologie de bassins versants élémentaires constituant le grand bassin versant du lac Itasy.

En effet, la superficie totale du bassin versant du lac Itasy est de 55.423 ha qui se répartit comme suit :

- | | |
|------------------------|-------------|
| c) bas-fonds | : 8.544 ha |
| d) collines et reliefs | : 43.317 ha |
| e) lacs | : 3.562 ha |

3.2 Aménagement de sols selon la toposéquence

La gestion du bassin versant qui se base sur la protection et la conservation de sol appropriées devrait aboutir à une production soutenue. Pour que cette gestion soit efficace, elle doit tenir compte de l'équilibre agro-sylvo-pastoral suivant la configuration naturelle du milieu. C'est ainsi que le sol du bassin versant du lac Itasy est divisé en deux catégories, le sol de bas-fonds et le sol de colline.

Troisième partie : Proposition d'aménagement

Le sol de bas-fonds couvre une superficie de 8.544 ha tandis que celui de colline et relief est de 43.317 ha (terre haute). Cette dernière est répartie en deux classes suivant d'une part la pente moyenne et d'autre part le degré de dégradation de sols.

En effet, il s'est avéré que les pentes de colline sont scindées en quatre classes :

- a) pente de terrain inférieure à 15%
- b) pente de terrain supérieure à 15%
- c) pente de terrain comprise entre 15% à 30%
- d) pente de terrain au-dessus de 30%

Le sol de bas fond est constitué en grande partie par des rizières, qui sont déjà aménagées actuellement par la population. L'amélioration de ces rizières ne nécessite que peu de travaux d'aménagement qui, par conséquent ne demande que de faible coût d'aménagement bien à la portée de cette population, alors que la création de nouvelles rizières nécessite des gros travaux d'aménagement.

Par ailleurs, la mise en culture de colline à pente inférieure à 12% est à conseiller parce qu'elle a déjà fait l'objet d'essais concluants entrepris dans les différents chantiers de Défense et Restauration de sols à Madagascar (Alaotra, Ambatobe, Nanisana, Manankazo etc.). Dans ce sens, le système de gestion des eaux et de fertilité de surface doit être combiné à bon escient au système biologique et aux procédés mécaniques de conservation.

En ce qui concerne les pentes supérieures à 12%, la mise en culture est possible mais nécessite un système de protection et de conservation beaucoup plus coûteux à installer et à entretenir. La rentabilité ou bien la rationalisation de l'exploitation de sols sous cet angle de vue requiert l'introduction de culture de rentes qui exige un débouché facile (café, agrume, tabac, cornichon etc.).

Comme l'exploitation de sols demande d'investissements très conséquents, elle est en fait loin d'être à la portée de la population. Par conséquent, il serait mieux de se contenter d'exploiter les collines à pente inférieure à 12% avec l'application de système de production intensive appropriée.

A propos des collines à pente comprise entre 12% et 30%, elles devraient être réservées au pâturage et dont la conservation consiste à l'installation de bandes boisées isohypses doublées d'un fossé d'évacuation, et à l'introduction de plantes fourragères dans l'assolement.

Enfin, les terrains à pente supérieure à 30% sont réservés au reboisement en plein à une densité de l'ordre de 1.600 à 2.500 pieds à l'hectare. Il en est de même, pour les zones attaquées par l'érosion en nappe, rigole et "lavaka".

3.3 Système de protection et de conservation des terrains cultivables

En principe, il consiste à maintenir l'horizon humifère pour éviter l'épuisement du sol et la chute de la production, et d'empêcher la naissance de toutes autres formes de dégradation de sols causées par l'érosion. La mise en culture de terrains pourrait accélérer et favoriser le déclenchement de l'érosion.

Troisième partie : Proposition d'aménagement

L'érosion de la région est conditionnée par deux facteurs principaux : naturel et anthropique. Il s'agit pour le premier facteur, de l'eau de pluie qui tombe chaque année avec une précipitation annuelle de l'ordre de 1.471 mm.

L'intensité pluviométrique pouvant atteindre 100 mm/heure (cf. fig. 2), la protection des terrains cultivables doit être entreprise par le biais de lutttes biologiques et mécaniques.

La lutte mécanique repose sur l'utilisation d'un système anti-érosif qui consiste à mettre en place des ados labourés à l'aide de deux traits de charrue en endossant l'un au-dessus de l'autre et dont le canal en amont ainsi formé a une pente longitudinale inférieure à 3%. Ce canal sert à recevoir et à évacuer l'eau de ruissellement vers des zones engazonnées. Par contre le canal en aval des ados joue le rôle d'un fossé d'absorption totale des eaux pour la culture.

L'intervalle vertical entre les ados est donné par la formule de Ramser

$$I_v = 0,608 + 0,076p$$

La largeur des bandes de culture est fonction de la pente. Elle rétrécit au fur et à mesure que cette dernière augmente. Les bandes de cultures sont à installer et à labourer suivant les courbes de niveau en remontant de bas vers le haut de la parcelle de culture. Chaque bande enherbée est intercalée entre deux bandes de culture.

La lutte biologique contribue aussi à la diminution des dégâts qui pourraient être causés par l'énergie des gouttes de pluie et de l'eau de ruissellement. Ainsi, la plantation en *Elephant grass* (*Pennisetum purpurcum*) du rebord en amont des traits de charrue est nécessaire afin de pouvoir briser cette eau de ruissellement. Et les ados sont fixés par la culture de légumineuses dressées (*Tephrosia sp.*, *Cajanus indicus* etc.).

Dans le même ordre d'idée, l'utilisation de paillage est à conseiller parce qu'il favorise l'infiltration des eaux. L'intérêt de son emploi ne se limite pas uniquement sur cet avantage, il augmente aussi la teneur en matière organique et la fertilité du sol.

Par ailleurs, la pratique et l'adoption des techniques culturales varient avec les espèces à cultiver. De ce fait, il serait mieux de procéder à l'association de culture, la rotation et la mise en jachères périodiques des terrains de cultures.

A titre d'exemple, le manioc peut être associé avec le maïs et le haricot, le "voanjobory" (*Voandzeia sp.*) avec le maïs. La rotation de culture concerne à alterner annuellement la mise en culture de terrains avec des variétés différentes de culture, y compris la mise en jachère. Cette dernière contribue à la restauration de la structure et de la fertilité du sol.

En outre, il est à noter que, pour la culture de "tanety" (colline), l'amendement de sols en engrais minéraux en quantité réduite est aussi utile et l'enfouissement d'engrais vert doit être fait à la fin de la saison des pluies (BOURGEAT et AUBERT, 1972).. Cette quantité varie en fonction du type de plantes à cultiver (Plante à tubercule, plante à fruit, plante à graine, plante à tige et feuille etc.) et du rendement à escompter (DUCHAUFOR, 2001) Ces deux pratiques conduisent toujours à l'amélioration de la fertilité des sols donc pour un rendement agricole meilleur et soutenu.

Enfin, il est vivement recommandé de corriger les carences chimiques des sols ferrallitiques, de préférence par l'apport d'une fumure de redressement (ou de fond) et d'une fumure d'entretien. Le premier a pour but d'élever la concentration des éléments minéraux dans la solution du sol. A titre d'exemple, sur les hautes terres, l'apport de 2 t de dolomie à l'ha de 5 à 600 unités de P_2O_5 et 3 à 400 unités de K_2O est à préconiser. Le second est à apporter annuellement, dans le but de compenser les exportations et les pertes dues au lessivage. Celles-ci varient suivant les récoltes. L'apport en dolomie peut corriger le pH très bas de ces sols (4 - 4,5) dont les doses ne doivent pas être trop excessives (ne pas dépasser 2,5t/ha de dolomie) car une trop remontée du pH, liée à une très faible capacité d'échange, entraînerait une carence induite en oligo-éléments (BOURGEAT et AUBERT, 1972).

Il y a lieu de signaler que:

- pour toute culture, la nutrition azotée est en relation étroite avec l'alimentation en eau, c'est-à-dire tout stress hydrique provoque une carence azotée. Tout apport d'azote doit être fait au plus juste pour éviter la pollution des nappes. A titre d'exemple, 3kg d'azote est largement nécessaire pour produire un quintal de blé ou encore 8kg d'azote pour avoir un quintal de soja.

- la nutrition en phosphore est bien souvent lié à celui de la mobilisation des réserves, qui s'avère parfois difficile aussi bien en milieu acide, qu'en milieu neutre ou basique ;

- le maintien de l'équilibre nutritionnel entre les cations bivalents (Ca, Mg) et monovalent (K) est essentiel. Car l'excès d'un de ces éléments, provoque un phénomène d'antagonisme à l'endroit des deux autres. Aussi, l'apport de potasse (K) doit être conseillé, dans le cas de sols exceptionnellement riche en magnésium. Et l'enrichissement en K et Mg sera nécessaire dans le cas où le complexe absorbant du sol est presque exclusivement saturé en calcium et l'apport d'engrais potassiques doit être recommandé, dans le cas de sols exceptionnellement riches en magnésium pour équilibrer les teneurs existantes;

- les trois cations basiques Ca, Mg et K n'interviennent pas uniquement en tant qu'élément nutritif, mais ils jouent aussi un rôle essentiel dans la neutralisation de l'acidité, le maintien de l'activité biologique générale, et la structuration du sol (DUCHAUFOR, 2001).

Dans ces conditions, l'optimal pour les éléments phosphaté et calcique se situe à :

- pH 5,5 à 6 pour la nutrition en phosphore ;

- pH voisin de 6 et ne doit jamais dépasser 7 pour la nutrition en calcium (DUCHAUFOR, 2001).

3.4 Aménagement et gestion de pâturage

Comme il a été dit plus haut, les sols à pente comprise entre 12 à 30% sont à réserver pour les zones de pâturage. Ces dernières doivent être dévolues exclusivement à l'élevage de bétail. Autrement dit, elles ne doivent pas être utilisées pour la culture vivrière.

Etant donné la fréquence très marquée des feux de brousses dans certains endroits du bassin versant qui pourraient exposer le sol de pente moyenne à forte à l'érosion, une surveillance stricte de ces zones est nécessaire. Cette mesure est vivement souhaitée parce que la pente topographique élevée figure parmi les facteurs naturels d'érosion et de ruissellement de bas de versant, d'inondation, d'ensablement des plaines et rivières, ainsi que d'envasement des lacs.

C'est pour cette raison qu'une attention particulière doit être consacrée à la protection et à la conservation des zones de pâturage afin de pouvoir exploiter convenablement le sol. Compte tenu du climat de la région (régime climatique d'altitude sub-humide, ayant une précipitation agressive) l'installation d'un système qui peut diminuer considérablement le ruissellement et l'évacuation des eaux excédentaires sur des exutoires aménagés est une solution parmi tant d'autres.

En ce sens, on propose d'établir et d'intercaler les zones de pâturage de 40m de largeur par des bandes horizontales boisées d'une dimension de l'ordre de 10 m de largeur. Un fossé de diversion est à installer contiguëment à chaque partie inférieure de ces bandes.

La densité de plantation à adopter est de 125 plants par bande avec une plantation en quinconce à écartement de 2,50 m sur la ligne et 4 m entre les lignes. Ce qui fait qu'on enregistre 250 plants à l'ha pour deux bandes reboisées. Donc, ce système n'étouffe pas la végétation herbacée mais lui permet toujours de profiter de la lumière pour son développement.

Le fossé de protection sera confectionné de la même manière que précédemment. La bordure en amont et le bourrelet de terres ainsi formés seront protégés de la même façon que ceux des ados antiérosifs cités plus hauts.

En ce qui concerne les techniques de labour à préconiser, le sous-solage avec le tracteur est l'idéal pour le terrain à déclivité inférieure à 12%. Mais compte tenu du niveau de vie de la population qui ne peut pas prétendre à son usage, la pratique de reboisement par trouaison faite à la main demeure une alternative parce que c'est une technique à la fois à la portée des paysans et qui répond bien à la configuration des terrains à pente supérieure à 25%.

De préférence, l'eucalyptus est l'espèce à utiliser pour le reboisement car d'une part elle sert comme ombrage pour le bétail et résiste assez bien au feu, et d'autre part, elle rejette de souche après la coupe. En cas d'exploitation, l'eucalyptus peut procurer de bois de chauffe à la population locale. L'utilisation de Pin est également possible à condition qu'il n'y ait pas de feux de brousse.

En somme, pour qu'il y ait une meilleure gestion de pâturage, il est de préférence à :

- fixer la charge du pâturage selon la condition climatique et le sol à une tête de bétail entre 0,5 ha à 10 ha pour l'élevage extensif.
- faire une rotation afin de pouvoir accorder une période de repos à l'herbe pour ses repousses après passage fréquent des troupeaux. Dans ce cas, la durée de période de pâturage et de repos est fonction des zones climatiques.
- éviter le surpâturage parce que celui-ci conduit à la destruction des espèces pastorales les plus appréciées, à la diminution de la densité de couverture du sol. Une telle situation

pourrait favoriser l'érosion, la réduction de la valeur nutritive et la capacité de charge du pâturage.

- construire des passages inclinés par rapport à la ligne de la plus grande pente afin d'éviter tous risques d'érosion après passage fréquent des zébus.

Toutefois, ces mesures proposées demeurent utopiques tant qu'il n'y ait pas volonté d'application et de mise en place d'une structure locale fonctionnelle de gestion de pâturage.

3.5 Reboisement et aménagement de forêts

3.5.1 Reboisement

Dans l'application des systèmes de protection et de conservation de sol, l'utilisation de la forêt en tant que moyen de lutte contre l'érosion est la meilleure ; elle joue un rôle primordial et prend la première place par rapport aux autres systèmes énoncés précédemment. De ce fait, il a été préconisé plus haut que les terrains à pente supérieure à 30% et les terrains dégradés sont destinés au reboisement.

Les techniques de plantation y adoptées varient selon la pente et l'état de dégradation du sol. Pour les terrains à forte pente où aucune trace d'érosion n'est visible, le reboisement en plein et en quinconce est indispensable ; la densité de la plantation y est de 2.000 arbres par ha avec un écartement de 2,50 m x 2,50 m aussi bien sur la ligne qu'entre les lignes. Le labour en plein est à écarter au profit des trouaisons et/ou des banquettes.

Les espèces utilisées dépendent des besoins régionaux c'est à dire de l'écologie et de l'objectif de la population. Face à la superficie totale des forêts artificielles constituées principalement par l'Eucalyptus, quasiment négligeable par rapport à la superficie du bassin versant, la région ressentit un besoin énorme en bois de protection, d'énergie et de construction.

Pour résoudre ce problème, il est primordial de vulgariser l'emploi des espèces forestières à croissance rapide notamment l'Eucalyptus, l'Acacia et le Pinus. L'inconvénient de ce dernier est sa sensibilité au feu par rapport aux deux autres. De cette manière, son utilisation demande beaucoup de précautions contre les feux de brousse. A part ces espèces, il est aussi conseillé la vulgarisation des espèces autochtones telles que : *Uapaca bojeri*, *Canarium madagascariensis*, *Aucotea sp.*, *Dalbergia sp.*, etc.

Mais concernant les terrains où l'état de dégradation est très manifeste après quelques années de mise en culture, il a été recommandé vivement l'utilisation d'espèces forestières qui peuvent restaurer le sol d'une manière très rapide ; dans cette condition, la plantation de l'espèce *Melia azedarach* est une bonne solution car elle est aussi plus ou moins résistante au feu. Son avantage par rapport à l'eucalyptus et le pin : elle donne un humus moins acide et porte moins de préjudice aux cultures situées en contrebas, dans les bas-fonds.

Troisième partie : Proposition d'aménagement

Dans la zone à proximité des villages, l'arboriculture et la caféiculture peuvent fournir à la population de sources d'aliments, de revenu, d'ornementation du site, de protection et de conservation de contrebas. Dans tous les cas, la plantation se fait à la main, celle-ci étant identique à celle avancée dans les parties précédentes.

Afin de pouvoir obtenir de bons résultats, les traitements sylvicoles suivants seront à conseiller :

- le désherbage, l'éclaircie et l'élagage car ils conduisent à un bon peuplement ;
- le pare-feu périmétral et inter-parcellaire qui protège le peuplement contre le feu ;
- la construction et l'entretien des routes d'accès et d'évacuation des produits ;
- la construction de route de surveillance dans le cas de forêt de protection ;
- et la coupe réglementée dans le cas de l'exploitation forestière.

3.5.2 Aménagement de la forêt de "Tapia" (*Uapaca bojeri*)

La seule forêt naturelle du bassin versant est la forêt de "Tapia" (*Uapaca bojeri*) ; elle couvre une superficie de 5.474 ha et se trouve sur la partie orientale du bassin versant du lac Itasy notamment dans le bassin versant élémentaire V1. Son état est précaire à cause des différentes pressions qui pèsent sur la forêt, entre autres, les feux de brousse, les coupes illicites de bois et l'érosion du sol.

En effet, à titre indicatif, selon le Schéma d'Aménagement de la forêt de "Tapia" dans la province d'Antananarivo élaboré par la Direction Interrégionale des Eaux et Forêts, cette forêt de "Tapia" est divisée en trois (03) types de formation à savoir :

- (i) formation dense, 800 à 1200 tiges par ha,
- (ii) formation moyennement dense, 600 à 800 tiges par ha,
- (iii) formation disséminée, 400 à 600 tiges par ha.

Cette classification conduit nécessairement aux alternatives d'aménagement suivantes :

- (i) formation proche de localités les plus occupées ; elle demande un aménagement à approche pluridisciplinaire : aménagement du type agro-sylvo-pastoral,
- (ii) formation à proximité des petits villages ou hameaux, elle demande un aménagement typiquement sylvicole,
- (iii) formation qui touche le terroir ; elle a besoin d'aménagement intégré pour servir de test pilote.

3.6 Protection et fixation de "lavaka" et de berge

3.6.1 Protection et fixation de "lavaka"

Comme il a été soulevé dans la partie précédente que le bassin versant du lac Itasy est le théâtre de différentes formes d'érosion notamment en nappe, griffes, rigoles, "lavaka" et berge, la

première étape à faire est d'empêcher leur naissance c'est-à-dire d'appliquer les différentes techniques afférentes à la lutte mécanique et biologique citées auparavant.

Pour le cas de l'érosion en "lavaka", elle existe un peu partout dans le bassin versant, mais est particulièrement significative dans la partie Sud. Pourtant sa correction mérite une considération particulière.

Tant qu'elle est en pleine activité sa protection demande un coût d'investissement très élevé que la population locale ne peut se permettre sans l'appui ou aide financier et technique extérieur. Pour apaiser l'activité de l'érosion en "lavaka", il serait judicieux d'appliquer la technique la plus appropriée qui correspond bien à la réalité du milieu.

Il s'agit de procéder à la lutte mécanique suivie progressivement de la lutte biologique. D'une part, la première consiste à faire dissiper et évacuer les eaux de ruissellement de la partie en amont du bassin de réception du "lavaka" par la mise en place des deux canaux de ceinture espacés de 10 m vers les zones aménagées sans laisser dans la mesure du possible de traces d'infiltration.

Des fascines en bois, rangées en escalier à partir du cône de déjection, dont les dimensions de celles-ci varient selon la largeur du bassin de réception et des pièges à sable seront à établir. Ces derniers seront aussi installés dans la partie inférieure de ce cône. Et d'autre part, la seconde sert à fixer ces fascines par quelques végétations fixatrices telles que, le "bararata" (*Phragmites sp.*), le vétiver etc. au fur et à mesure que leur stabilisation se manifeste progressivement.

3.6.2 Protection de berge

En ce qui concerne l'érosion de berge, sa protection et sa correction se manifestent sur l'aménagement des lits de rivières sensibles et/ou attaquées par l'érosion. Il consiste à fixer les zones de berges touchées par l'érosion à l'aide de la mise en place de fascines faites en bois suivie de plantation de "bararata" et d'y arrêter toutes formes d'exploitation agricole.

Cette action d'aménagement isolée n'est pas suffisante car l'érosion risquerait de se produire de nouveau en cas de forte crue, si on ne l'associe pas avec les autres actions. Elle est plus efficace en considérant l'aménagement de l'ensemble du bassin versant comme un tout indissociable et complémentaire.

3.7 Protection et conservation des bas-fonds

Ce sont les plaines et les fonds des vallées des cours d'eau qui forment ce qu'on entend par bas-fonds. Dans la région du bassin versant du lac Itasy, ces derniers sont utilisés pour les cultures vivrières telles que le riz, le haricot, la tomate, le tarro, le manioc, le bananier etc. ; elles représentent la principale production et l'alimentation de base de la population.

A cause de la pente du terrain très faible, qui ne provoque aucun risque d'érosion, l'aménagement de ces zones ne demande pas de lutte anti-érosive comme celle de haute terre.

L'aménagement et le maintien de la fertilité sont primordiaux, et ce, en relation avec la protection des infrastructures hydro-agricoles.

En fait, afin de pouvoir assurer une production soutenue, il s'avère nécessaire d'apporter sur les terrains de cultures quelques amendements en fumure organique et un peu d'engrais minéraux notamment le N.P.K ainsi que du compost dans la mesure où la chute de production se manifeste. La dose utilisée pour l'engrais dépend de la carence du sol et du besoin de chaque variété de cultures.

Comme il s'agit de bas-fonds qui reçoivent les divers dépôts de ruissellement, leur aménagement est tributaire des parties hautes. Pour éviter tous les dommages qui pourraient entraîner l'érosion, l'installation de canaux de ceinture, de fosses d'interception et de dérivation en amont des champs de cultures et des infrastructures hydro-agricoles, dont les bords supérieurs seront plantés de haies vives d'*Elephant grass*, de *Tephrosia vogelii* etc. est à préconiser.

Cette mesure est prise pour servir de drainage des zones humides, de collecter et d'évacuer les eaux de ruissellement vers la zone aménagée et/ou engazonnée. Parallèlement à celle-ci le reboisement en contrebas des zones sensibles à l'érosion est à recommander. Les espèces à utiliser sont, l'*Acacia mangium*, le *Pinus kesiya* etc. ; l'*Eucalyptus sp* est à déconseiller car il risque de causer de problèmes aux cultures avoisinantes notamment le tarissement de source et l'acidification du sol. Cependant la plantation de haies vives est bénéfique, car l'*Elephant grass* servira comme espèce de protection et de fourrage, et le *Tephrosia vogellii* procure de biomasse pour la production de compost.

3.8 Critère prioritaire d'intervention d'aménagement du bassin versant

La priorisation d'intervention en matière d'aménagement dépend, de la pente, de l'intensification de l'agriculture, du degré d'érosion et de la nature de sol. La présence ou l'absence de ces éléments à certain degré diffère. Le choix de l'intervention cible donc les zones facilement aménageables et facilement restaurables avant de s'attaquer aux zones cruciales c'est-à-dire les terrains à pente supérieure à 15%.

D'après les données présentées au tableau N°3, la première intervention devrait être concentrée sur l'aménagement et restauration du BV₁. Les BV₅, BV₄ ; BV₃ occupent la deuxième position.

Enfin, la dernière intervention sera consacrée pour le BV₂.

3.9 Conclusion partielle

L'intervention en matière d'aménagement est fonction du système d'exploitation des sols (techniques culturales et système de production). Ce système d'exploitation est tributaire de la toposéquence du terrain.

De ce fait, l'exploitation des sols est divisée en quatre catégories :

- Les bas-fonds sont en général réservés à la riziculture ;
- Les collines à pente inférieure à 12% sont destinées à la culture sèche ;
- Les collines comprises entre 12 et 30% devraient être utilisées au pâturage ;
- Les collines à pente supérieure à 30% sont destinées au reboisement.

Troisième partie : Proposition d'aménagement

Par conséquent, les types de protection et de conservation y afférents sont de deux sortes : la lutte biologique et la lutte mécanique. La combinaison de ces deux types de lutte est à recommander pour l'exploitation des terrains à pente supérieure à 12%.

Enfin, pour corriger et fixer les "lavaka" et les berges, l'application de ces deux systèmes de lutte est aussi à recommander.

CONCLUSION GENERALE

Le développement de la région de l'Itasy dépend en grande partie de sa production agricole ou plus exactement de l'augmentation de sa production agricole.

Cependant, la qualité et la quantité de cette production agricole sont fonction du type de sol et de son aptitude culturale. La classification du sol utilisée est basée sur la combinaison de la classification française et celle américaine ; pour la classification des sols ferrallitiques, on se réfère à la classification de F. BOURGEAT et G. Aubert en 1972. Quant à la classification des valeurs des terres, on retient celle de F. FOURNIER et alia en 1955 laquelle a comme source la classification américaine.

Parmi les dix principaux types de sols de Madagascar, quatre classes de sols sont rencontrées dans le bassin versant du lac Itasy :

- les sols à minéraux bruts et peu évolués ;
- la classe des Sols à "mull" (matière organique évoluée) ;
- la classe de sols ferrallitiques ;
- et la classe de sols hydromorphes.

Dans la classe de sols à minéraux bruts et peu évolués, on rencontre la sous-classe de sols non climatiques avec le groupe de lithosols, le groupe de sols d'érosion et le groupe de sols d'apport/sous-groupe de sols alluviaux.

La classe des sols à "mull" (matière organique évoluée) est constituée par la sous classe des sols à "mull" des pays tropicaux, à pédoclimat chaud et humide avec le groupe de sols formés sur cendre volcanique/sous-groupe des sols bruns eutrophes tropicaux.

La classe de sols ferrallitiques est formée par deux sous-classes de sols, à savoir :

- les sols ferrallitiques tronqués ;
- les sols ferrallitiques rajeunis.

La sous-classe de sols ferrallitiques tronqués est constituée par le groupe de sols typiques à structure polyédrique / sous-groupe modal fortement désaturé.

La sous-classe de sols ferrallitiques rajeunis est composée de :

- groupe de sols typiques / sous-groupe modal faiblement désaturé ;
- groupe de sols typiques à structure polyédrique / sous-groupe modal faiblement désaturé à concrétion ferrugineuse ;
- groupe de sols remaniés typiques / sous-groupe remanié fortement désaturé.

La classe de sols hydromorphes dispose de trois sous-classes de sols :

- sols hydromorphes organique ou humifère ;
- sols hydromorphes moyennement organiques ;
- sols hydromorphes peu humifères à gley.

Dans la sous-classe de sols hydromorphes moyennement organiques, on rencontre le groupe de sols hydromorphes à gley ; alors que le groupe de sols hydromorphes à pseudo-gley se trouve dans la sous-classe de sols hydromorphes peu humifère à gley. Quant à la sous-classe de sols hydromorphes organique à gley on rencontre le groupe de sols tourbes eutrophes.

Sous l'action de deux facteurs d'érosion - le facteur naturel et le facteur anthropique, les sols des pentes et de berge sont exposés aux quatre formes d'érosion suivantes : l'érosion en nappe ; les griffes d'érosion et rigoles ; l'érosion en "lavaka" ; l'érosion de berge.

Dans le bassin versant du lac Itasy, la valeur des terres est répartie en six classes :

- classe I : terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture ;
- classe II : terres de bonne qualité moyennant quelques mesures de conservations ;
- classe III : terres à emploi limité par suite de sa pente topographique moyenne à forte et/ou à zone plane peu perméable ou trop humide ;
- classe VIII : terres d'assez bonne qualité pour le pâturage ;
- classe X : terres à vocation forestière ou de pâturage limité sous forêts ;
- classe XII : terres rocheuses ne répondant ni à la culture ni à la forêt.

Comme la protection de l'environnement et le développement agricole sont inséparables, il est nécessaire de mettre en œuvre un aménagement coordonné sur plusieurs fronts dans les bassins versants étudiés :

- Les superficies cultivées sur les terres fragiles, c'est à dire sur les sols facilement érodables dus à la déclivité importante et à la structure instable, doivent être réduites ;
- Les superficies cultivées sur les larges replats et bas fonds doivent bénéficier de protection culturale contre les aléas climatiques comme l'irrigation, le drainage l'utilisation rationnelle de fumure organique et minérale, l'amélioration des techniques culturales, l'utilisation de semences améliorées ;
- Le couvert arbustif doit être augmenté et préservé contre l'action du vent et des pluies sinon les sols s'érodent, les terres fines (limon, sable fin, argile) sont emportées et provoquent ainsi la stérilisation des terrains en amont et l'envasement et ensablement avec risques accrus d'inondation des terrains en aval ;
- Les cultures en sillons, parallèles aux courbes de niveau et même la construction de banquettes anti-érosives sont à préconiser sur les terrains à forte pente et à pente moyenne ;
- La reconstitution du peuplement des graminées dans les zones pastorales s'avère nécessaire. Il en est de même de la rationalisation de l'exploitation des pâturages. En somme, il faut adapter la charge de bétail au potentiel des terres ;
- La protection et la restauration du milieu ainsi que l'augmentation de la production dépendent de l'activité des communautés de base, d'où la nécessité impérieuse des campagnes de conscientisation et de vulgarisation technique à leur endroit ;

Conclusion générale

- La refonte du régime foncier pourrait s'avérer nécessaire car en réalité, personne ne se soucie des terres qui appartiennent à tout le monde, c'est à dire à quiconque.

Bref, comme le sol joue le rôle de support et de pourvoyeur en éléments nutritifs, l'utilisation des terres que nous avons proposée a toujours tenu compte en leur protection et conservation et en cas de nécessité en leur restauration. Le développement et la prospérité des zones étudiées en dépendent largement.

Pour pérenniser l'essor économique de la région de l'Itasy qui est basé sur l'agriculture, la pêche et l'élevage, les interventions en matière de protection et de conservation des sols doivent être entreprises à long terme, y compris celles de la recherche correspondante en vue de son application.

Par ailleurs, la mise en œuvre du présent mémoire requiert l'élaboration de manuels de procédures techniques et fiches techniques de vulgarisation relatant les dispositifs antiérosifs et les techniques agroforesteries qui conviennent aux conditions écologiques pour un meilleur développement durable de la région.

BIBLIOGRAPHIE

- BAILLY. C, 1964** - Eléments de Défense et restauration des sols à Madagascar.
- BATTISTINI R. et al., 1972** - Revue de Géographie de l'Université de Madagascar – NXX, 183p.
- BOULAIN J., 1966** - Cahier O.R.S.T.O.M Série Pédologie Vol. IV, Fasc.1 page 3 à 7 : <<- Sur la précision des cartes pédologiques>>.
- BOURGEAT F. et AUBERT G.-** Revue de Géographie de l'Université de Madagascar, 1972.
- BOURGEAT F. et PETIT M. ,1966** - Les stries et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches
- BOURGEAT F. et ZEBROWSKI C., HUYNH VAN NHAN, VICARIOT F., 1975** - Relation entre le relief : les types de sols, et leurs aptitudes culturales sur les hautes terres malgaches. Terre malgache n° 17.
- CAB INTERNATIONAL, 1978** Soil Science Books,
- CATENA, 1978** An interdisciplinary journal of: Pedology - Hydrology - Geomorphology. VOL.8, NO.3/4, 323p.
- CENTRE DE FORMATION AUX SCIENCES DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET DE L'ENVIRONNEMENT (C.F.S.I.G.E), 2001** – Le Système d'Information Géographique, 64p.
- CLAVREL J.Y., 1991** - Consultant en Sensibilisation / Animation Restauration et Aménagement de quatre bassins versants dans la province d'Antananarivo, Projet – MAG/88/032. Rapport de mission (document dactylographié),
- COURS ronéotype de Défense et Restauration du Sol - ENSA - Antananarivo, 1965,** 70p
- D'HOORE J., 1964**-Les sols malgaches.
- DIRECTION AGRICULTURE, FORETS ET ELEVAGE DU MINISTERE DES COLONIES A BRUXELLES, 1954** –Deuxième Conférence Interafricaine des sols - Volume II, Léopoldville - Congo belge, 1544 p.
- DIRECTION INTER-REGIONALE DES EAUX ET FORETS ANTANANARIVO, 2000** - Schéma d'aménagement de la forêt de « Tapia » dans la province d'Antananarivo, 67p.
- DUCHAUFOR P., 1965** - Précis de pédologie. Masson et Compagnie, Paris 481p.
- DUCHAUFOR P., 2001** – Introduction à la science du sol, végétation, environnement, S.N.E.L S.A. rue Saint-Vincent 12 - B-4020 Liège tel. 32(0)4 344 65 60 - fax 32(0)4 341 48 41 Belgique, 331p.
- DUREL L., 1976**-Estimation des débits de crues à Madagascar.
- F.A.O, 1974** Soil Survey and Fertility Branch - Land and Water development Division Guidelines for Soil description, 53 p
- F.A.O, 1956** - La prospection des sols en vue de la mise en valeur des terres, 128 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS ROME, 1983** - Guidelines Land evaluation for rainfed agriculture

- FOURNIER F., MOULINIER H., MOUREAUX CL.**, 1955 - Aspects de la science du sol aux Etats –Unis, Rapport de mission 1950 – 1951. Bulletin N°6, 116 p.
- GIL N.**, 1986 - Aménagement des bassins versants. Conservation des sols et des eaux. Bulletin pédologique de la F.A.O 44.Rome.
- HAUT COMMISSARIAT DE MADAGASCAR / BUREAU GEOLOGIQUE ANTANANARIVO MADAGASCAR**, 1952 - Contribution à l'étude de l'érosion des sols à Madagascar, Document n °16.
- HERVIEU J.**, 1967 - Contribution a l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Thèse (doctorat d'Etat). Paris, ORSTOM, Mémoire ORSTOM n°24, 465p.
- HERVIEU J.**, 1967 - Géographie des sols malgaches Cah. ORSTOM, Sér. Pédol, vol. V, n°1, 1967, 82p.
- INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA)**, 1992 - Référentiel pédologique Principaux sols d'Europe, 222p.
- JAPAN INTERNATIONAL RESEARCH CENTER FOR AGRICULTURAL SCIENCES (JIRCAS), MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES (MAFF)**, 1999 - The 6th JIRCAS International Symposium GIS Applications for Agro-environmental Issues in Developing Regions, 28p.
- LAROUSSE**, 1973 - Pédologie, Encyclopédie Internationale des Sciences et Techniques, Tome 8, 981 pages, page 754p.
- LAROUSSE**, 1973 - Encyclopédie internationale des Sciences et des Techniques, Volume n° 9, page 808 à 809, 876p.
- MADAGASCAR REVUE DE GEOGRAPHIE** – N°XX, 1972, 183p.
- MINISTERE DE LA PRODUCTION ANIMALE (ELEVAGE ET PECHE) ET DES EAUX ET FORETS**, 1984 - Stratégie malgache pour la conservation et le développement durable.
- MINISTERE DES FINANCES ET DE L'ECONOMIE**, 2001 Inventaire de Fivondronana de Madagascar.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PECHE**, 2003 - Unité de Politique de Développement Rural (UPDR) / Monographie de Région d'Antananarivo, 138p.
- MORAT P.**, 1969 - Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'EMBERGER. Cah ORSTOM, ser.Bio n10.
- MUNSELL COLOR COMPANY, INS. MUNSELL SOIL COLOR CHARTS**, 1954 - Baltimore, Maryland 21218 U.S.A.
- NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT et WWF – FONDS MONDIAL POUR LA NATURE**, 1990 - Madagascar Profil de l'environnement, 439p.
- RANDRIAMBOAVONJY J. C.**, 1995 - Cours de pédologie appliquée ESSA/Forêts, Antananarivo, 217p.

- RANDRIAMBOAVONJY J. C.**, 1996 - Les principaux Pédopaysages à Madagascar, la série du département des Eaux et Forêts : N°3, 177 p.
- RANDRIAMBOAVONJY J. C.**, 2005 - Classification générale des sols selon l'aptitude par
- RIQUIER J. en 1956** - Support de cours DEA DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS.
- RANDRIAMAMONJIZAKA J. L.**, 1991 - Expert National en PEDOLOGIE Etude pédologique des bassins versants Andoharina et Mahandro.
- RAZAFINDRAKOTO M. A.**, 2004 - Stratégie de Lutte Antiérosive pour la Protection des Bassins Versants- Cours DEA DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS.
- RAZAFINTSALAMA Cl. R.**, 1996 - Contribution à l'étude de l'érosion et de la gestion traditionnelle des eaux et de la fertilité des sols, 49p.
- REGION ITASY**, 2005 – Plan de Développement Régional Itasy, 78p.
- ROOSE E.**, 1994 Introduction à la Gestion Conservatoire de l'Eau, de la Biomasse et de la fertilité des Sols (GCES) Bulletin pédologique de la FAO n° 70. ROME, 420p.
- LAROUSSE**, 1973 - Pédologie, Encyclopédie Internationale des Sciences et Techniques, Tome 8, 981 pages, page 754p.
- UICN – L'ALLIANCE MODIALE POUR LA NATURE, PNUE – PROGRAMME DES UNIVERSITE DE MADAGASCAR ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE**, 1968 - Terre Malgache, janvier, 174p.
- SANCHEZ P. A.**, 1976- Properties and Management of soils in the tropics, 618p.
- SERVICE PROVINCIAL DES EAUX ET FORETS D'ANTANANARIVO**, 1993 - Stratégie forestière du Faritany d'Antananarivo.
- SERVICE PROVINCIAL DES EAUX ET FORETS D'ANTANANARIVO**, 1991 - Projet – MAG/88/032 Aménagement des bassins versants (Andoharina et Mahandro) de Miarinarivo : Etudes socio-économiques, Etude de l'occupation du sol, septembre (document dactylographié).
- VELOZO R. DE C.**, 1989 - Consultant à la F.A.O Mesures d'incitation pour encourager la communauté à participer aux programmes de conservation. Cahier F.A.O Conservation 12, ROME, 165p.
- WENHUA L. et PANDAY Kk.**, 1985 - Watershed management, 159p.

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

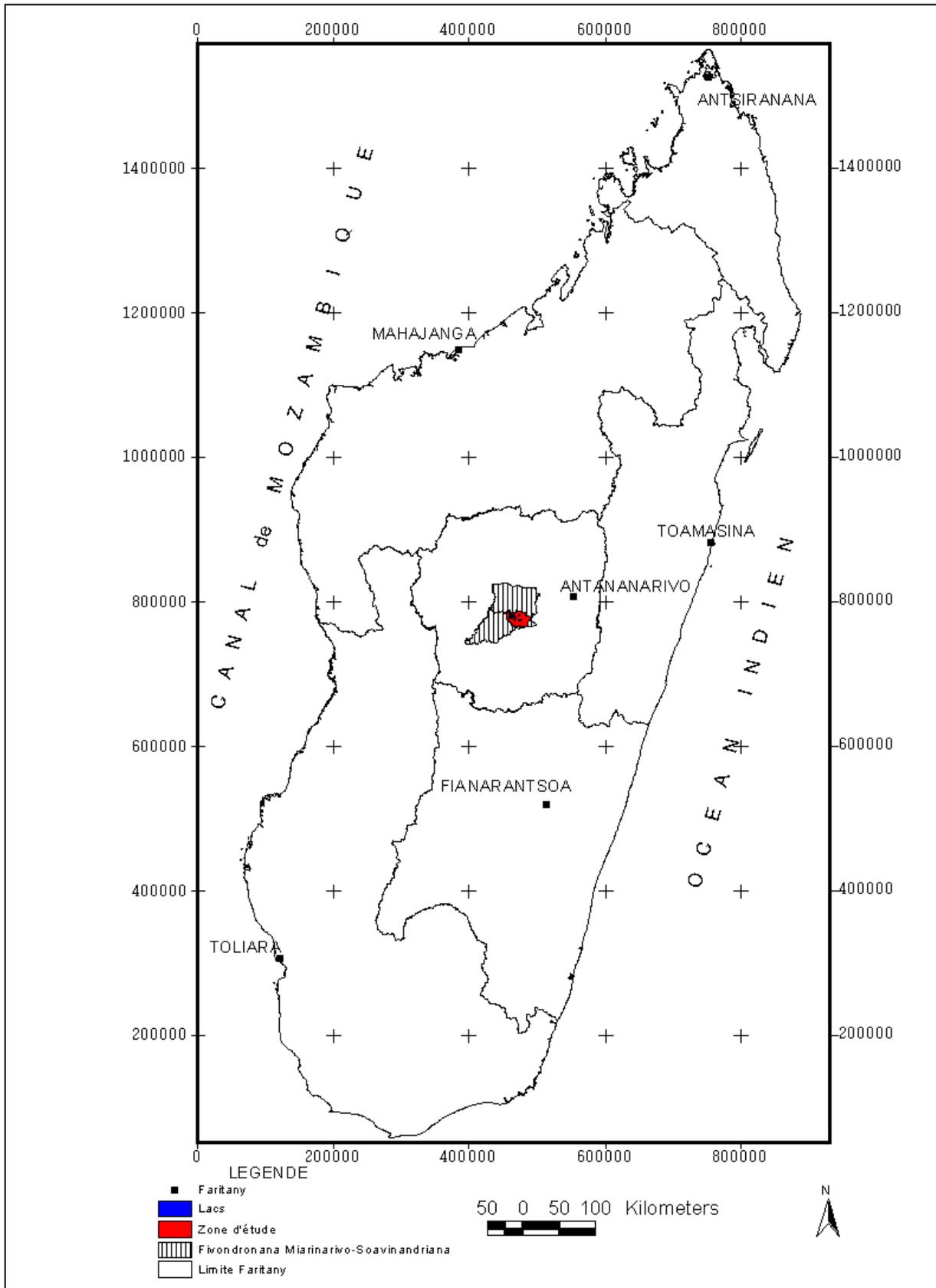


Figure 2: Carte des zones d'érosion caractérisées par l'intensité pluviométrique horaire régionale d'après étude de B.SOUCHIER

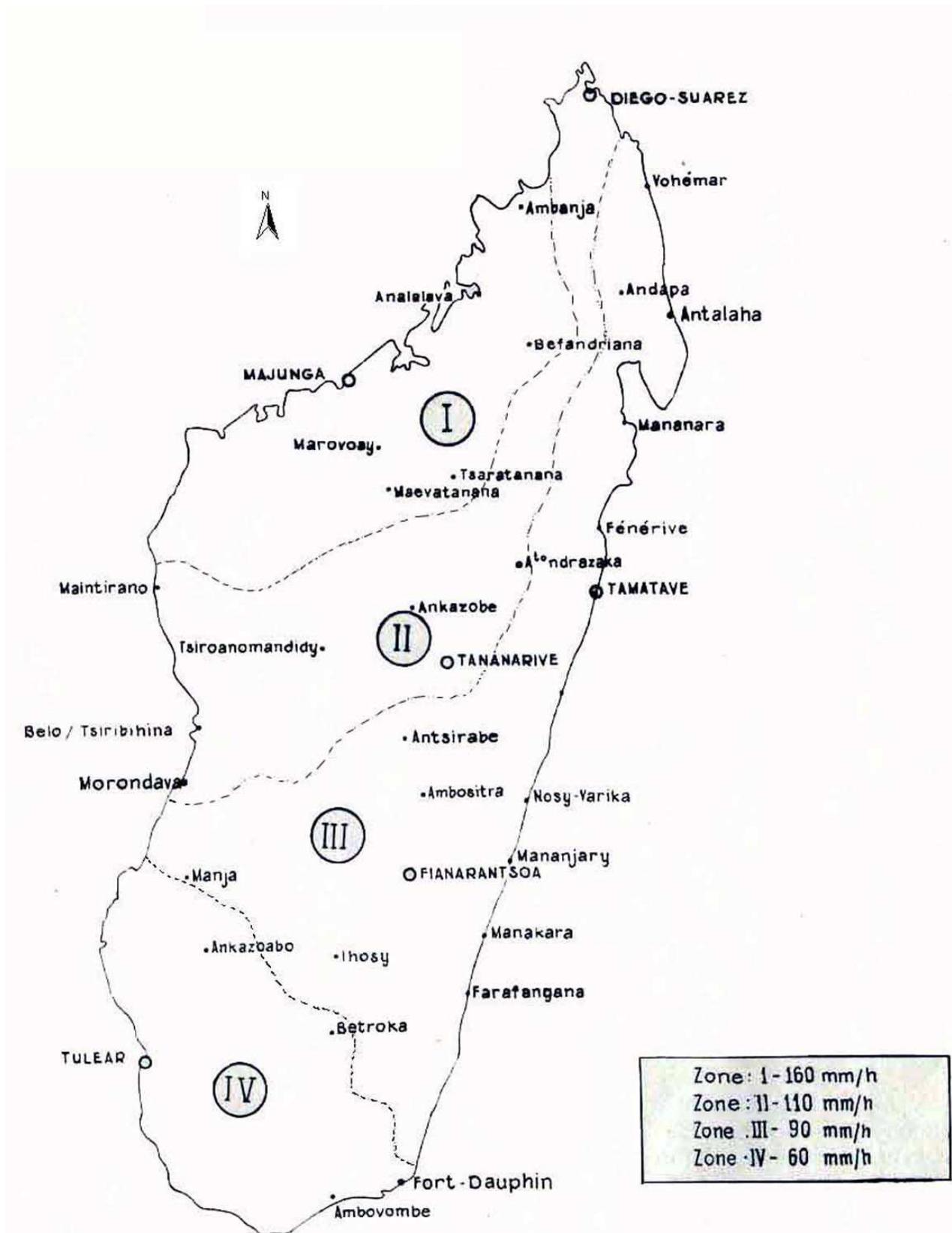


Figure 5 : Profil Nord Ouest-Sud Est du bassin versant du Lac Itasy

Altitude



Figure 6: Profil Sud Ouest-Nord Est du bassin versant du Lac Itasy

Altitude

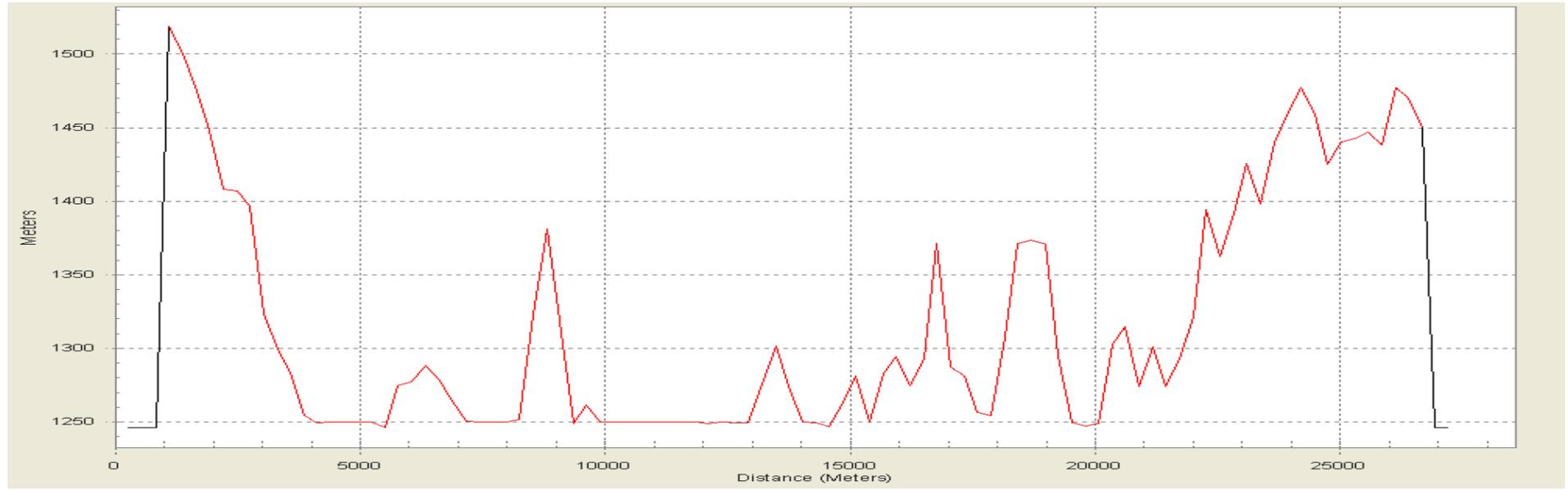
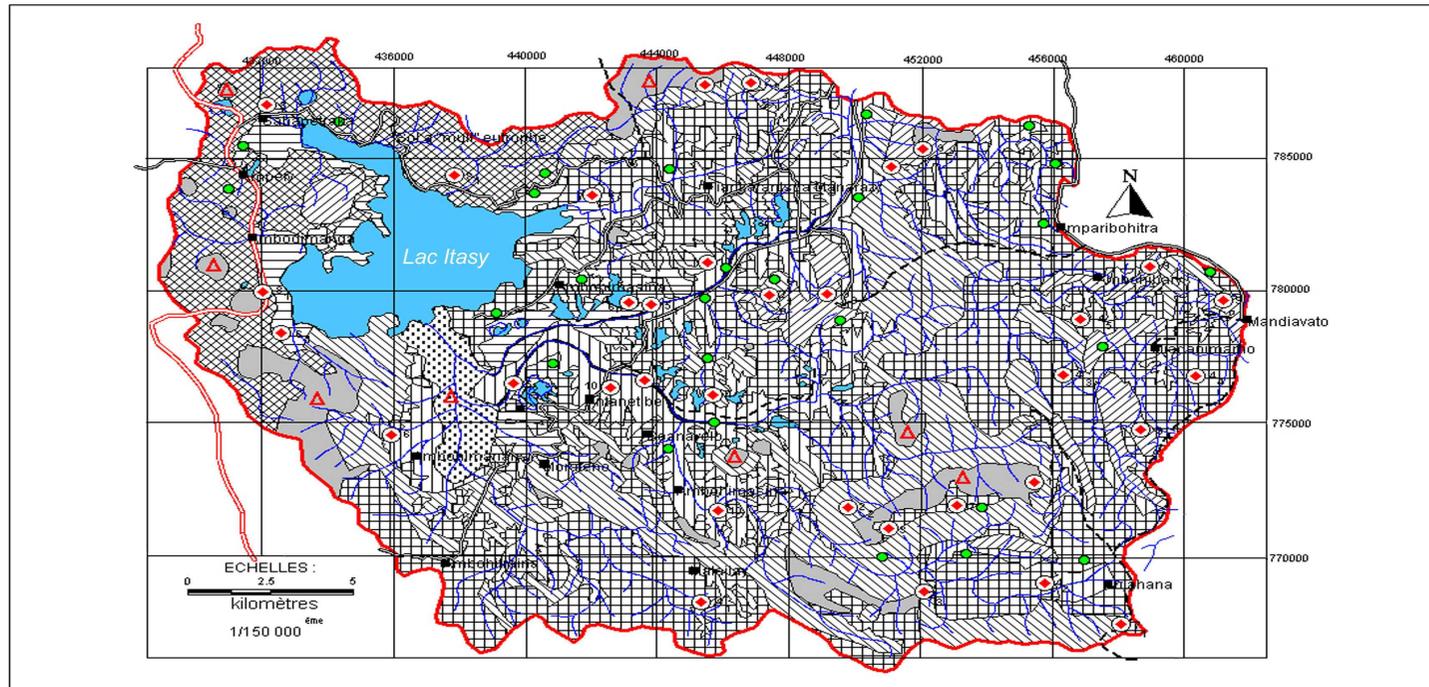


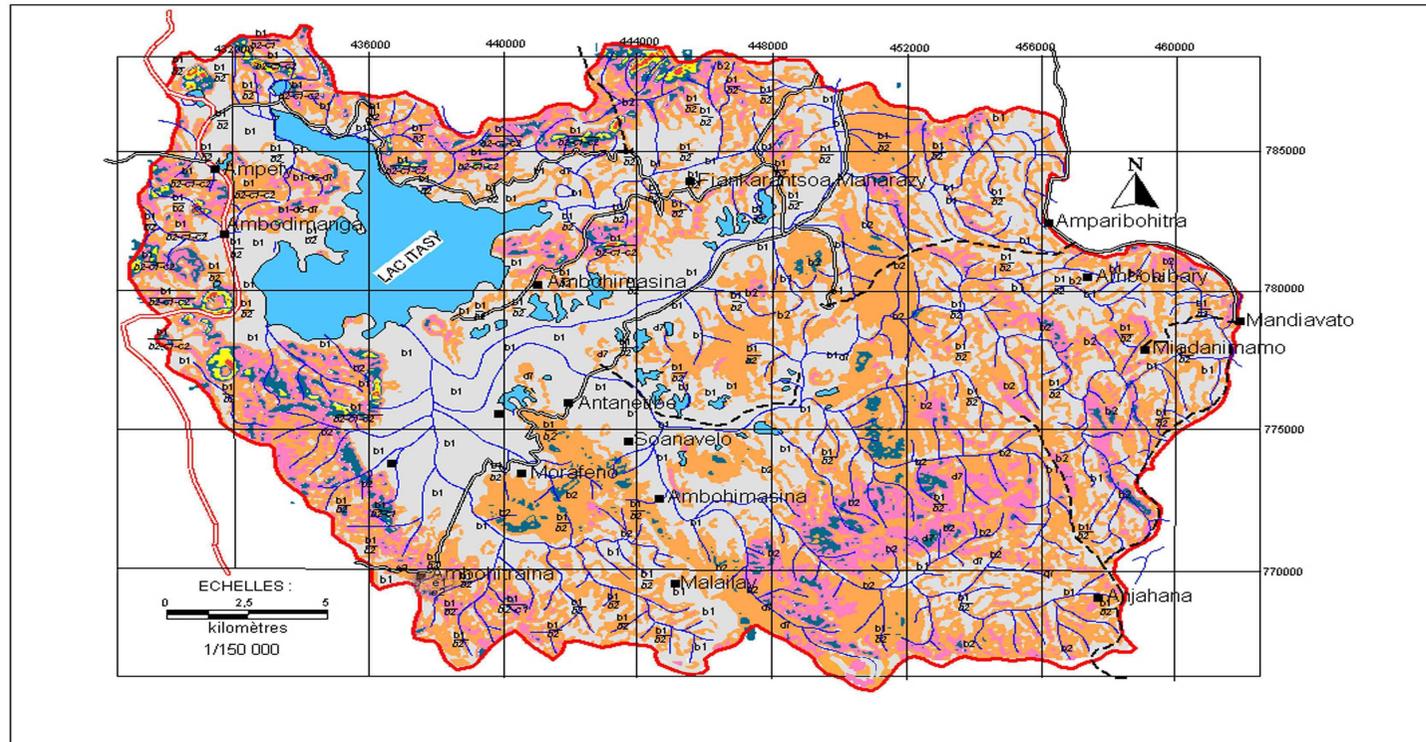
Figure 7: Carte pédologique du bassin du Lac Itasy



LEGENDE

- | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|  | Sols ferrallitiques rajeunis remaniés |  | Sols hydromorphes à gley himifère ou organique |  | Village |
|  | Sols ferrallitiques typiques modaux |  | Sols hydromorphes à gley tourbe eutrophe |  | hydrographie |
|  | Sols ferrallitiques rajeunis tronqués |  | Lithosols |  | Route Nationale |
|  | Sols hydromorphes à pseudo-gley peu humifère |  | Sols alluviaux |  | Piste |
|  | Sol à "mull" eutrophe |  | Lacs |  | Sentier |
| | |  | Points de sondage pour description uniquement : Nombre naturel "N" pair ou impair ' indice "n" |  | Limite |
| | |  | Points de sondage pour description et échantillons pour analyse au laboratoire : Nombre naturel "N" pair ou impair' | | |
| | |  | Points d'observation : Description à l'oeil nu | | |
| | | | Points de prélèvement pour recouplement : structure et texture | | |

Figure 8: Carte de pentes, d'érosion subie et de sensibilité des sols à l'érosion du bassin versant Lac Itasy



LEGENDE

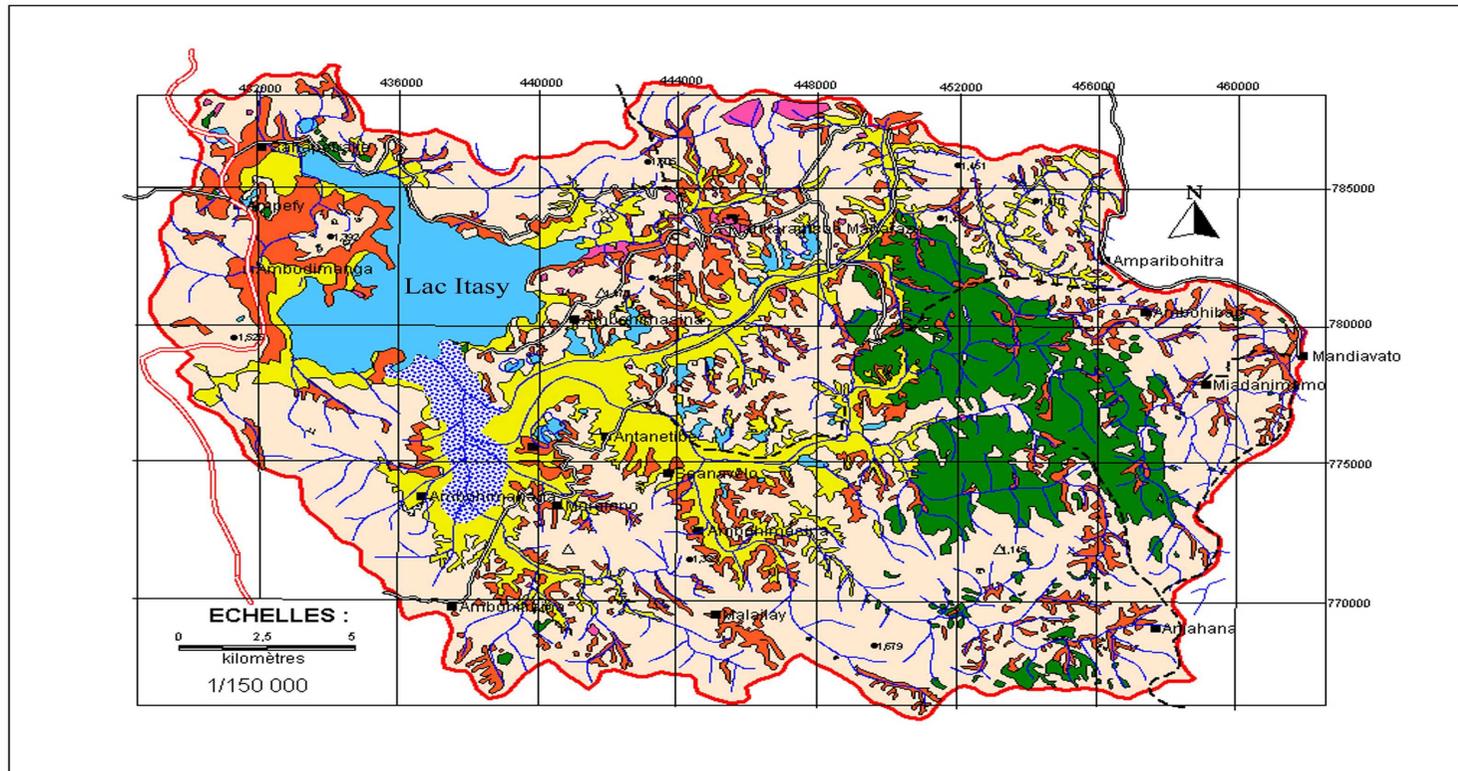
- Village
- Route Nationale
- Route Secondaire
- - - Piste
- Hydrographie

Classement des pentes en (%)

0 à 5
5 à 10
10 à 15
15 à 20
20 à 25
25 à 30
30 à 35

Erosion subie au numérateur	Erosion à risque au dénominateur représenté par lettre italique
<ul style="list-style-type: none"> - Erosion en nappe <i>b₁</i> : 0 à 25 % de l'horizon supérieur enlevé - Erosion en ravinement <i>e₁</i> : horizon de départ atteint - Erosion en « lavaka » <i>d₆</i> : horizon de départ atteint <i>d₇</i> : roche mère atteint 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosion en nappe <i>b₂</i> : 25 à 75 % de l'horizon supérieur enlevé - Erosion en rigoles <i>c₁</i> : 0 à 25 % de l'horizon humifère supérieur atteint <i>c₂</i> : 25 à 75 % de l'horizon humifère supérieur atteint - Erosion en ravinement <i>e₂</i> : roche mère atteint

Figure 9 : Carte d'occupation de sols du bassin versant du Lac Itasy

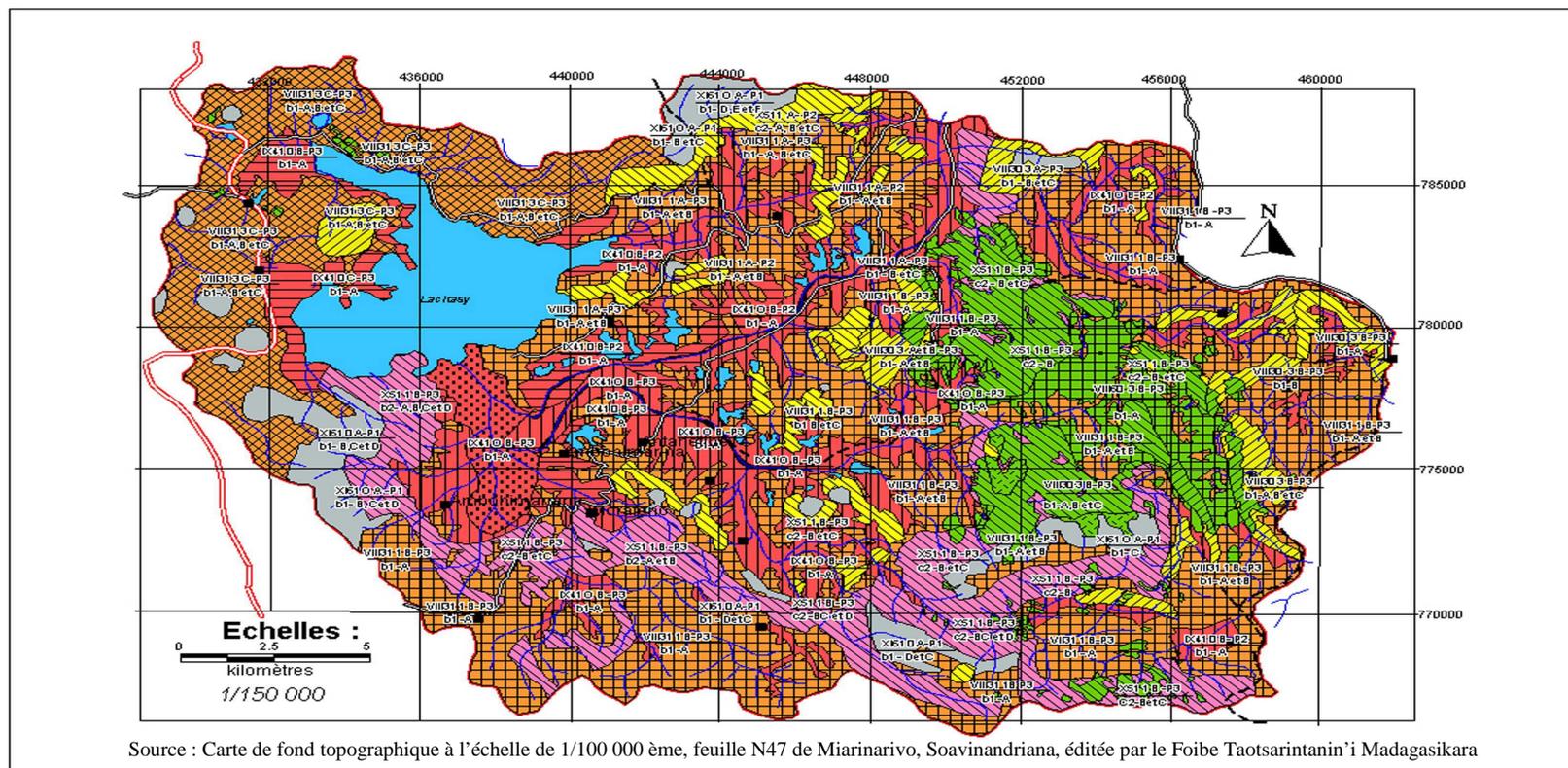


LEGENDE

- | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|  | Reboisement |  | Lacs |  | Point coté |
|  | Couverture TAPIA |  | Marais |  | Village |
|  | Rizière |  | Route Nationale | | |
|  | Champs de cultures |  | Piste | | |
|  | Prairie |  | Sentier | | |
| | |  | Limite de la zone d'étude | | |

Source : Carte suivant l'interprétation des photos aériennes de 1949 avec recoupement sur le terrain

Figure 10: Carte d'aptitude des sols du bassin versant du Lac Itasy

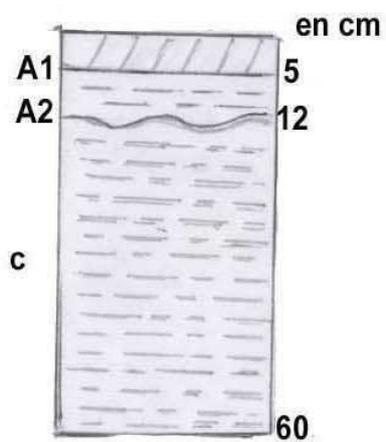


LEGENDE

- | | | | | |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| I |  | Terres de bonnes qualités moyennant quelques mesures de conservation |  | Lacs |
| II |  | Terres à emploi limité par suite de sa pente topographique moyenne à forte et ou à zone plane peu perméable ou trop humide |  | Village |
| III |  | Terres d'assez bonne qualité pour le pâturage |  | Route Nationale |
| < |  | Terres actuellement sous végétation forestière |  | Piste |
| ⊂ |  | Terres à vocation de reboisement |  | hydrographie |
| ⊃ |  | Terres rocheuses ne répondant pas à la culture et à la forêt | | |

Figure 11: Profils types de référence

Profil type n°1
Ambohitratsanga



Profil type n°5
Antanetibe

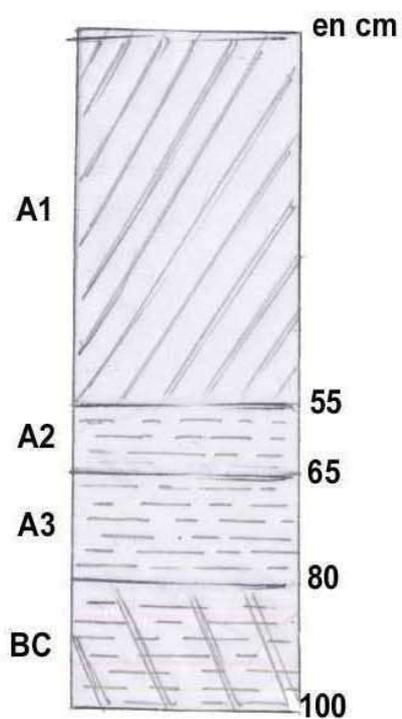
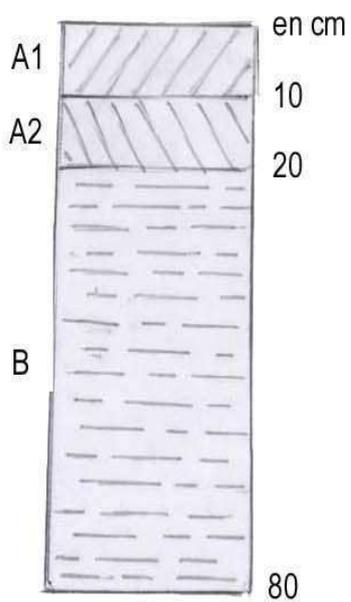


Figure 112: Profils types de référence (suite).

Profil type n°3

Nanja



Profil type n° 9

Monimbola

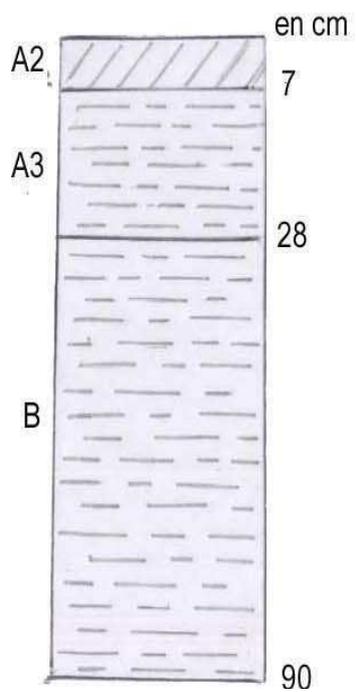
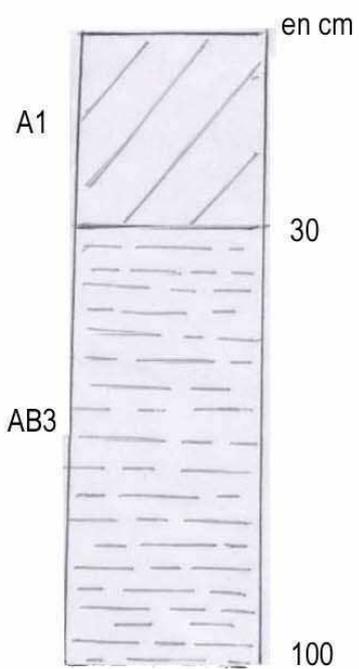


Figure 11 : Profils types de référence (suite)

Profil type n°6

Tandrokondry



Profil type n°10

Antanetibe

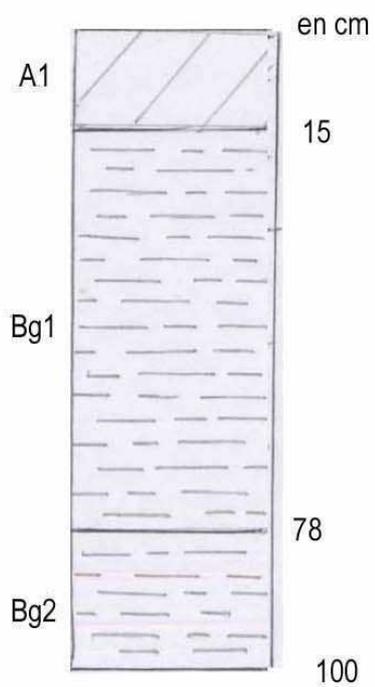
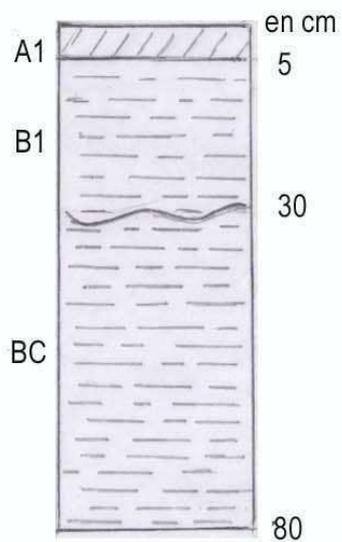


Figure 11 : Profils types de référence (suite).

Profil type n°7

Nanja



Profil type n° 4

Morarano

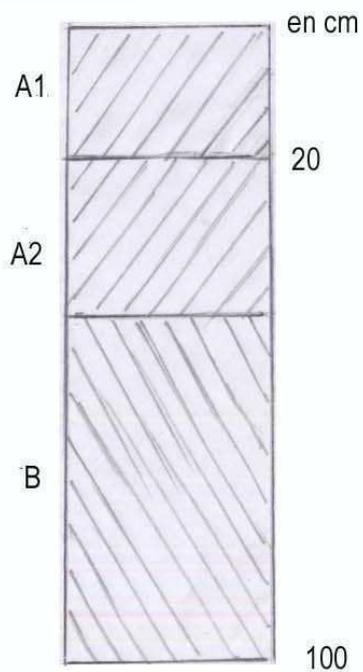
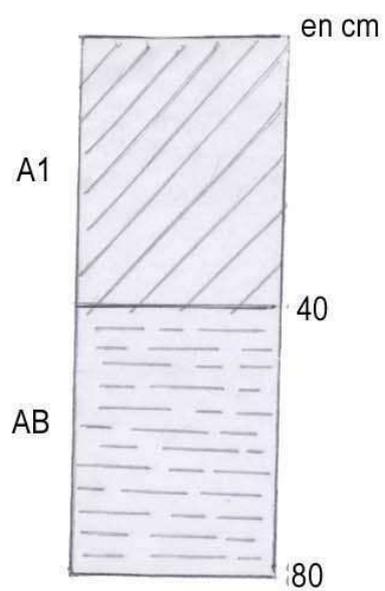


Figure 11 : Profils types de référence (suite).

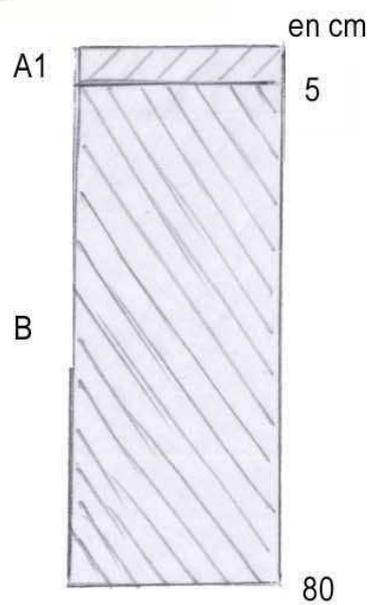
Profil type n°8

Sahapetraka Ampefy



Profil type n° 2

Antsahabe



ANNEXE I : PRINCIPAUX PROFILS DE REFERENCE (DUCHAUFOUR, 2001)

Référentiel utilisé par les pédologues français issu de la mise à jour de la classification française, il comprend 13 classes :

I. SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ÉROSION OU D'APPORT :

- 1) *Sols d'érosion* : lithosols, régosols
- 2) *Sols d'apport* : **sols alluviaux**, sols colluviaux

II. SOLS DES ZONES À CLIMAT EXTRÊME. PROCESSUS : CRYOTURBATION, CALCIFICATION

- 1) *Cryoturbation* : *cryosols*
- 2) *Calcification* : sols désertiques et subdésertiques ; reg, erg ; **sols gris subdésertiques (sierozems)**

III. SOLS HUMIFÈRES DÉSATURÉS. PROCESSUS : CRYOPTOPODZOLISATION, ANDOSOLISATION

- 1) *Formation d'humus alpin* : **ranker alpin**
- 2) *Cryptopodzolisation* : **sol cryptopodzolique humifère**
- 3) *Adosolisation* : **andosol humifère**

IV. SOLS CALCIMAGNÉSIQUES. PROCESSUS : CARBONATATION CALCIQUE

- 1) *Sols calcimagnésiques humifères* : rendzine humifère
- 2) *Mélanisation calcique* : sol humo-calcaire, sol humo-calcique
- 3) *Carbonatation et brunification* : sol brun calcaire, sol brun calcique

V. SOLS BRUNIFIES. PROCESSUS : BRUNIFICATION, LESSIVAGE

- 1) *Brunification* : sol brun acide, sol brun eutrophe
- 2) *Brunification et lessivage* : sol brun lessive
- 3) *Lessivage* : sol lessive acide, sol lessive glossique, sols lessives boreaux et gris forestiers.

VI. SOLS PODZOLISES PROCESSUS : PODZOLISATION

- 1) *Podzolisation simple* : podzol meuble, podzol humo-ferrugineux, podzol humique.
- 2) *Podzolisation et hydromorphie* : podzol humique hydromorphe, podzol hydromorphe à alios ferrugineux, podzol hydromorphe placique, podzol géant tropical.

VII. SOLS MELANISES. PROCESSUS : MELANISATION CLIMATIQUE

- 1) *Mélanisation et bioturbation* : chernozem humifère, sol châtain de steppe.
- 2) *Mélanisation et brunification* : brunizems et phaeozems.
- 3) *Mélanisation, fersiallisation, calcification* : sol marron à croûte calcaire, sols brun et brun-rouge subarides.

VIII. VERTISOLS. PROCESSUS : VERTISOLISATION

- 1) *Vertisolisation, pedoturbation, mélanisation* : vertisol fonce.
- 2) *Vertisolisation (type intergrades)* : sol brun eutrophe vertique, pelosol vertique.

IX. SOL FERSIALLITIQUE. PROCESSUS : FERSIALLITISATION

- 1) *Fersiallisation et rubéfaction* : sol rouge fersiallitique.

- 2) *Fersiallisation et brunification* : sols bruns fersiallitiques, sols bruns eutrophes tropicaux
- 3) *Fersiallisation, appauvrissement, hydromorphie* : sols fersiallitiques désaturés, sols fersiallitiques ocres.

X. SOLS FERRUGINEUX. PROCESSUS : FERRUGINATION

- 1) *Ferrugination, acidification faible ou nulle* : sol ferrugineux tropical.
- 2) *Ferrugination, acidification* : sols ferrugineux désaturés, ferrisols.

XI. SOLS FERRALLITIQUES. PROCESSUS : FERRALLITISATION

- 1) *Ferrallitisation (sensu stricto)* : sol ferrallitique meuble.
- 2) **Sols ferrallitiques à concrétions et cuirasse.**
- 3) *Allitisation et ferritisation* : oxydisols : sols allitiques et ferritiques.

XII. SOLS HYDROMORPHES PROCESSUS : OXYDO-REDUCTION, PLANOSOLISATION

- 1) *Hydromorphie superficielle, nappe perchée* : pseudogley glossique, stagnogley
- 2) *Hydromorphie d'imbibition capillaire* : pseudogley-pelosols
- 3) *Hydromorphie superficielle, contact textural abrupt* : planosol
- 4) *Hydromorphie profonde permanente* : gley oxyde humifère
- 5) *Hydromorphie, anixie* : tourbes, tourbe acide, tourbe eutrophe

XIII. SOLS SALSODIQUES. PROCESSUS : SALINISATION, SULFATO-REDUCTION, ALCANISATION

- 1) *Salinisation* : sol salin à complexe calcique, sol salin à complexe sodique.
- 2) *Sulfato-réduction* : thiosol réduit, sol sulfate acide.
- 3) *Sodisation alcalinisation* : sol alcalin non lessive, sol alcalin lessive (solonetz), sol alcalin dégradé (soloth).

NB : - La graisse indique les sols de références les plus importants.

- Référentiel issu de la classification CPCS 1967

Quant à la classification américaine (DUCHAUFOR, 2001), elle en compte 12 : (1) *Entisols* : sols peu évolués sans horizon diagnostic (sols alluviaux, régosols, lithosols) (suffixe *ent*) - (2) *Vertisols* : sols à argiles gonflantes (suffixe *ert*) - (3) *Inceptisols* : sols à horizon diagnostic se formant rapidement (umbrique ou cambique : sols brun, ranker, (suffixe *ept*) - (4) *Aridisols* : sols de climat aride (suffixe *id*) - (5) *Mollisols* : sols à horizon mollique (rendzines, brunizems, chernozems, sols chatains) (suffixe *oll*) - (6) *Spodosols* : sols à horizon spodique (podzol) (suffixe *od*) - (7) *Alfisols* : sols Bt argillique, peu altérés, peu désaturés (sols lessives) (suffixe *alf*) - (8) *Ultisols* : sols Bt argillique, très altérés, très désaturés (sols ferrallitiques et ferrugineux acides) (suffixe *ult*) - (9) *Oxymores* : sols à horizon oxique (sols ferrallitiques) (suffixe *ox*) - (10) *Histosols* : horizon histique (tourbe) - (11) *Andisols* : sols riches en alumine amorphe d'origine volcanique - (12) *Gelisols* : sols à horizon gelé.

Enfin, la classification des sols utilisée par la Section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. est répartie en dix unités ou classes. Cette classification est présentée dans le tableau ci-après.

Les groupes en gras ont été reconnus à Madagascar.

Classes	Sous-classes	Groupes
I. Sols minéraux bruts (A)C	1. Sols minéraux bruts d'origine climatique 2. Sols minéraux bruts d'origine non climatique	1a. Sols polygonaux 1b. Sols des déserts 2a. Sols bruts d'érosion 2b. Sols bruts d'apport
II. Sols peu évolués (AC)	1. Sols peu évolués d'origine climatique	1a. Toundras 1b. Rankers 1c. Sols subdésertiques
III. Sols calco-magnésimophes	2. Sols peu évolués d'origine non climatique	2a. Sols peu évolués d'érosion 2b. Sols peu évolués d'apport
III. Sols calco-magnésimophes	1. Sols Rendziniiformes 2. Sols à accumulation gypseuse	1a. Rendzines vraies AC 1b. Rendzines a horizons A(B)C 1c. Sols alluviaux calcimorphes 2a à accumulation localisée
IV. Vertisols et Paraverisols A(B)C ou A(B)g ou GC	1. Topomorphes ou topo-lithomorphes (sans drainage externe) 2. Lithomorphes (à drainage externe)	1a. Vertisols grumosoliques 1b. Vertisols non grumosoliques 2a. Vertisols grumosoliques 2b. Vertisols non grumosoliques
V Sols isohumiques (Sols de steppe ou pseudo-steppe) AC ou A(B)C	1. Sols isohumiques à complexe partiellement désaturé 2. Sols isohumiques à complexe saturé, à pédoclimat très froid une partie de l'année. 3. Sols isohumiques à complexe saturé, à pédoclimat frais, altération plus forte en profondeur 4. Sols isohumiques à complexe saturé, à pédoclimat chaud, apparition d'hydroxydes de fer	1a. Brunizems 2a. Chernozems 2b. Sols châtaîns 2c. Brunozems ou sols bruns steppiques 2d. Sierozems 3a. Sols châtaîns subtropicaux 3b. Sols bruns subtropicaux 3c. Sierozems subtropicaux 4a. Sols bruns subarides
VI. Sols à "mull" (matière organique évoluée A(B)C ou ABC	1. Sols à "mull" des pays tempérée, à pédoclimat frais 2. Sols à "mull" des pays tropicaux, à pédoclimat chaud et humide	1a. Sols lessivés (migration d'argile) 1b. Sols bruns 2a. Sols bruns eutrophes tropicaux
VII. Podzols et sols podzoliques	1. Sols à "mor" (humus brut) 2. Sols à humus brut et nappe peu profonde	1a. Podzols 1b. Sols podzoliques 1c. Sols ocre podzoliques 2a. Podzols à gley 2b. Pseudo-podzols de nappe 2c. Sols podzoliques à gley

VIII. Sols à sesquioxydes et matière organique rapidement minéralisée	<ol style="list-style-type: none">1. Sols rouges et bruns méditerranéens2. Sols ferrugineux tropicaux3. Sols ferrallitiques	<ol style="list-style-type: none">1a. Sols rouges méditerranéens non lessivé1b. Sols rouges méditerranéens lessivés1c. Sols bruns méditerranéens2a. Sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés2b. Sols ferrugineux tropicaux lessivés3a. Sols faiblement ferrallitiques3b. Sols ferrallitiques typiques3c. Sols ferrallitiques lessivés3d. Sols ferrallitiques humifères
IX Sols halomorphes	<ol style="list-style-type: none">1. Sols halomorphes à structure non dégradée2. Sols halomorphes à structure dégradée	<ol style="list-style-type: none">1a. Sols salins2a. Sols à alcalis non lessivés2b. Sols à alcalis lessivés2c. Sols à alcalis à argile dégradée
X. Sols hydromorphes	<ol style="list-style-type: none">1. Sols hydromorphes organiques2. Sols hydromorphes moyennement organiques3. Sols hydromorphes minéraux ou peu humifères	<ol style="list-style-type: none">1a. Sols tourbeux2a. Sols humiques à gley (semi-tourbeux marécageux)3a. Peu humifère à gley3b. Peu humifère à pseudo-gley3c. Peu humifère à redistribution gypsocalcaire

Source : *HERVIEU J., 1967*

ANNEXE II : APPLICATION DU CONCEPT DE PLANIFICATION

Le dit concept de la planification gagne du terrain à Madagascar depuis 1990, notamment dans le cadre de projets d'envergure de Restauration et l'Aménagement de Bassins Versants. En effet divers projets ont été entrepris, entre autres :

- 1) Le projet PNUD/FAO- MAG/88-032) de Restauration et Aménagement de 4 bassins versants pilotes : Anjozorobe, Ambohidratrimo et Miarinarivo, 1990-1996;
- 2) Le projet Aménagement et Restauration de Bassin Versant dans trois zones : Antananarivo Andapa et Ambatondrazaka dans mise du projet : Composante Bassin Versant du Programme Environnemental phase II, 1997-2001.
- 3) L'étude de faisabilité du projet de Restauration et Aménagement des deux bassins versants : Mantasoa et Tsiacompaniry menée conjointement par les deux gouvernements : Japonais et Madagascar, 1998-2001 ;
- 4) L'étude du développement rural et de l'aménagement des bassins versants dans le Sud-Ouest de la région d'Alaotra menée toujours par ces deux gouvernements, 2003-2007 ;
- 5) Lancement de Conduite d'une étude de préparation du Programme Bassins Versants Périmètres irrigués (BV/PI) <<Gestion Durable des sols>> dans trois sites des quatre zones d'intervention du projet Bassins Versants Périmètres Irrigués: - Zone Nord : plaine de Mahavavy (Ambilobe), Andapa, - Zone Nord-Ouest : Marovoay, - Zone Est : Lac Alaotra, - Zone Centre : Itasy, Mars 2005.

ANNEXE III : CLASSIFICATION GENERALE DES SOLS (RIQUIER, 1956)

APTITUDE	TYPES DE SOL	CLASSES	CARACTERISTIQUES	TRAVAUX ANTIÉROSIFS
CULTURE	Sols peu soumis à l'érosion, pente faible en sol non érodable.	I-a I-b I-c	Sol de bonne fertilité Sol de médiocre fertilité Sol assez fertile mais gros travaux de mise en valeur	Peu ou pas de travaux antiérosifs
	Sols de bas-fonds	II-a II-b II-c	Sol de bonne fertilité pour rizière Sol de moyenne fertilité pour rizière Gros travaux de mise en valeur	
	Sols soumis à l'érosion, pente forte ou faible mais sols érodables.	III-a III-b III-c	Sol de bonne fertilité Sol peu fertile, entretien délicat Sol fertile mais gros travaux de mise en valeur ou régénération de la fertilité coûteuse au départ	Travaux antiérosifs courants
	Colluvion de bas de pente.	IV	Sol assez fertile mais gros travaux antiérosifs	Terrassements, banquettes, etc. contre érosion
Cultures arbustives	Sols soumis à l'érosion ou ne convenant pas à la culture (sécheresse, cailloux)	V	Cultures fruitières et arbustives	
Pâturage	Sols soumis à l'érosion ou incultivables (éloignement des centres, manque de main d'œuvre)	VI-a VI-b	Bon pâturage à entretenir Pâturage médiocre à régénérer par mise en défens engrais	
Bois	Sols ne convenant ni au pâturage, ni à la culture (forte pente, sols pauvres).	VII-a VII-b	Bois exploitable économiquement Végétation naturelle ou réembroussailllements	

Source : RANDRIAMBOAVONJY J. C., 2005

**ANNEXE IV : LES HUIT CLASSES DE TERRES SELON LEUR VALEUR
(SERVICE DE LA CONSERVATION DU SOL DES ETATS-UNIS)**

La classe des terres, créée par le Service de la Conservation du Sol des Etats-Unis, comprend huit classes :

Classe I. Terres de très bonne qualité, pouvant être cultivées sans danger selon les méthodes culturales ordinaires. Leur emploi est très peu limité. Le seul traitement à appliquer vise le maintien de leur haut degré de fertilité. Elles sont généralement situées en topographie plane ou subhorizontale. L'érosion est inexistante ou très faible.

Classe II. Terres de bonne qualité, pouvant être cultivées moyennant quelques mesures de conservation faciles à appliquer. Certaines caractéristiques pédologiques limitent légèrement leur emploi, par exemple : pente topographique douce, profondeur de sol utilisable pour la culture seulement moyenne, humidité moyenne, etc....

La culture suivant les courbes de niveau, les plantes de couverture destinées à protéger le sol, les travaux ordinaires d'aménagement des eaux peuvent être souvent nécessaires. La rotation des cultures et l'apport d'amendements à doses modérées sont normalement pratiqués.

En classe II sont généralement placées les terres légèrement érodées.

Classe III. Terres dont l'emploi est limité par suite de caractéristiques pédologiques (pente topographique moyenne à forte en particulier). Elles ne peuvent être cultivées sans danger qu'au moyen de travaux de conservation plus ou moins importants : cultures en bandes alternées, culture en terrasses à lit en pente. La rotation de cultures, l'apport d'amendement à dose massive sont toujours pratiques.

Les Terres de zones planes peu perméables ou trop humides donc nécessitant un drainage important, les Terres peu profondes, ou trop sableuses, etc.... sont placées en Classe III.

Dans cette même classe sont placées les Terres sujettes à une sévère érosion.

Classe IV. Terres de valeur médiocre pour une culture permanente. Elles conviennent plutôt au pâturage et à la production de foin, mais peuvent être cultivées de temps à autre : en général pas plus d'une année sur six. De très sévères limitations à leur emploi existent.

Les facteurs limitant l'utilisation peuvent être : une pente topographique abrupte ; une érosion très sévère, une très faible profondeur de sol utilisable, une fertilité peu élevée, un climat défavorable.

En certaines régions semi-arides on peut cependant parfois une culture pendant plusieurs années consécutives si les conditions d'humidité sont favorables.

Classe V. Terres de bonne qualité pour le pâturage ou la forêt. Leur emploi pour cela est très peu limité. Aucune érosion appréciable ne se manifeste.

Classe VI. Terres convenant au pâturage ou à la forêt, mais dans certaines limites seulement. Elles réclament une exploitation méthodique et des mesures de protection. Les facteurs limitants peuvent être : pente forte, sol érodé, sol peu profond, etc.

Classe VII. Terres dont l'aptitude au pâturage ou à la forêt est très limitée. Elles nécessitent une réglementation très stricte de l'exploitation pour prévenir toute dégradation. Les facteurs limitants peuvent être : pente abrupte, sol très sévèrement érodé, sol squelettique, sol trop humide, etc.

Classe VIII. Terres convenant uniquement à la faune et à la flore sauvage ou au tourisme.

Comme en toute classification, d'autres échelons existent dans la classification des Terres selon leur valeur. Leur emploi est commandé par l'échelle de la carte d'utilisation des Terres dressée. Lorsque celle-ci est une carte régionale, seules les huit classes étudiées ci-dessus sont utilisées. Mais lors de la cartographie à très grande échelle d'exploitations agricoles, des renseignements plus nombreux peuvent être graphiquement portés.

Ceci a amené la création de <<Sous-classe>> dans chaque classe des Terres : une sous-classe est un groupe de type de terres présentant la même caractéristique limitant leur emploi. Par exemple, si des Terres de classe III sont, les unes sujettes à être inondées, les autres en forte pente, d'autres encore trop sèches, trois sous-classes peuvent être créées dans la classe.

Les sous-classes peuvent elles-mêmes être subdivisées en <<Unité d'aménagement>>. Chaque unité d'aménagement est un groupe de type de Terres, dont les caractéristiques commandent l'emploi de mêmes pratiques ou méthodes culturales ou de conservation.

Il existe d'autre part un échelon supérieur de la classification. Il est simple : les classes peuvent être réunies en deux groupes :

Groupe des Terres aptes à la culture : Classe I à IV.

Groupe des Terres impropres à la culture : Classes V à VIII.

**ANNEXE V : LES ONZE CLASSES DE TERRES AINSI QUE LEURS
SUBDIVISIONS (FOURNIER, MOULINIER, MOUREAUX, 1955)**

Classe I. Terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture.

I : Terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture sans travaux d'aménagement, ne subissant aucune érosion notable.

I a : Terres de très bonne qualité, utilisables pour la culture moyennant l'apport d'engrais ou amendement à doses d'entretien modérées, ou moyennant des travaux d'assainissement ordinaires.

Classe II. Terres de très bonne qualité, ou bonne qualité, dont l'utilisation pour la culture demande quelques travaux ou précaution.

II a : Terre de bonne qualité nécessitant l'apport d'engrais ou amendement à doses modérées ou d'entretien ou des travaux d'assainissement ordinaires.

II b : Terre de bonne qualité nécessitant une forte utilisation d'engrais verts ou de plantes de couverture.

II c : Terres de très bonne qualité, mais nécessitant quelques travaux de conservation : culture en bandes alternées.

Classe III. Terre de très bonne, bonne ou moyenne qualité, dont l'utilisation pour la culture impose quelques travaux de conservation.

III a : Terres de qualité moyenne nécessitant l'apport d'engrais ou amendement à doses d'entretien ou modérées, ou des travaux d'assainissement ordinaires.

III b : Terres de qualité moyenne, nécessitant des apports importants d'amendement ou engrais, ou une forte utilisation d'engrais verts ou des plantes de couverture.

III c : Terres de qualité moyenne, nécessitant de simples travaux de conservation : culture en bandes alternées.

III e : Terres de très bonne qualité, nécessitant des travaux réguliers de terrassement : terrasse à lit en pente.

III f : Terres de très bonne qualité, nécessitant une irrigation avec simple colature.

III g : Terres de très bonne qualité, nécessitant un drainage important.

Classe IV. Terre de très bonne, bonne ou moyenne qualité dont l'utilisation pour la culture impose des travaux de conservation plus ou moins importants.

IV c : Terres de qualité moyenne, nécessitant de simples travaux de conservation : culture en bandes alternées.

IV e : Terres de bonne qualité, nécessitant des travaux réguliers de terrassement : terrasse à lit en pente.

IV f : Terres de bonne qualité, nécessitant une irrigation avec simple colature.

IV g : Terres de bonne qualité, nécessitant un drainage important.

IV h : Terres de très bonne qualité nécessitant de très importants travaux de terrassement : banquettes.

IV i : Terres de très bonne qualité nécessitant des travaux conjugués d'irrigation et de drainage.

Classe V. Terres de bonne ou moyenne qualité dont l'utilisation pour la culture impose des travaux de conservation plus ou moins importants.

V d : Terres de qualité moyenne nécessitant un sous solage.

V e : Terres de qualité moyenne nécessitant des travaux réguliers de terrassement : terrasse à lit en pente.

V f : Terres de qualité moyenne nécessitant une irrigation avec simple colature.

V g : Terres de qualité moyenne nécessitant un drainage important.

V h : Terres de bonne qualité nécessitant de très importants travaux de terrassement : banquettes.

V i : Terres de bonne qualité nécessitant des travaux conjugués d'irrigation et de drainage.

Classe VI. Terres de qualité médiocre ou moyenne.

VI : Terres pauvres, ne pouvant porter des cultures de rapport que périodiquement, ou nécessitant des travaux de conservation

VI h : Terres de qualité moyenne nécessitant de très importants travaux de terrassement : banquettes.

VI i : Terres de qualité moyenne nécessitant de travaux conjugués d'irrigation et de drainage.

Classe VII. Terres de bonne qualité pour le pâturage.

Classe VIII. Terres d'assez bonne qualité pour le pâturage.

VIII : Nécessitant quelques travaux (en particulier drainage).

VIII j : Nécessitant une réglementation stricte de pâturage.

Classe IX. Terres couvertes de forêts d'exploitation pour bois d'œuvre.

IX : Ne nécessitant aucune précaution particulière.

IX k : Nécessitant une réglementation stricte de l'exploitation.

Classe X. Terres a vocation forestière ne permettant qu'une faible exploitation (bois de chauffage surtout) ou un pâturage limite sous forêt.

X : Actuellement en végétation forestière.

X l : A reboiser.

Classe XI. Terres à laisser sous végétation naturelle sans exploitation.

Les couleurs suivantes pourraient être attribuées aux classes des terres :

- Classe I : Marron.
-II : Carmin.
-III : Rouge franc.
-IV : Orange.
-V : Chamois ou ocre.
-VI : Jaune.
-VII : Bleu foncé.
-VIII : Bleu clair.
-IX : Vert foncé.
-X : Vert clair.
-XI : Violet.

ANNEXE VI : FICHE D'ENQUETE

Quartier :

Village ou hameau :

Fokontany :

Commune :

Nom de la (ou des) personne(s) interviewée(s) et enquêtée(s) :

.....

Numéro d'ordre	Questionnaire	Réponses	Observation
1			
2			
3			
4			

ANNEXE VII : DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES DU LAC ITASY ET SES BASSINS VERSANTS (Service Provincial des Eaux et Forêts, 1991)

1-1 Localisation de la zone d'étude

Le bassin versant du lac Itasy se trouve dans la Région de l'Itasy, à cheval sur districts de Miarinarivo et de Soavinandriana. Ce bassin versant d'une superficie de 55.423 ha se trouve à 110 km à l'ouest de la ville d'Antananarivo et est situé entre 19°12' et de 21°10' de latitude Sud, et entre 49°30' et 49°70' de longitude Est. Il est délimité au Nord par la commune de Miarinarivo I, à l'Est par les communes de Soamahamanina et de Mandiavato, à l'Ouest par la commune d'Ampefy et au Sud par les communes de Soavinandriana et d'Ampary. (cf. figure 1)

1.2 Milieu socio-économique

1.2.1 Organisation administrative

Sur le plan juridico-administratif, le bassin versant du lac Itasy est géré par les deux sous-préfectures à savoir la sous-préfecture de Miarinarivo et la sous-préfecture de Soavinandriana. Dans la majeure partie, ce bassin versant appartient à la sous-préfecture de Miarinarivo qui englobe :

- la grande partie de la commune de Mandiavato
- la totalité de la commune de Manazary
- une partie des communes de Soamahamanina et de Miarinarivo II

La partie restante revient à la sous-préfecture de Soavinandriana et englobe :

- la totalité de la commune d'Antanetibe et d'Ampefy
- une partie des communes de Soavinandriana, d'Ampary et d'Analavory.

Au total, on rencontre 44 Fokontany à l'intérieur de la zone du bassin versant. Les fokontany sont composés de 2 à 16 hameaux et comptent dans l'ensemble 317 hameaux.

1.2.2 Population

Bon nombre de population vit dans le bassin versant du lac Itasy. Elle compte actuellement 35.328.habitants environ. Cette population est constituée essentiellement d'ethnie merina (plus de 90%) dont l'installation dans la région datait vers la fin du 15^{ème} siècle. La première vague de migration a été suivie d'une deuxième vague pendant la période coloniale pour servir de main-d'œuvre dans les grandes concessions minières (région Mandiavato) et agricoles des colons.

Plus à l'Est du bassin versant là où les forêts de 'Tapia' (*Uapaca bojeri*) se trouvaient en abondance, une autre migration affluait aussi vers la même époque pour pratiquer l'élevage et l'exploitation du vers à soie (*landibe*).

Suite à ces vagues de migration, la densité de population est de 63,66 habitants au km² (Ministère des Finances et de l'Economie, 2000).

Depuis une trentaine d'années, l'exploitation de vers à soie a périclité à cause de la dégradation de la forêt de "Tapia" due aux feux de brousse qui sévissent presque chaque année.

1.2.3 Activités économiques

La principale activité de la population est basée essentiellement sur l'agriculture. Elle est caractérisée par les cultures des bas fonds et les cultures sur tanety.

La région produit du riz, des cultures de contre saison telles que le blé, le haricot, la tomate etc. et des cultures sèches (maïs, haricot, manioc et tabac).

Les rendements moyens des cultures sur les sols volcaniques et les sols ferrallitiques sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau n°1 : Comparaison des rendements agricoles sur sol volcanique et sol ferrallitique
(Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, juin 2003)**

Types de culture	Sol volcanique	Sol ferrallitique
Riz irrigué	2,7 t/ha	2,4 t/ha
Maïs	1,0 t/ha	1,4 t/ha
Manioc	7,4 t/ha	8,3 t/ha
Arachide	1,0 t/ha	0,8 t/ha
Haricot	1,0 t/ha	0,8 t/ha

Dans la région, la culture du riz est très largement pratiquée par les paysans avec un rendement dépassant à peine 2 tonnes/ha malgré les soins apportés. Cette situation nous amène à dire que le problème d'amendement du sol est l'un des facteurs limitatifs de la production.

Après l'agriculture, les paysans se livrent par ordre d'importance à l'élevage et à la pêche. Ces activités sont des activités inséparables de l'agriculture.

En ce qui concerne l'élevage, les paysans s'attachent surtout à l'élevage de bovins, de porcins et de volailles. Cet élevage se présente comme un élément capital dans la stratégie paysanne, car elle constitue un moyen de production et d'épargne.

L'élevage de bovins est le plus important pour les paysans car il est très utilisé dans l'agriculture pour les travaux de champs (traction des instruments agricoles de travail, piétinage de rizières, transports) et l'apport de fumier. Quant à l'élevage de porcins et de volailles, il sert à des activités commerciales génératrices de revenu financier. Toutefois la taille moyenne de l'élevage de porcins et de volailles n'est pas du tout très importante dans le périmètre du bassin versant du lac Itasy. Elle varie respectivement de 1 à 2 têtes et de 3 à 10 têtes par ménage tandis que l'effectif moyen de bovins est de l'ordre de 2 à 3 par ménage.

Après l'élevage, la pêche se trouve en troisième position pour le développement économique de la région qui est riche en milieux aquatiques poissonneux entre autres :

- les cours d'eau
- les petits et moyens lacs naturels
- le grand lac Itasy
- les petits bassins artificiels des particuliers
- et les rizières pour la rizipisciculture.

Le lac Itasy constitue le plus important réservoir de poissons d'eau douce de la région. Ces ressources nous montrent que le potentiel est assez important mais la méthode d'exploitation reste artisanale : technique d'élevage simple dans la pisciculture, pratique de la pêche à la ligne, à la nasse dormante, à l'épervier ou au filet.

Les pêcheurs s'organisent en groupement. Ils comptent de l'ordre de 400 individus et se répartissent dans les 16 groupements qui existent dans la région de l'Itasy (Monographie de la région d'Antananarivo, 2003)

1.2.4 Infrastructure

1.2.4.1 Routes

Pendant la période coloniale, la route reliant Antananarivo-Soavinandriana traversait le centre du bassin versant du lac Itasy. Mais actuellement la dernière portion de cette route n'est plus praticable c'est à dire dans la partie entre les communes de MiarinarivoII, Antanetibe et Soavinandriana. Le nouvel axe principal desservant Antananarivo-Soavinandriana passe par MiarinarivoI et Analavory. Cette route est goudronnée.

Par contre les routes secondaires qui relient les chefs lieux des communes à l'intérieur du périmètre du bassin versant sont constituées par des sols naturels décapés de leur couverture végétale. La majeure partie de ces réseaux sont en mauvais état.

1.2.4.2 Infrastructure hydro-agricole

La région a connu deux types d'aménagement hydro-agricole, l'aménagement du type traditionnel et l'aménagement moderne. L'usage traditionnel est pratiqué dans la plupart des bas fonds des vallées où l'eau se trouve en abondance. Il s'agit principalement d'installations de captage de dérivation des écoulements naturels vers les périmètres rizicoles.

On compte actuellement plus de 60% (soit 3.500 ha) de rizières irriguées par l'aménagement du type paysan et les 40% restantes (soit 2.330 ha) sont réservées pour les petits périmètres irrigués (micro-hydraulique). Depuis 1959 les P.P.I (Petits Périmètres Irrigués) de la sous-préfecture de Miarinarivo ont fait l'objet de projet de réhabilitation financé par la Banque Mondiale. Deux de ces Petits Périmètres Irrigués (P.P.I) se trouvent dans le périmètre du bassin versant du lac Itasy : les périmètres d'Antanimenakely (68 ha) de surface irrigable et de Mangabe (72 ha).

**ANNEXE VIII : SPECIMENS DE STRUCTURES - ELEMENTS
STRUCTURAUX ET STRUCTURES - LEGENDE DES STRUCTURES UTILISEES**

ANNEXE VIII EXEMPLE SPECIMENS DE STRUCTURES

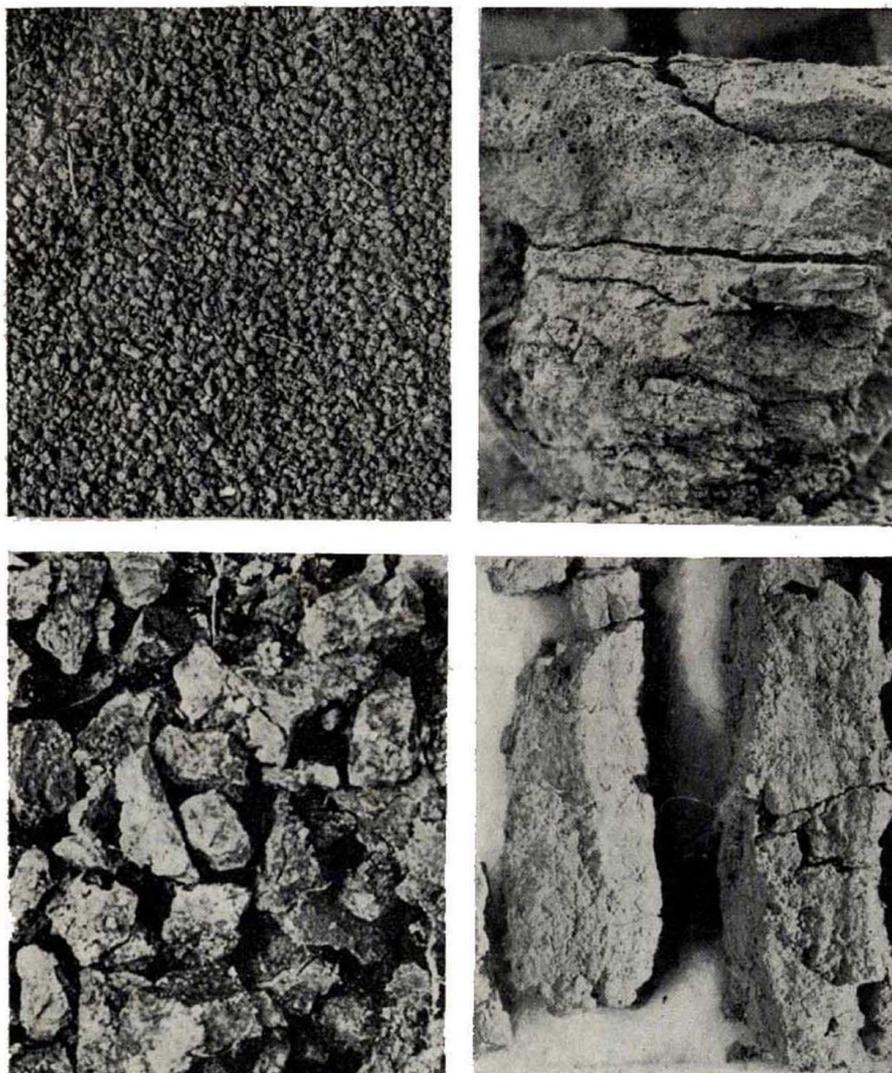


Photo 32. - Exemples de structures de spécimens prélevés dans divers profils :
A.. structure grenue ; B. structure vésiculaire et lamellaire ; C. structure polyédrique ;
D. structure prismatique.

Clichés C. C. Nikiforoff, W. G. Harper et Roy W. Simonson

Source : FAO, Prospection des sols en vue de la mise en valeur des terres, mars 1956

ANNEXE VIII : EXEMPLE SPECIMENS DE STRUCTURE (SUITE)

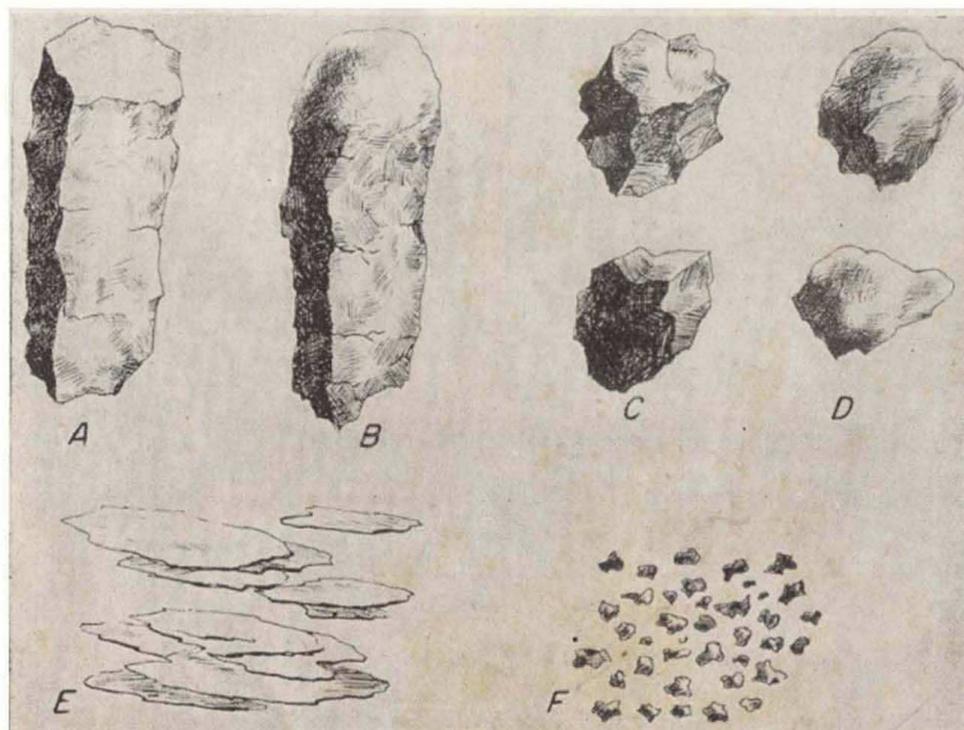


Figure 6.- Exemples d'éléments structuraux représentés par des croquis :
A. éléments prismatiques ; B. éléments en colonnes ; C. éléments polyédriques ;
D. éléments sub-polyédriques ou motteux ; E. éléments lamellaires ; F. éléments
granuleux.

Reproduction autorisée d'après le Soil Survey Manual de l'USDA

Source : FAO, *Prospection des sols en vue de la mise en valeur des terres*, mars 1956

ANNEXE VIII : ELEMENTS STRUCTURAUX ET STRUCTURES (SUITE)



1.Eléments grumeleux

1-Structure grumeleuse :

à sphéroïdes poreux avec des surfaces planes ou courbes sans ou peu d'emboîtement des grumeaux voisins.

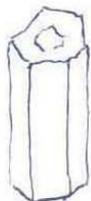
Structure granulaire : Item mais à sphéroïdes non poreux

Structure motteuse : à sphéroïdes poreux de dimension plus importante par rapport à la structure grumeleuse



2.Elément polyédrique

2-Structure polyédrique : Polyèdres avec des surfaces planes ou courbes sans ou peu d'emboîtement des grumeaux voisins.

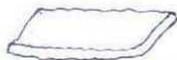


3.Elément prismatique

3-Structure prismatique :

à prismes avec deux dimensions horizontales limitées et considérablement plus petites que la verticale ; construits autour d'un axe vertical ; faces verticales bien définies ; bouts non arrondis.

Structure colonnaire : colonnes au lieu de prismes, donc à bout arrondis.



4.Eléments lamellaire

4-Structure lamellaire :

A lamelles aplaties avec une dimension (la verticale) limitée et beaucoup petite que les autres ; construites autour d'un plan horizontal.



5.Elément particulaire

5-Structure particulaire :

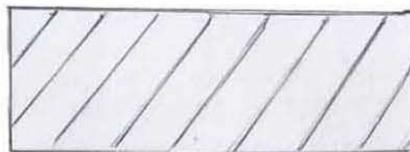
A éléments grenus individualisés

Structure continue :

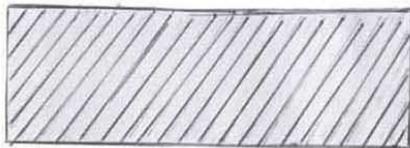
Item mais élément agglomérés massivement.

ANNEXE VIII : LEGENDES ES STRUCTURES UTILISEE (SUITE)

Structure motteuse



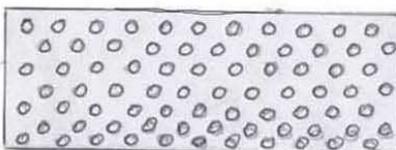
Structure grumeuleuse



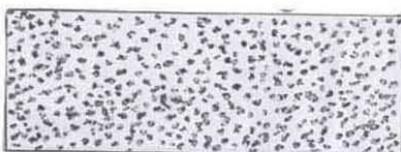
Structure Polyédrique



Structure granulaire



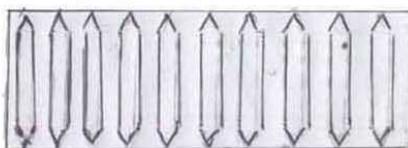
Structure particulaire



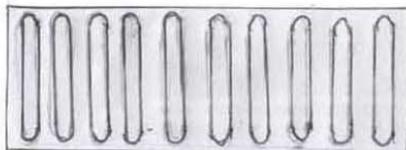
Structure massive



Structure prismatique



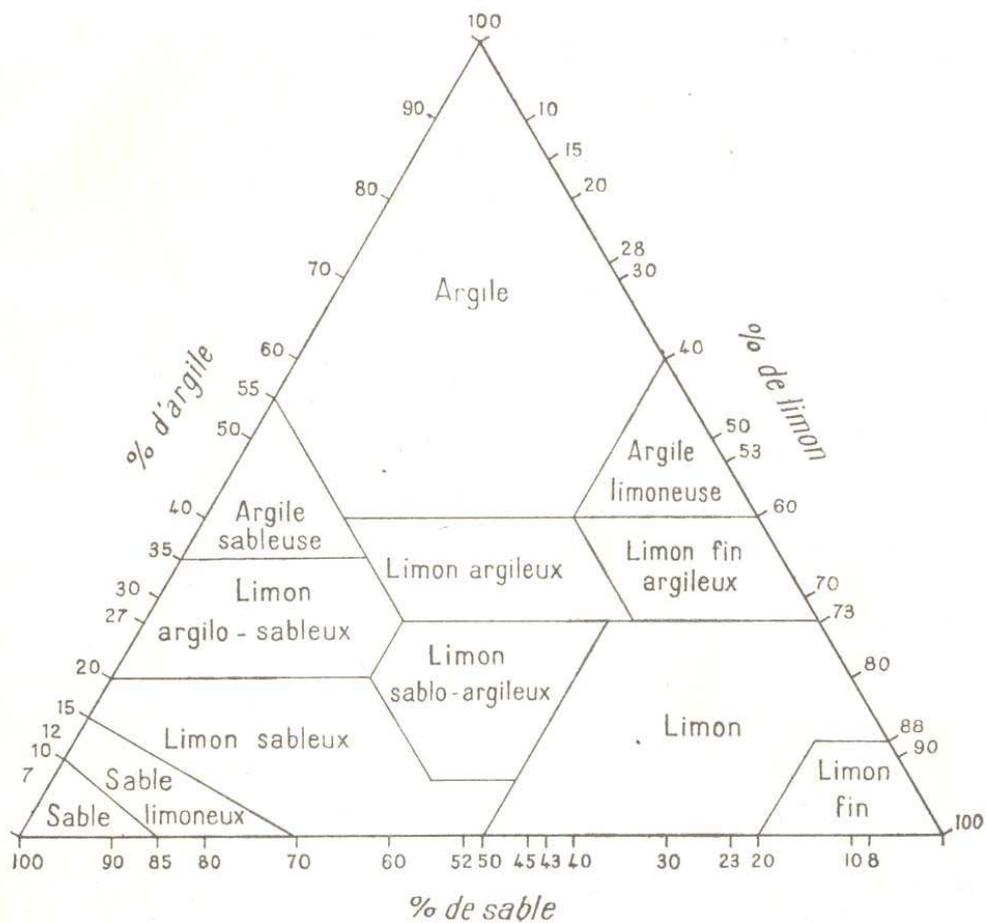
Structure colonnaire



Structure lamellaire



ANNEXE IX : DIAGRAMMES DES TEXTURES



Triangle des textures de J.K. ABLEITER

Source: *Quelques aspects de la science du sol* (F. FOURNIER, H. MOULINIER, CL. MOUREAUX, 1951)

ANNEXE IX : DIAGRAMMES DES TEXTURES (suite)

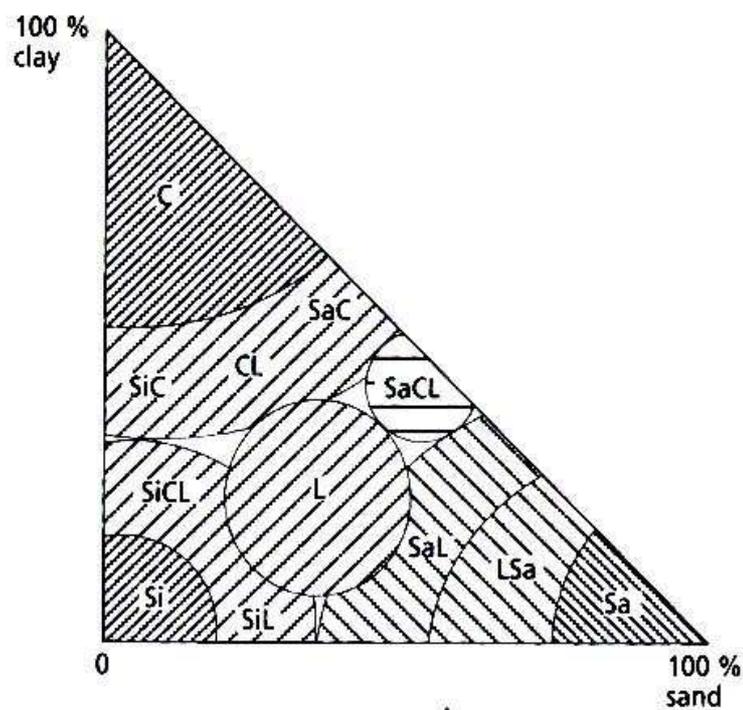


Diagramme de texture.

C : Clay; Si : silt; Sa : Sand; L : Loam; SiC : Silty Clay; CL : Clay loam SaC : Sandy Clay; SiCL : Silty Clay Loam; SiL Silty Loam; SaCL : Sandy Clay Loam; SaL : Sandy Loam; LSa : Loamy Sand.

Source : PHILIPPE DUCHAUFOR, 2001

ANNEXE IX : DIAGRAMMES DES TEXTURES (suite)

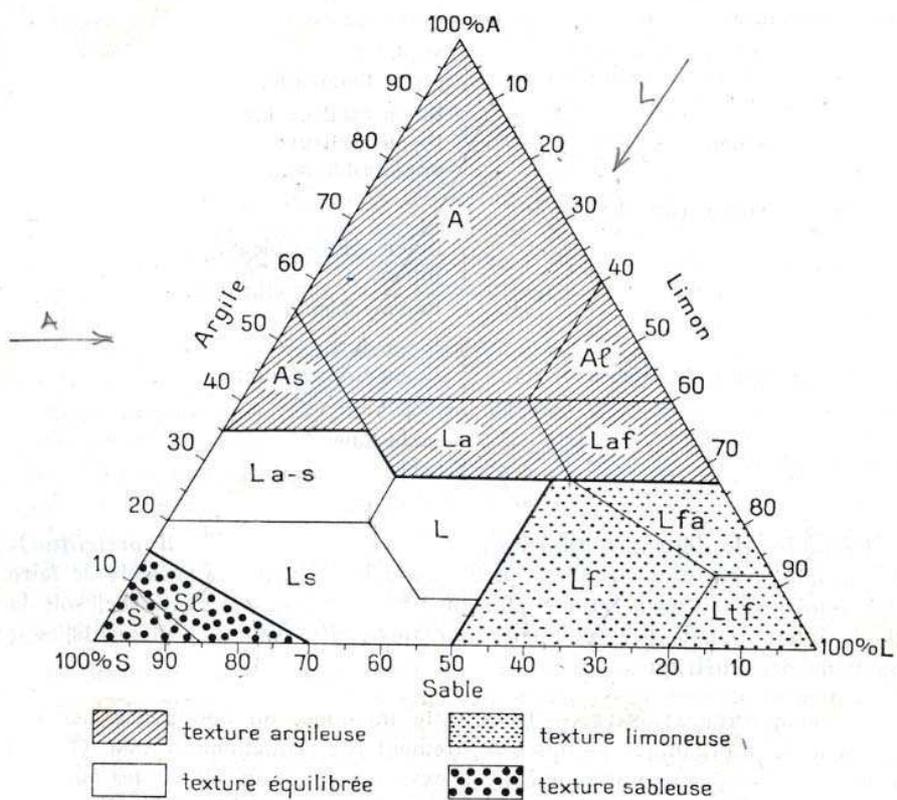


Diagramme des textures

Source : PHILLIPE DUCHAUFOR, 1965

ANNEXE X : LES PRODUITS CHIMIQUES UTILISES.

- carbone et Azote total :
H₂O, H₂SO₄, NaOH et H₂SO₄ N/50
- Bases échangeables
NH₄⁺OH, N à pH 7, eau distillée, KCN, N (cyanure de potassium normal),
Triéthanolamine, NaOH, 2N (Soude caustique binormale) et HHSSN.
- Phosphore assimilable (P)
H₂SO₄, 0,2 N (Acide sulfurique 0,2N)
- Acidité d'échange :
KCl, N (Chlorure de potassium normal)
NaOH, 0,05N (Soude caustique 0,05 N)
HCl, 0,05N (acide Chlorhydrique)
- Matière Organique
Acide Sulfurique
Bichromate de Potassium

ANNEXE XI : PRECIPITATION (1951 – 1980)**Valeur en mm de pluie**

(Source : Service de la Météorologie nationale)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Normales	325,2	271,5	234,3	57,1	23,2	6,0	13,0	12,1	13,7	52,9	142,8	319,5	1471,3
Nb de jours	18,7	16,2	15,9	6,2	3,4	2,2	3,0	2,3	3,1	6,9	13,3	20,3	111,5
Max de 24 H	173,0	173,0	94,0	56,6	38,8	17,3	33,4	27,1	26,3	55,3	78,1	177,3	
Date	20/80	11/80	4/56	3/65	31/63	20/53	14/75	19/65	11/71	5/76	13/75	8/80	

**ANNEXE XII : HAUTEURS D'AVERSES DE 24 HEURES ET 1 HEURE POUR
DIVERSES STATIONS A MADAGASCAR**

(Source : DUREL L., 1976)

PUBLICATION PETIT PERIMETRE IRRIGUE (PPI)

STATIONS	Fréquence 1/100		Fréquence 1/50		Fréquence 1/25		Fréquence 1/10	
	Hauteur d'averse		Hauteur d'averse		Hauteur d'averse		Hauteur d'averse	
	H (24) mm	H (1) mm						
TAMATAVE	440	141	380	122	320	110	260	87
DIEGO-SUAREZ	450	139	390	110	310	94	240	83
MAJUNGA	420	148	350	123	275	97	230	81
TANANARIVE	170	103	150	91	135	82	110	67
ANTALAHA	420	145	360	124	270	93	220	76
ANDAPA	350	156	305	136	240	107	190	85
MANANJARY	450	159	390	137	330	119	260	94
ANALALAVA	400	168	350	147	250	105	210	88
ANTSIRABE	150	83	130	72	125	69	118	85
SAMBAVA	420	149	360	128	270	96	230	82
SAINTE-MARIE	450	163	390	141	340	123	280	101
MORONDAVA	400	163	360	147	270	110	215	88
VOHEMAR	360	134	310	115	230	85	190	10
TULEAR	180	87	160	77	135	65	106	51

ANNEXE XIII : HAUTEUR D'AVERSE DE 24 ET 1 HEURES

(Source : DUREL L., 1976)

Résultats exprimés en mm de pluie

	Fréquence 1/100		Fréquence 1/50		Fréquence 1/25		Fréquence 1/10	
	Hauteur d'averse		Hauteur d'averse		Hauteur d'averse		Hauteur d'averse	
STATION	24H	1H	24H	1H	24H	1H	24H	1H
TANANARIVE	170	103	150	91	135	82	110	67

**ANNEXE XIV : BILAN HYDRIQUE : RESULTATS EXPRIMES EN
MILLIMETRE D'EAU**

(Source : Service de la Météorologie nationale)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
E . T . P	96,9	87,5	86,1	74,7	57,6	43,7	42,6	48,4	69,2	80,7	89,4	96,7	837,5
E . T . R	96,9	87,5	86,1	74,7	57,6	43,7	23,3	12,1	13,7	52,9	89,4	96,7	734,6
Déficit en eau							19,3	36,3	55,5	27,8			138,9
Ruissellement + drainage	228,3	184,0	148,2									176,2	736,7

Les données mentionnées dans ce tableau ont été calculées à partir de la méthode de THORNTHWAITE. Le bilan hydrique est donc calculé suivant la relation ci-après.

$$P = I +/- AS + R + E$$

AS : variation de stock d'eau du sol

I : infiltration

R : ruissellement

E : évaporation

**ANNEXE XV : TEMPERATURES MOYENNES EXPRIMEES EN DEGRE
CELCIUS**

(Source : Service de la Météorologie nationale)

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T_x	27,1	27,1	26,6	26,9	24,7	22,9	22,6	23,7	26,2	27,9	27,9	26,9	25,9
T_n	15,4	15,8	15,1	13,8	11,0	8,8	8,2	8,5	9,8	11,7	13,8	15,2	12,3
(T_x+T_n) /2	21,3	21,5	20,9	20,4	17,9	15,9	15,4	16,1	18,0	19,8	20,9	21,1	19,1

T_x = Température maximale T_n = Température minimale (T_x +T_n)/2 = Température moyenne

ANNEXE XVI : DEFINITION DES RELIEFS

Les niveaux des basses collines et des croupes

Selon J.C RANDRIAMBOAVONJY sur l'étude des pédopaysages dans quatre zone-tests de Madagascar (Cote Est, Haute Terres Centrales, Moyen-Ouest et Cote Ouest) paru dans le série du Département des Eaux et Forets n° 3 que la dissection plus poussée caractérise la formation des croupes plus ou moins convexe, d'altitude subégale, de pente longitudinale faible mais de pente latérale plus marquée.

En outre, la dissection encore plus accentuée caractérise les modelés des collines convexes ou arrondies et des croupes à étroits sommets lesquels culminent à des altitudes subégales. L'encaissement des réseaux hydrographiques est alors très marqué. Les bas fonds étroits sont bien drainés. Ces modelés disséqués sont très fréquemment entaillés de lavaka.

Les reliefs vigoureux

Selon toujours ce même auteur, que les reliefs résiduels sont portés par des roches difficilement altérables qui dominent les différents niveaux d'aplanissement en particulier le niveau fini-tertiaire. Des entailles profondes transforment les anciens aplanissement en reliefs de dissection qui sont parfois dénommés reliefs polyédriques.

Les pentes sont toujours forte et les versants se recourent le long d'arêtes vives. Les bas fonds sont étroits et même inexistant sur les reliefs résiduels car ici les affleurements rocheux, fréquents sur les versants, empêchent l'encaissement des réseaux hydrographiques.

Les lavaka ne s'observent que sur les reliefs de dissection portés par des roches profondément décomposées.

Il est possible de distinguer des reliefs résiduels convexes à profil dissymétrique portés par des lames de granites migmatitiques interstratifiés dans les schistes métamorphiques (exemple Casque de Behenjy au sud de la Capitale) et des reliefs résiduels symétriques où les deux versants tapissés de boules ont des pentes raides. Ces derniers correspondent à des roches filoniennes (exemple granite d'Ambatomiranty)

ANNEXE XVII : FICHE DE DESCRIPTION

Profil type :

Date :

Lieu :

Topographie :

Erosion :

Végétation :

Type de sol :

Horizon	Couleur	Texture	Structure	Humidité	Consistance	Enracinement	Eléments grossiers	Transition	Biologie

ANNEXE X VIII : PRINCIPAUX RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

N° de profil	Horizon	Textures			PH		M.O	N.total	C	C/N	P ₂ O ₅	Al	H	Ca ech	Mg ech	K ech	T	V	S
		Argile	Limon	Sable	Eau	Tampon													
	Cm	%	%	%			%	%	%		ppm	me	me	me	me	me	Me	%	me
N°1 ANTSA	0-5	26,2	38,1	32,2	4,40	4,10	3,05	0,38	1,77	4,65	14	0,3	0,9	0,04	0,09	0,05	1,38	13	0,18
	5-2	24,1	38,8	35,05	4,60	4,40	1,89	0,20	1,10	5,5	09	0,20	1,20	0,03	0,12	trace	1,57	9,55	0,15
	12-60	27,5	36,9	35,19	5,01	4,70	0,52	0,10	0,30		06	0	0,40	0,01	trace	0,06	0,47	14,89	0,07
N°2 ANKA	0-5	34,9	29,55	32,8	4,3	3,9	2,77	0,08	1,61	20,12	21	0	0,80	2,0	1,5	0,07	4,37	81,69	3,57
	5-80	19,1	28,66	51,1	4,7	4,2	1,95	0,17	1,13	6,64	12	0	1,00	0,5	5,00	0,02	6,52	84,66	5,52
N°3 NANJA	0-10	28,1	24,1	41,2	4,5	4,0	4,07	0,22	2,36	10,72	20	0,4	1,00	0,5	1,00	0,04	2,94	52,38	1,54
	10-20	29,2	26,8	40,5	4,9	4,1	3,57	0,15	2,07	13,80	08	0,4	0,60	0,5	0,00	0,02	1,52	34,21	0,52
	20-80	34,6	29,1	34,9	4,8	3,9	2,46	0,38	1,43	3,76	07	0,00	1,40	1,0	1,0	0,03	3,43	59,18	2,03
N°4 AMBO	0-20	40,0	27,45	28,4	4,7	4,0	4,87	0,42	2,82	6,71	102	0,20	2,80	3,0	4,0	0,04	10,04	70,11	7,04
	20-45	9,1	5,61	83,6	5,2	4,2	3,67	0,35	2,13	6,08	150	0	0,60	2,0	1,5	0,01	4,11	85,40	3,51
	45-100	1,5	36,57	60,8	4,9	4,1	2,99	0,30	1,74	5,80	110	0	0,40	0,9	0,8	0,02	2,12	81,13	1,72
N°5 AMBOH	0-55	4,5	29,6	62,4	4,7	4,3	3,99	0,33	2,31	7,00	24	1,40	3,00	2,0	2,0	0,02	8,42	47,74	4,02
	55-65	4,7	37,64	55,8	4,8	3,9	3,50	0,29	2,03	7,00	17	1,60	1,60	2,0	1,5	0,01	6,71	52,30	3,51
	65-80	1,4	38,0	58,8	4,8	3,9	3,25	0,29	1,89	6,52	19	3,00	2,00	1,0	0,5	0,01	6,51	23,19	1,51
	80-100	38,4	25,6	34,4	4,8	3,9	2,20	0,16	1,28	8,00	05	0,00	1,00	3,0	1,5	0,01	5,51	81,85	4,51
N°6 MORA	0-30	15,6	36,42	47,7	5,0	4,0	4,15	0,08	2,41	30,12	38	0	1,00	6,0	3,0	0,02	10,02	90,01	9,02
	30-80	35,5	19,5	44,3	5,5	4,2	2,79	0,06	1,62	27,00	72	0	0,60	8,5	4,5	0,01	13,61	95,59	13,01
N°7 NANJ	0-30	35,6	29,3	29,6	4,6	4,2	5,85	0,16	3,40	21,25	28	0,3	0,90	0,22	0,02	0,01	1,45	17,24	0,25
	5-30	30,1	27,9	38,56	4,5	4,0	2,13	0,07	1,24	17,71	18	0,4	0,80	0,10	0,09	0,04	1,43	16,08	0,23
	30-80	05,4	38,5	54,8	4,7	4,3	1,34	0,24	0,78	3,25	07	0,4	1,90	0,40	0,03	0,02	2,73	16,48	0,45
N°8 SAHA	0-40	20,01	39,90	35,09	6,5	6,2	4,82	0,25	2,80	11,2	23	1,20	4,40	4,20	4,80	2,60	17,20	67,44	11,60
	40-80	22,50	38,30	34,70	6,4	6,2	4,58	0,24	2,66	11,08	15	2,10	5,20	3,5	4,10	2,45	17,35	57,92	10,95
N°9 NONI	0-7	19,4	39,2	38,3	5,28	5,00	4,30	0,23	2,50	10,86	15	0,40	0,80	0,50	0,46	0,20	2,36	49,15	1,16
	7-28	20,2	38,3	38,27	5,10	5,02	2,13	0,29	1,24	4,27	09	0,02	1,23	0,05	0,41	0,02	1,73	27,74	0,48
	28-90	18,90	40,10	36,65	4,9	4,5	0,51	0,14	0,30	2,14	17	0,01	0,41	0,03	0,02	0,01	0,48	12,5	0,06
N°10 KIAN	0-15	17	36,70	44,51	5,5	4,5	1,80	0,05	1,05	21,00	10	0	1,01	1,24	0,63	0,04	2,92	65,41	1,91
	15-78	39,10	16,5	42,94	5,90	5,0	1,20	0,03	0,70	23,00	10	0	1,01	3,18	2,09	0,10	6,38	84,16	5,37
	78-100	35,60	18,3	42,60	6,15	6,0	3,27	0,07	1,90	26,01	40	0	0,40	3,05	0,54	0,03	4,02	90,04	3,62

ANNEXE XIX : CORRESPONDANCE DE CLASSIFICATION DE SOLS ADOPTEE PAR RAPPORT AUX AUTRES

CLASSIFICATIONS

Classification adoptée	Classification Section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M à Madagascar, 1967	Classification française C.P.C.S, 1967	Référentiels morphologiques DUCHAUFOR en 2001	Référentiels pédologiques (INRA, 1992)	Classification américaine (Soil taxonomy) DUCHAUFOR en 2001	Classification FAO (SANCHEZ P. A., 1976)
<p>SOLS MINERAUX BRUTS ET PEUT EVOLUES</p> <p>*non climatique: - <i>d'érosion: lithosols</i></p> <p>- <i>d'apport alluvial</i></p> <p>SOLS A " MULL " - Sols a "mull" des pays tropicaux : - <i>Sols bruns eutrophes tropicaux</i></p>	<p>I SOLS MINERAUX BRUTS (A)C</p> <p>*non climatique: - <i>Sols bruts d'érosion</i></p> <p>- <i>Sols bruts d'apport</i></p> <p>VI SOLS A " MULL " - Sols a "mull" des pays tropicaux : - <i>Sols bruns eutrophes tropicaux</i></p>	<p>I SOLS MINERAUX BRUTS</p> <p>*non climatique : - <i>d'érosion: lithosols</i></p> <p>II SOLS PEU EVOLUES *non climatique : - d'apport alluvial</p> <p>- d'apport volcanique friables</p>	<p>I SOLS PEU EVOLUES D'EROSION OU D'APPORT</p> <p>- <i>d'érosion: lithosols, rigosols</i></p> <p>- Sols d'apports: - alluviaux, - colluviaux</p> <p>V SOLS BRUNIFIES</p> <p>- <i>Sol brun eutrophe</i></p>	<p><i>Lithosols, Peyrosols</i></p> <p><i>Fluvisols bruts et typiques, thalassosols</i> - <i>colluviosols</i></p> <p>- VITRANDISOLS?</p>	<p>ORTHENTS</p> <p><i>Entisols</i></p> <p><i>Entisols</i></p> <p><i>Eutropepts</i></p>	

<p>SOL FERRALLITIQUE</p>	<p>VIII SOLS A SESQUIOXYDES ET MATIERE ORGANIQUE RAPIDEMENT MINERALISEE</p> <p>SOL FERRALLITIQUE</p>	<p>X SOL FERRALLITIQUE</p>	<p>XI SOLS FERRALLITIQUES</p>	<p>FERRALLISOLS</p>	<p>OXISOLS</p>	<p>FERRALSOLS</p>
<p>SOLS HYDROMORPHES</p> <p>* Moyennement organique a gley</p> <p>*Peu humifère:</p> <p>- a gley</p> <p>- a pseudogley</p>	<p>X SOLS HYDROMORPHES</p> <p>* Moyennement organique :</p> <p>- Sols humiques a gley</p> <p>* Sols hydromorphes minéraux ou peu humifère:</p> <p>- a gley</p> <p>- a pseudogley</p>	<p>XI SOLS HYDROMORPHES</p> <p>* Moyennement organique :</p> <p>- Sols humiques a gley</p> <p>* Sols hydromorphes minéraux ou peu humifère:</p> <p>- a gley</p> <p>- a pseudogley</p>	<p>XI SOLS HYDROMORPHES</p> <p>*Hydromorphie d'imbibition capillaire:</p> <p>-pseudogley-pélosols</p>	<p>* REDUCTISOLS humiques, à moor, histiques etc.</p> <p>- REDUCTISOLS TYPIQUES</p> <p>- REDOXISOLS, PÉLOSOLS DIFFÉRENCIÉS, PLANASOLS, etc.</p>	<p><i>Various</i></p>	<p>Gleysols</p>

**ANNEXE XX : CORRESPONDANCE DE LA CLASSIFICATION ADOPTEE AVEC LES AUTRES CLASSIFICATIONS DES
TERRES SELON LEUR VALEUR**

Aptitude	Classification adoptée	Classification générale des sols (RIQUIER, 1956)	Classification des sols crée par le Service de la Conservation du Sol des Etats Unis (FOURNIER H. ET AL, 1955)	Classification FAO (GIL N., 1986)
Culture	Classe I : Terres de très bonne qualité, utilisable pour la culture sans travaux d'aménagement, ne subissant aucune érosion notable.	Classe I-a : Sol de bonne fertilité peu ou pas de travaux antiérosifs.	Classe I : Terres de très bonne qualité, pouvant être cultivées sans danger selon les méthodes culturales ordinaires.	Classe S1 = Hautement apte - sans limitations notables pour une utilisation donnée.
	Classe IIc : Terres de bonne qualité moyennant quelques mesures de conservation : culture en bandes alternées.	Classe III-a : Sol de bonne fertilité moyennant de travaux antiérosifs courants.	Classe II : Terres de bonne qualité, pouvant être cultivées moyennant quelques mesures de conservation faciles à appliquer : culture suivant les courbes de niveaux, les plantes de couverture destinées à protéger le sol, les travaux ordinaires d'aménagement des eaux peuvent être souvent nécessaires. La rotation des cultures et l'apport d'amendements à dose modérée sont normalement pratiqués.	Classe S2 = Moyennement aptes - avec des limitations modérées pour une utilisation donnée.

**ANNEXE XX : CORRESPONDANCE DE LA CLASSIFICATION ADOPTEE AVEC LES AUTRES CLASSIFICATIONS DES
TERRES SELON LEUR VALEUR (SUITE)**

Aptitude	Classification adoptée	Classification générale des sols (RIQUIER, 1956)	Classification des sols crée par le Service de la Conservation du Sol des Etats Unis ((FOURNIER H. ET AL, 1955)	Classification FAO (GIL N., 1986)
Culture	<p>Classe III : Terres de très bonne ou moyenne qualité dont l'utilisation pour la culture impose quelques travaux de conservation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - IIIc : Terres de bonne qualité, nécessitant de simples travaux de conservation : culture en bandes alternées. - III f : Terres de très bonne qualité, nécessitant une irrigation avec simple colature. - IIIg : Terres de très bonne qualité, nécessitant un drainage important. 	<ul style="list-style-type: none"> - Classe III-a : Sol de bonne fertilité nécessitant des travaux antiérosifs courants. - Classe II-a : Sol de bonne fertilité pour rizière. - II-c : Sol nécessitant de gros travaux de mise en valeur. 	<p>Classe III : Terres dont l'emploi est limite par suite de caractéristiques pédologiques (pente topographique moyenne a forte en particulier). Elles ne peuvent être cultivées sans danger qu'au moyen de travaux de conservation plus ou moins importants : cultures en bandes alternées, cultures en terrasses à lit en pente. La rotation des cultures, l'apport d'amendement à doses massives sont toujours pratiqués. Les terres de zones planes peu perméables ou trop humides donc nécessitant un drainage important, les terres peu profondes ou trop sableuses.</p>	<p>Classe N1=Non aptes dans les conditions actuelles - avec des limitations pour une utilisation données, qui peuvent cependant être surmontes par des pratiques adaptées, propres a convertir ces terres en terres d'aptitude "S"</p>
Pâturage	<p>Classe VIII : Terres d'assez bonne qualité pour le pâturage nécessitant quelques travaux d'aménagement.</p>	<p>VI-a : Bon pâturage à entretenir. VI-b : Pâturage médiocre à régénérer par mise en défens Sols soumis a l'érosion ou incultivables (éloignement des centres, manque de main d'œuvre)</p>	<p>Terres convenant au pâturage ou à la forêt, mais dans certaines limites seulement. Elles réclament une exploitation méthodique et des mesures de protection. Les facteurs limitants peuvent être : pente forte, sol érodé, sol peu profond, etc.</p>	<p>Classe S3 = Marginalement aptes - avec de sérieuses limitations pour une utilisation données.</p>

**ANNEXE XX : CORRESPONDANCE DE LA CLASSIFICATION ADOPTEE AVEC LES AUTRES CLASSIFICATIONS DES
TERRES SELON LEUR VALEUR (SUITE)**

Aptitude	Classification adoptée	Classification générale des sols (RIQUIER, 1956)	Classification des sols Service de la Conservation du Sol des Etats Unis ((FOURNIER H. ET AL, 1955)	Classification FAO (GIL N., 1986)
Forêts ou pâturage limite sous forêt.	<p>Classe X : Terres à vocation forestière ne permettant qu'un faible exploitation (bois de chauffage surtout) ou un pâturage limite sous forêt. X : Actuellement en végétation forestière XI : A reboiser.</p>	<p>VII-a : Bois d'exploitation économiquement. Sol ne convenant ni au pâturage, ni à la culture (forte pente, sols pauvres).</p>	<p>Classe VI : Terres convenant au pâturage ou à la forêt, mais dans certaines limites seulement. Elles réclament une exploitation méthodique et des mesures de protection.</p>	<p>Classe S3 = Marginalement aptes - avec de sérieuses limitations pour une utilisation données.</p>
	<p>Classe XI : Terres à laisser sous végétation naturelle sans exploitation.</p>	<p>VII-b : Végétation naturelle ou réembroussaillement Sols ne convenant ni au pâturage, ni à la culture (forte pente, sols pauvre).</p>	<p>Classe VIII : Terres convenant uniquement à la faune et à la flore sauvage ou au tourisme.</p>	<p>Classe S3 = Marginalement aptes - avec de sérieuses limitations pour une utilisation données.</p>

