

## *Liste des abréviations*

**BD :** *Base de données*

**B.C.O.E.M. :** *Bureau Centrale d'Outre Mer*

**B.L.U. :** *Bande latérale Unique*

**C.E.S. :** *Conservation de l'Eau et de Sol*

**C.H.D.** *Centre Hospitalier de District*

**COM :** *Component Object Model*

**C.S.B.** *Centre de Santé de Base*

**D.R.S. :** *Défense des ressources Souterraines*

**E.C.A.R. :** *Eglise Catholique Apostolique Romaine à Madagascar*

**E.S.P.A. :** *Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo*

**F.J.K.M** *Fiangonan'i Jesoa Kristy eto Madagasikara*

**F.L.M.:** *Fiangonana Loterana Malagasy*

**F.S. :** *Formation Sanitaire ou Etablissement Sanitaire*

**F.T.M.:** *Foiben-Taosaritan'i Madagascar*

**I.G.N. :** *Institut Géographique National*

**MAT.LAB. :** *MATrix LABoratory*

**O.N.G. :** *Organisation Non Gouvernementale*

**P.C.D.R. :** *Programme Cadre de Développement Régional*

**P.L.A.E.** *Programme de Lutte Anti Erosive*

**SIG ou GIS :** *Système d'Information Géographique*

**VBA:** *Visual Basic for Application*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Répartition de la superficie et de la commune par district .....	35
<b>Tableau 2:</b> Températures moyennes .....	38
<b>Tableau 3:</b> Répartition spatiale de la population .....	43
<b>Tableau 4:</b> Répartition sanitaire de la région .....	44
<b>Tableau 5:</b> Différentes valeurs du coefficient de perméabilité correspondant aux types de formation .....	59
<b>Tableau 6:</b> Résultats de calculs des pluies de diverses fréquences en années humides .....	61
<b>Tableau 7:</b> Résultats de calculs des pluies de diverses fréquences en années sèches .....	62
<b>Tableau 8:</b> Résultats de calculs de distribution mensuelle des pluviométries interannuelles .....	62
<b>Tableau 9:</b> Tableau de pluies maximales des différentes fréquences .....	63
<b>Tableau 10:</b> Tableau illustrant les données géologiques de deux régions .....	63
<b>Tableau 11:</b> Dimensionnement canal 1 .....	95
<b>Tableau 12:</b> Dimensionnement canal 2 .....	96
<b>Tableau 13:</b> Evaluation du prix de réhabilitation de la zone du Soavina .....	97
<b>Tableau 14:</b> Evaluation du prix de réhabilitation de la montagne de Lavasomy .....	97

# Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Le cycle de l'eau .....	10
<b>Figure 2:</b> Début d'un creusement d'une vallée .....	11
<b>Figure 3:</b> La phase de jeunesse d'une vallée fluviale .....	11
<b>Figure 4:</b> Etape de maturité d'une vallée fluviale .....	11
<b>Figure 5:</b> Objectif du SIG .....	19
<b>Figure 6:</b> Structure de l'information géographique .....	20
<b>Figure 7:</b> Mode de représentation de l'information géographique .....	20
<b>Figure 8:</b> Mode de représentation des données raster .....	21
<b>Figure 9:</b> Exemples de données raster.....	21
<b>Figure 10 :</b> Mode de représentation de donnée vecteur .....	22
<b>Figure 11:</b> Exemples de données vecteurs.....	22
<b>Figure 12:</b> Fonction d'un ensemble d'un SIG .....	24
<b>Figure 13:</b> Fonctionnalité de la télédétection.....	26
<b>Figure 14:</b> Exemple de précision d'image .....	28
<b>Figure 15:</b> Carte de localisation de la région d'Amoron'i Mania .....	34
<b>Figure 16:</b> Carte de localisation de la région d'Amoron'i Mania en Scènes LANDSAT.....	35
<b>Figure 17:</b> Localisation d'Amoron'i Mania dans les répartitions des Blocs de Madagascar .....	37
<b>Figure 18:</b> Carte thermique .....	39
<b>Figure 19:</b> Carte pluviométrique .....	40
<b>Figure 20:</b> Carte hydrographique .....	41
<b>Figure 21:</b> Carte pédologique .....	42
<b>Figure 22:</b> Carte de végétation.....	42
<b>Figure 23:</b> Carte du flux migratoire .....	44
<b>Figure 24:</b> Dégradation au Sud-Est d'Ambondromisotra.....	54
<b>Figure 25:</b> Du haut de la colline de Lavasomy.....	54
<b>Figure 26:</b> Courbe de déséquilibre entre d'élastique et plastique .....	58
<b>Figure 27:</b> Courbe Pluviométrie annuelle moyenne.....	61
<b>Figure 28:</b> Interface d'accueil du programme réalisé sous Matlab .....	69

<b>Figure 29:</b> Interface graphique pour l'étude pluviométrique de la région .....	70
<b>Figure 30:</b> Exemple de résultat pluviométrique calculé à partir du programme .....	71
<b>Figure 31:</b> Interface pour l'étude géologique de la région .....	72
<b>Figure 32:</b> Exemple de résultat de la recherche dans le programme .....	73
<b>Figure 33:</b> Environnement d'ArcGis 9.1 .....	76
<b>Figure 34:</b> Boîte de dialogue de la personnalisation d'ArcGis .....	78
<b>Figure 35:</b> Image brute délimitant la zone d'étude .....	80
<b>Figure 36:</b> Image corrigée d'Ambatofinandrahana –Soavina extrait de l'image brute .....	81
<b>Figure 37:</b> Image corrigée d'Ilaka Centre extrait de l'image brute .....	81
<b>Figure 38:</b> Utilisation du troisième axe Z selon ArcScene, axe Ilaka .....	82
<b>Figure 39:</b> Utilisation du troisième axe Z selon ArcScene, axe Soavina .....	82
<b>Figure 40:</b> Détection du lavaka après projection, Montagne de Lavasomy .....	83
<b>Figure 41:</b> Image rabattue en 2D et intégration des données pluviométriques et géologiques, Montagne de Lavasomy .....	84
<b>Figure 42:</b> Détection du Lavasomy à l'échelle 1/1000 .....	84
<b>Figure 43:</b> Barre de menu d'ArcMap .....	85
<b>Figure 44:</b> Interface d'accueil de l'application sous VBA .....	85
<b>Figure 45:</b> Interface montrant l'étude à effectuer à Ambatofinandrahana .....	86
<b>Figure 46:</b> Exemple du choix communal sis à Ambatofinandrahana .....	86
<b>Figure 47:</b> Jeunes plantes de Mimosa <b>Figure 48:</b> Plantation de Vétiver .....	90
<b>Figure 49:</b> Coupe transversale de la montagne de Lavasomy .....	92
<b>Figure 50:</b> Vue latérale du canal .....	94
<b>Figure 51:</b> Vue transversale des canaux .....	94
<b>Figure 52:</b> Surfaces érodées dans la région de Soavina .....	97

# Liste des annexes

**Annexes I: VBA** ..... **i**

**Annexe II : Modèle prédictif**..... **iii**

**Annexe III : Matlab 7.0** ..... **vi**

# SOMMAIRE

## REMERCIEMENTS

*Liste des abréviations*

*Liste des tableaux*

*Liste des figures*

*Liste des annexes*

## SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION GENERALE</i> .....	1
<i>Partie I : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES</i> .....	4
Chap1. QUELQUES DEFINITIONS .....	5
Chap2. GENERALITES SUR L'EROSION .....	8
Chap3. GENERALITES SUR LE SIG ET LA TELEDETECTION .....	18
<i>Partie II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE</i> .....	33
Chap4. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	34
Chap5. PRESENTATION DU PROBLEME D'EROSION DANS LA ZONE D'ETUDE .....	50
Chap6. PRINCIPALES CAUSES DU LAVAKA ET ETUDE HYDROGEOLOGIQUE .....	57
<i>Partie III : UTILISATION DU SIG ET DE LA TELEDETECTION POUR LA RESOLUTION DU PROBLEME</i> .....	63
Chap7. METHODOLOGIE DE RESOLUTION .....	66
Chap8. APPLICATION ET RESOLUTION GRAPHIQUE .....	75
Chap9. SOLUTIONS PROPOSEES ET EVALUATION DU PRIX DE REHABILITATION. ....	88
<i>CONCLUSION GENERALE</i> .....	99
 <i>BIBLIOGRAPHIE</i>	
 <i>ANNEXES</i>	
 <i>Table des matières</i>	

Rapport-Gratuit.com

## INTRODUCTION GENERALE



Au commencement du monde, la terre et l'eau étaient intimement unies : de cette union est née toute une vie. Mais leur histoire connaît plus tard deux séries de crise, l'une d'ordre géologique et l'autre démographique. D'une part, quand la terre a commencé à migrer en plaque, elle a provoqué la création de montagnes et de différents cycles d'érosion active et normale. D'autre part, ce n'est que beaucoup plus tard que les hommes et les animaux se sont multipliés au point de couvrir la majorité des terres arables.

Depuis l'émergence de la terre, l'érosion l'a façonnée progressivement. Aussi, l'homme s'est-il acharné à lutter incessamment contre l'agressivité des pluies et du ruissellement. De nombreux spécialistes ont inventé plusieurs analyses et méthodes pour apprécier ce problème. Face au progrès scientifique, il reste encore quelque chose à découvrir pour la recherche et la résolution du problème en question. Depuis plusieurs années, l'application des nouvelles filières SIG et télédétection est nécessaire pour toute analyse environnementale.

Madagascar est l'un des pays qui a subi plusieurs menaces sur ce genre de problème. Certes, le sol n'est pas forcément une « ressource naturelle non renouvelable », mais il est nécessaire d'apporter une bonne explication pour sa protection tout en appliquant le SIG et la télédétection en deux et trois dimensions. La contribution de l'étude s'effectue sur une région bien connue à Madagascar, la région d'Amoron'i Mania. Devant ces différents problèmes, le thème de ce mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur s'intitule : « **CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROBLEMES D'EROSION, CAS DU LAVAKA, EN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET TELEDETECTION DANS LA REGION D'AMORON'I MANIA. APPLICATION DU VBA ET MATLAB POUR LA RESOLUTION** » pour essayer de résoudre, et de mettre en valeur ces nouvelles filières tout en considérant les paramètres sources du problème.

Pour expliciter et développer le contenu de ce mémoire, l'étude comporte trois parties :

**Partie I : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES**

**Partie II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE**

**Partie III : UTILISATION DU SIG ET DE LA TELEDETECTION POUR LA  
RESOLUTION DES PROBLEMES DEFINIS**

Ces trois parties pourraient donner satisfaction à la résolution de ce problème. Il est à visualiser dans ces parties les différentes notions, les paramètres à utiliser dans le SIG et Télédétection, les méthodologies et applications.



**PARTIE I : GENERALITES ET  
RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES**



La première partie de cette étude décrit les différentes notions et généralités concernant la base de ce mémoire. L'objectif de cette partie consiste à préciser les sens des différents mots utilisés ainsi que ceux des divers spécialistes suivant les circonstances. La généralisation des différents thèmes est une condition préalable à l'amélioration et à l'efficacité des luttes antiérosives.

## **Chap1. QUELQUES DEFINITIONS [1], [6], [7]**

Quelques termes sont à préciser pour une bonne compréhension du contenu du livre. Le but de ce chapitre est d'établir un lien concret entre les lecteurs et l'auteur car ces termes sont utilisés fréquemment dans le livre. Les termes à définir sont les suivants :

- ▶ **Erosion**
- ▶ **Lavaka**
- ▶ **Système d'information géographique**
- ▶ **Téledétection**
- ▶ **Base de données**
- ▶ **Système de base de données**
- ▶ **Modèle prédictif.**

### **1.1. L'EROSION**

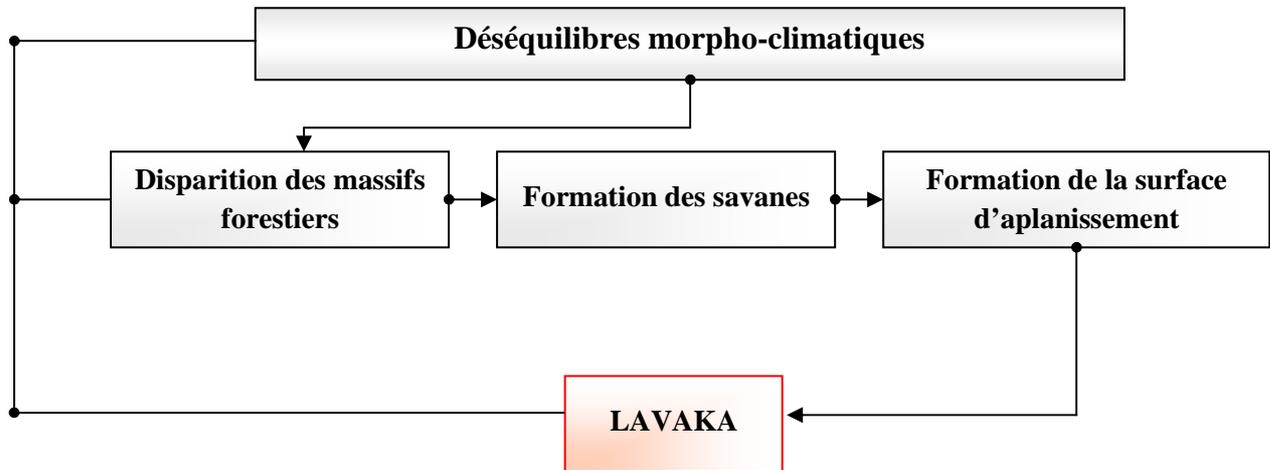
C'est l'ensemble des phénomènes qui façonnent les formes du relief terrestre et qui contribuent à user la surface du globe. L'érosion dépend des interactions entre la topographie de la terre, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. D'où l'amorce de l'érosion qui est l'ensemble des processus de la météorisation et de l'action des êtres vivants qui entraîne une perte de substance sous forme de poussière et de soluté.

Elle se définit aussi comme le processus physique et chimique naturel par lequel le sol et les roches de la croûte terrestre sont continuellement soumis à une abrasion et à une corrosion. Donc la majeure partie de l'érosion provient des actions combinées de différents facteurs, comme la chaleur, le froid, les gaz, le vent, la gravité et la vie végétale.



## 1.2. LE LAVAKA

Le lavaka n'est que le processus d'érosion dû aux conséquences des déséquilibres morpho-climatiques. Les étapes de la formation du lavaka sont illustrées dans l'organigramme suivant :



*Flow-Sheet 1 : Etapes de formation du lavaka*

## 1.3. LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

C'est un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnels capables de saisir, de stocker, de mettre à jour, de manipuler, d'analyser et de présenter toutes formes d'informations géographiques référencées.

## 1.4. LA TELEDETECTION

La télédétection est une technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information des objets en analysant des données collectées par des instruments n'étant pas en contact direct avec ces objets. Ces informations concernent surtout les caractéristiques physiques et biologiques de l'objet.

## 1.5. LA BASE DE DONNEES :

C'est un ensemble structuré de matériel de données enregistrées sur des supports accessibles par l'administrateur pour satisfaire simultanément plusieurs utilisateurs.



## 1.6. LE SYSTEME DE GESTION DE BASE DE DONNEES

C'est un outil permettant d'insérer, de modifier et de rechercher efficacement entre les utilisateurs et la mémoire secondaire afin de faciliter le travail de ces utilisateurs et en leur donnant l'impression que toutes les informations acquises sont souhaitées. Chacun doit avoir l'impression qu'il est seul à utiliser l'information.

## 1.7. MODELE PREDITIF

C'est un modèle mathématique utilisé en SIG et télédétection pour identifier ou délimiter les zones sensibles et subissant la dégradation du sol. Il se base sur la probabilité du pixel utilisé pour la numérisation satellitaire. Il est nécessaire pour la méthodologie et la prise de décision. Avec ce modèle, il est possible de prévoir les futurs glissements de terrain, les menaces sur l'habitat d'espèces animales, les aquifères et les bonnes zones industrielles.

Ce modèle est utilisé car tous spécialistes du SIG et Télédétection n'arrivaient pas identifier directement les zones sensibles aux futurs glissements de terrain et à obtenir un coût raisonnable pour la réhabilitation, ils doivent se référer à une notion de probabilité pour estimer le problème et la résolution.

L'idée fondamentale du modèle est l'approche basée sur les fonctions de favorabilité dont la fonctionnalité est la suivante :

À chaque pixel,  $p$  :

$$f(\mathbf{T}_p: \text{pour les } \mathbf{m} \text{ facteurs causaux } \mathbf{v}_k(p)=1 \dots \mathbf{m})$$

où

- ☞  $f(\mathbf{v}_k(p)=1 \dots \mathbf{m})$  est un modèle prédictif et peut prendre des formes très différentes selon les applications.
- ☞  $\mathbf{v}_k(p)$  contient les paramètres dont les valeurs sont calculées à partir des données existantes
- ☞  $\mathbf{T}_p$ : ( $p$  sera touché par un futur glissement de terrain de type  $\mathbf{D}$ ) en supposant que les facteurs causaux en  $p$  constituent la fonction de probabilité conditionnelle conjointe.

La "Sûreté" impliquée dans cette modélisation vient de la probabilité, de la certitude, de la croyance, de la plausibilité et de la possibilité.

Les deux grandes méthodes de calcul des paramètres d'un modèle prédictif sont : la méthode du *Maximum de Vraisemblance* et la méthode des *Moindres Carrées*.



## Chap2. GENERALITES SUR L'EROSION [1], [2], [5], [7]

L'érosion est la transformation de paysage causée par des mouvements de terre ou de roche, ou par la décomposition en petits morceaux des gros morceaux de terre ou de roche. Les différents agents responsables de cette transformation sont la gravité, l'eau et le vent qui les transportent vers un lieu de dépôt.

Ce chapitre consiste à présenter, en général, l'érosion, à savoir ses mécanismes, ses différents types, ses caractéristiques, ses causes, ses conséquences, ainsi que les solutions possibles, et ses répartitions à travers Madagascar.

### 2.1. LE MECANISME

Deux éléments sont à l'origine des phénomènes d'érosion : *l'eau et le vent*. Sous l'action du vent, des particules de terre ou de matière organique sont déplacées, emportées d'une parcelle à l'autre ou transférées vers le bas des pentes. Les cours d'eau engendrent des pertes de matière parfois considérables.

Les conséquences sont significatives tant au niveau des zones cultivables, par exemple la perte d'éléments minéraux et la dégradation de la structure, que de l'environnement comme la voirie et la turbidité des eaux.

### 2.2. LA MANIFESTATION

Sous l'action du climat, l'action combinée de la pluie et du ruissellement constitue un facteur majeur d'érosion des sols.

Tout d'abord, sur la surface des sols nus, la structure du sol se détruit sous l'impact des gouttes de pluie, cette manifestation est dite généralement *l'attaque du sol*. L'infiltration diminue progressivement et une croûte se forme. Ensuite, *le ruissellement* commence, du fait de la diminution de porosité. Il se concentre, arrache la terre et l'entraîne, creusant les zones d'écoulement jusqu'à devenir des ravins.

Il est donc évident que tous les sols ne présentent pas la même sensibilité à l'érosion. Le phénomène est discret dans de nombreuses situations mais peut revêtir des aspects très visibles, voire dramatiques. Cela dépend des différents facteurs, selon les caractéristiques propres du sol ou sa topographie. Ainsi il est à noter que la richesse en matière organique favorise l'infiltration de l'eau et limite l'érosion, à savoir l'argile dont la teneur importante contribue également à une meilleure stabilité du sol. La pente possède également un rôle déterminant qui conditionne la vitesse de ruissellement et augmente ainsi sa capacité d'arracher les éléments.



### **2.2.1. L'attaque du sol**

#### *a. Définition*

L'attaque du sol se produit sous l'effet de la pluie ; les particules du sol sont arrachées, en désagrégées par sa propre force : énergie cinétique des gouttes de pluies. C'est cette force qui provoque l'*érosion de rejaillissement*, parfois désignée par le terme *splash érosion*.

#### *b. L'érosion de rejaillissement*

Le processus de l'érosion de rejaillissement se produit suivant les étapes suivantes :

- les premières gouttes s'enfoncent et font rejaillir des particules sur la surface compacte
- le sol s'humecte et prend une certaine cohésion
- le rejaillissement atteint ensuite son maximum
- une lame d'eau se forme à la surface et le sol protégé par cette lame n'est plus l'objet de rejaillissement mais il y a ruissellement.

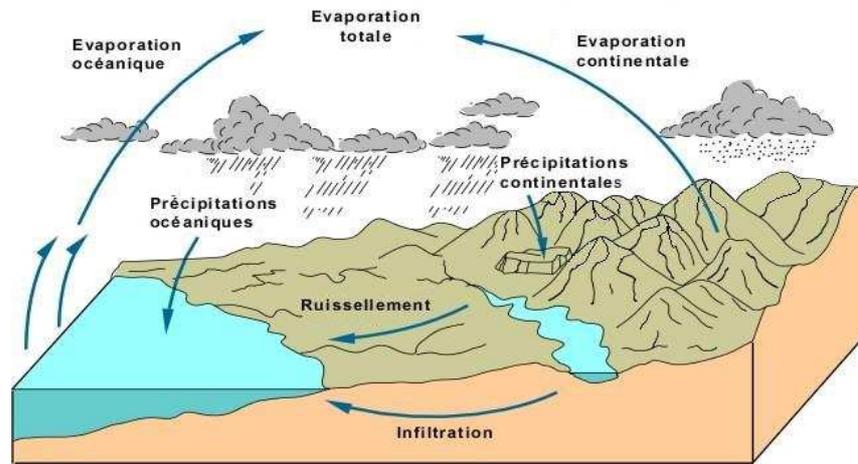
L'importance de cette érosion est donc fortement liée à l'intensité de la précipitation d'une part et aux caractéristiques propres du sol d'autre part.

### **2.2.2. Le ruissellement**

#### *a. Définition*

Le ruissellement est l'écoulement par gravité à la surface du sol suivant la pente de terrain. Dans le cycle de l'eau, ce sont les eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, l'évaporation et le stockage à la surface du sol. Le facteur important dans ce mécanisme est l'eau de ruissellement.

C'est un des moteurs de l'érosion : l'eau qui s'écoule entraîne avec elle des particules plus ou moins grosses en fonction de la quantité d'eau en mouvement et de la pente. Ce qui peut avoir un effet abrasif sur le terrain soumis au ruissellement.



*Figure 1: Le cycle de l'eau*

### *b. L'eau de ruissellement*

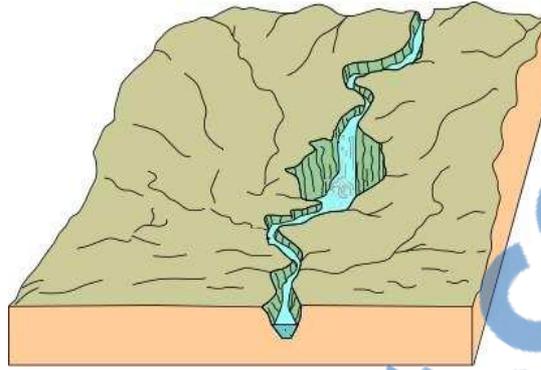
Durant le cycle total de l'eau, 7% d'eau sont capables pour modeler les continents par ruissellement. Ce pourcentage est un peu petit mais il s'agit d'un agent très efficace.

Il est bien connu que les eaux de ruissellement creusent les vallées ou les montagnes. La profondeur, la largeur et les formes de ces dernières se modifient avec le temps dès leur jeunesse jusqu'à leur maturité. Les points essentiels de ce mécanisme sont les suivants :

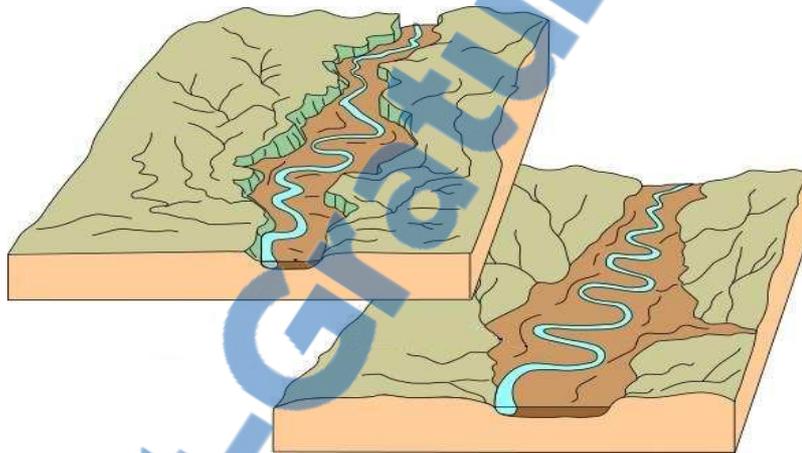
Le stade de jeunesse d'une vallée fluviale caractérisé par le creusement conduisant la formation d'une vallée étroite en forme de V; les reliefs sont accentués le long du cours d'eau et on retrouve des chutes, des cascades et des rapides.

A l'étape de la maturité, le cours d'eau aplanit les reliefs et diminue leur gradient de pente; il commence alors à s'éroder latéralement, élargissant et créant dans la vallée, par ses dépôts, une plaine d'inondation. Cette dernière se construit par l'apport constant de sédiments issus de l'érosion en amont et par l'épandage dans la vallée de ces sédiments durant les périodes de débordement dues aux crues.

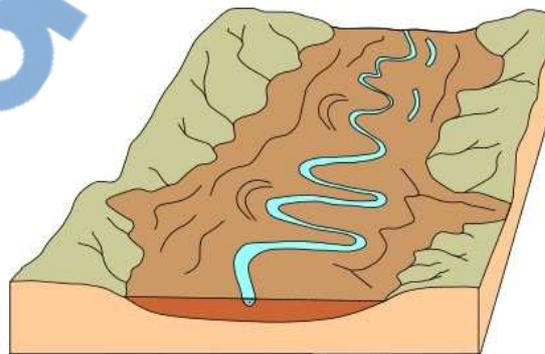
Les figures 2, 3, et 4 illustrent ce phénomène :



*Figure 2: Début d'un creusement d'une vallée*



*Figure 3: La phase de jeunesse d'une vallée fluviale*



*Figure 4: Etape de maturité d'une vallée fluviale*

### **2.3. LES DIFFERENTS TYPES D'EROSIONS**

On peut définir généralement deux types d'érosion :

- ⇒ *l'érosion lente* ; et
- ⇒ *l'érosion rapide*



### 2.3.1. L'érosion lente

Elle touche de grands éléments comme les montagnes qui perdent leur hauteur à cause de l'usure produite sur une longue période quand l'eau et le vent s'abattent contre la surface de la terre. La période géologique ne déplace pas seulement des galets et de la poussière mais elle ronge aussi des montagnes en décomposant le rocher qui les compose. Sur des milliers d'années, l'usure brisera d'énormes rochers en petits morceaux qui seront emportés par l'eau et le vent. Finalement, les montagnes deviendront visiblement plus petites.

On distingue généralement dans ce type d'érosion *l'érosion normale* ou *géologique* qui façonne lentement les versants tout en permettant le développement d'une couverture pédologique issue de l'altération des roches en place et des apports alluviaux et colluviaux. Sur ce type normal la perte de terre varie de 0,1 à 1 Tonne/Ha/An. Le processus de ces phénomènes agit en deux temps :

- ▶ altération de la surface
- ▶ transport des matériaux provenant de cette altération

### 2.3.2. L'érosion rapide

Elle se produit en peu de temps et change la surface de la terre. Les séismes ou les glissements de terrain déclenchent l'érosion rapide. Un glissement de terrain se produit lorsque la pente d'une montagne ou d'une falaise se décroche. Cela peut arriver à cause de grosses averses ou d'activités humaines. Les séismes sont un tremblement violent de la croûte terrestre qui se produit quand ses plaques poussent l'une contre l'autre. Un exemple moins grave d'érosion rapide se produit lorsque la pluie sur une colline emmène plantes et terre du haut vers le bas de la colline.

On distingue dans ce type d'érosion, *l'érosion accélérée par l'homme*, suite à une exploitation imprudente du milieu, de 10 à 1.000 fois plus rapide que l'érosion normale. Il suffit d'une perte de 12 à 15 Tonnes/Ha/An, soit 1mm/An ou 1m/1.000Ans pour dépasser la vitesse de l'altération des roches. Elle se caractérise par sa couverture végétale due aux actions anthropiques permettant aux agents atmosphériques d'enlever plus de terre arable qu'il ne s'en forme. La couche arable s'appauvrit en particules par érosion sélective ou squelettisation du sol et s'amincit, tandis que le ruissellement s'accélère provoquant à l'aval des débits de pointe très dommageables pour le réseau hydrographique.



## 2.4. LES CAUSES ET CONSEQUENCES DE L'EROSION

### 2.4.1. Les causes

L'érosion est un vieux problème. Dès que les terres émergent de l'océan, elles sont attaquées par l'énergie du vent, des vagues et des pluies.

D'un côté, le développement de la production agricole entraîne une augmentation des risques de dégradation des terres :

- soit par l'extension des surfaces à des terres neuves qui s'avèrent fragiles et s'épuisent au bout de quelques années de culture par minéralisation des matières organiques et exportation des nutriments sans restitution suffisante ;
- soit par l'intensification et un usage inapproprié des intrants :
  - la fertilisation minérale intensive peut entraîner l'acidification des sols et la pollution des eaux,
  - l'irrigation diminue la stabilité de la structure des sols ou entraîne, en milieu aride, leur salination,
  - la mécanisation et, surtout, la motorisation accélèrent la minéralisation des matières organiques du sol, la dégradation de la structure, la compaction des horizons profonds et l'accentuation des discontinuités hydrauliques.

D'un côté, l'érosion est provoquée par l'énergie de la battance des pluies sur les sols dénudés. L'arrachement des particules de terre vient de l'énergie des gouttes de pluie, lesquelles sont caractérisées par une vitesse de chute en fonction de la hauteur de chute et de la vitesse du vent, et par un certain poids en fonction de leurs diamètres. Au bout de 10 m de chute, la vitesse des gouttes de pluie atteint 90 % de la vitesse finale, déterminée par l'équilibre entre l'attraction universelle et la résistance à l'air de la surface portante de la goutte. Le vent peut augmenter l'énergie des gouttes de pluie de 20 à 50 % mais les turbulences réduisent la taille des gouttes de pluie à 3-5 mm de diamètre.

Certaines analyses permettent aussi de donner des raisons que l'érosion augmente en fonction de la densité de la population. Il est vrai que dans un système agraire donné, si la population dépasse certains seuils, les terres viennent à manquer et les mécanismes de restauration des sols se grippent. Ainsi, en zone peuplée, dès que la population dépasse 20 à 40 habitants/km<sup>2</sup>, le temps de jachère diminue-t-il et devient-il inefficace.



### **2.4.2. Les conséquences**

Plusieurs conséquences sont connues de l'effet de l'érosion sur terre : dégradation du sol, impact sur la vie humaine, l'agriculture, l'économie et le social.

La malnutrition dans les campagnes, la baisse des exportations, l'exode rural important et l'incapacité des familles à épargner, prolongent le paysan d'un pays dans un cycle de décapitalisation dont il aura du mal à s'en sortir, les revenus agricoles très faibles ne permettent même plus à la majorité d'entre eux de renouveler leur capital animal et leur capital outil. De plus, la démographie élevée accentue la pression foncière. Ainsi la mise en culture de plus en plus reprochée diminue-t-elle les temps de jachère, provoque-t-elle le surpâturage et favorise-t-elle la dégradation des sols.

Celle-ci ne s'exprime pas seulement par une baisse de la fertilité mais aussi par une accélération des pertes des sols, les facteurs du milieu physique étant naturellement fragiles et les régimes des pluies souvent violentes favorisent le ruissellement.

Une décapitalisation ainsi provoquée s'accompagne d'une perte de la cohésion sociale et oblige le paysan à adopter une attitude de survie, ce qui rend plus difficile la gestion collective de l'espace nécessaire à la réussite des actions d'aménagement et de lutte antiérosive.

L'érosion est aussi responsable de l'abandon de beaucoup d'hectares de terre cultivable, surtout des champs du riz de la vallée. Dans le cas de l'érosion accélérée, le lavaka, l'envasement en haut de champs du riz est un des facteurs qui contribue à ce développement de réduit cultivable et débarque dans les vallées. Le dégagement de terre inapte sur les flancs augmente les niveaux de l'érosion. La dénudation de sols qui perdent leur couche cultivable engendre de nouveau lavaka.

Et enfin, l'érosion donne des impacts sur la réduction de l'écoulement des eaux de pluie jusqu'à 60 à 70% de la précipitation enregistrée. La variation est assez élevée, et dépend des pentes, de l'intensité de la précipitation, du taux d'infiltration potentielle et de la capacité de rétention en eau du sol dans les sites.

## **2.5. L'EROSION A MADAGASCAR**

On a dit et redit que les dangers font courir à la grande île les déforestations insensées qui se poursuivent encore ; le mal est déjà fort avancé et se manifeste, d'une part dans une transformation profonde des sols conduisant à leur dégradation puis à leur stérilité, d'autre part dans des érosions accélérées attaquant non seulement le sol mais aussi le sous-sol.



L'établissement et l'extension de la prairie provoquent une modification profonde du régime des eaux souterraines, le ruissellement prédominant sur la percolation. Des preuves très nettes sont devenues tangibles dans le Sud-ouest, le Sud, même dans les Hauts plateaux.

Une forme d'érosion qui semble particulière aux sols malagasy est constituée par la *lavakisation*. Elle affecte surtout les argiles latéritiques mais aussi, avec un processus sans doute différent, les carapaces sableuses. Géologiquement, les lavaka sont de formation récente ; ils suivent immédiatement l'établissement des prairies. En voyant la preuve de leur jeunesse et de leur densité encore faible, il est à imaginer facilement ce que deviendrait leur action s'ils étaient laissés libres de se multiplier.

### **2.5.1. Les phénomènes d'érosion accélérée : les lavaka**

Les argiles latéritiques de Madagascar sont le siège de phénomène d'érosion accélérée qui se traduit par la naissance d'excavation à parois très abruptes qui crèvent brutalement la surface topographique herbeuse, et introduisent dans le paysage une note chromatique allant du blanc jaunâtre au rouge brique. Ces lavaka sont très fréquents sur les zones de prairies des hauts plateaux.

Ces lavaka sont de véritables paradoxes apparents par suite de leur situation fréquente au voisinage des rivières marécageuse ou sableuses de faible débit en saison sèche paraissant incapable de creuser ces vastes excavations. Donc il est à noter que le lavaka n'a que des rapports lointains avec le régime du cours d'eau auquel il apporte ses eaux et ses alluvions.

La hauteur d'un lavaka est à la différence des côtes du sommet de l'excavation au fond et de celle de la sortie. La longueur est celle du maître-couple. La forme du lavaka est celle de son contour en projection horizontale. Son profil longitudinal est fourni par une section verticale passant par la sortie et le sommet. Les fosses du lavaka vont du maître-couple à la sortie. Le lavaka est limité par des parois subverticales au fond et sur une fraction importante des flancs mais à mesure que l'on approche de l'orée, on se raccorde à la base par des surfaces réglées, de moins en moins inclinées. Au sommet du lavaka, à une distance variable mais faible du fond (50cm à 2m), s'amorce une zone de fissures parallèles au contour. Le profil longitudinal est vertical et se raccorde rapidement par une zone d'éboulis latéritique à la base presque horizontale.



### 2.5.2. Dimensions du lavaka

Elles sont très variées. L'excavation d'une vallée débute de l'ordre de 100m<sup>3</sup> jusqu'à quelque centaines de milliers de m<sup>3</sup>. On distingue, selon leur dimension, le lavaka à petit excavation, le lavaka moyen et le grand lavaka.

La hauteur dépasse rarement 100m. On remarque aussi que par suite de la pente de la base du lavaka, ceci correspond à des épaisseurs très intérieures de la latérite. Un lavaka de taille moyenne a une hauteur de 30 à 40m, une largeur de 100m à 120m, une longueur de 150 à 250m, c'est la dimension la plus variable. Au-dessus de ces spécifications, on a les grands lavaka relativement peu communs et en dessous, la foule innombrable des petites excavations.

### 2.5.3. Genèse et croissance du lavaka

La position, la taille des lavaka semble, sans considérer l'activité érosive propre des cours d'eau dans lesquels ces excavations, se débouchent. L'érosion régressive agit de façon ménagée mais capitale dans l'élaboration des lavaka *embryonnaires* et c'est aussi un facteur assez secondaire dans l'évolution ultérieure des cavités.

Les lavaka sont situés à toutes les altitudes, dans des régions de climats notablement variés, à argile latéritique, d'épaisseur moyenne ou grande. Ils n'existent pratiquement pas en forêt ni en zone cuirasse. Leur densité est grande et leur taille bien développée, aussi bien dans des zones de pénéplaines à potentiel d'érosion faible, celle du bassin du Lac Alaotra, que dans des zones à potentiel assez élevée, celle du bassin de Mahajamba et de Bemarivo. La seule condition que doit remplir le réseau hydrographique dessiné, lui, par l'érosion régressive normale est de s'enfoncer assez bas pour atteindre le voisinage de la zone de contact latérite-roche fraîche.

### 2.5.4. Arrêt et croissance de lavaka

Certains lavaka, rares d'ailleurs, ont non seulement une végétation assez dense sur leur base et sur les éboulés mais aussi sur certaines portions de leurs parois verticales où l'on aperçoit des arbres assez âgés, littéralement accrochés aux parois. Le processus d'abattage régulier a été stoppé depuis un lustre ou deux au moins.

L'extension des lavaka ne semble pas illimitée mais les données retenues à ce sujet sont très insuffisantes pour une raison simple : le lavaka est un phénomène récent. En se basant sur les observations requises, la vitesse moyenne de progression du fond du lavaka est estimée de l'ordre



de  $0,5\text{m.an}^{-1}$ . Cela donne, en supposant constante cette vitesse, 500 ans pour un lavaka de 250m. Ceci fait abstraction de la phase initiale vraisemblablement longue. D'où des milliers d'année pour un lavaka moyen. Bien que cette estimation soit avancée sous toute réserve, elle est géologiquement courte et l'immense majorité des lavaka est en pleine croissance.

Il y a toutefois un mode d'arrêt fréquent de la croissance des lavaka : c'est l'interférence de lavaka lorsque les domaines d'érosion accélérée sont toutes voisines. L'interférence peut se faire par les flancs et alors les lavaka se groupent, séparés par des cloisons latéritiques minces à la base et parfois élevées de 15 à 20m, se tenant en équilibre d'une façon parfois miraculeuse et vouées à une destruction plus ou moins rapide.

L'interférence peut se faire par le fond ; elle est moins commune mais, malgré tout, non rare. De petites vallées appartenant généralement au même grand bassin opposant leur lavaka qui s'arrêtent, laissent subsister des cloisons latéritiques particulièrement élevées. Dans des cas, le noyau granitique au gneiss n'est certainement pas loin, la nappe aquifère se réduit à rien et le processus paraît totalement arrêté.

## 2.6. CONCLUSION

L'érosion est un ensemble de processus variables dans le temps et dans l'espace, en fonction des conditions écologiques et des mauvaises conditions de gestion de la terre par l'homme. Bien que l'érosion soit un phénomène naturel qui, certes, abaisse toutes les montagnes mais en même temps, engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable et tolérable. De ce fait, les luttes antiérosives ne sont pas toutes nécessaires mais il faut de bonnes décisions pour leur lutter. Selon leurs caractéristiques, leurs types et leurs modes d'évolutions, les divers intérêts contre l'érosion ne sont pas forcément compatibles. L'intégration de tous ces paramètres utiles dans des autres outils nécessite une bonne connaissance de l'outil à utiliser. Le SIG et la télédétection sont des outils de gestion de l'environnement qui pourront donner une bonne solution pour ce type de problème.



## **Chap3. GENERALITES SUR LE SIG ET LA TELEDETECTION [1], [6], [7] [9], [14]**

La géographie est en permanence au cœur de notre environnement et de notre quotidien. Le développement des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et la Télédétection favorise largement l'emploi de la dimension spatiale pour visualiser, comprendre, analyser et décider dans de nombreux domaines. Mais tout cela n'est que très rarement visible et accessible, car réservé aux communautés d'utilisateurs et des spécialistes. Cependant, la géographie est le dominateur commun le plus intuitif, entre les hommes, leur environnement et les phénomènes qui s'y déroulent. C'est pour mettre en lumière les remarquables applications du SIG et de la télédétection que ce chapitre essaie de donner.

### **3.1. LES SIG**

Roger TOMLINSON, considéré comme le père des Systèmes d'Informations Géographiques, a initié un ambitieux projet qui mena à la réalisation du plus important SIG de l'époque. Les premiers systèmes d'informations géographiques apparurent au début des années 60 entre autres chez les Américains au Harvard Laboratory for Computer Graphics et au Environmental Systems Research Institute en Grande-Bretagne.

C'est l'impossibilité, en 1960, de faire l'analyse des trop nombreuses cartes de l'Afrique de l'Est dans le but de localiser les endroits optimaux pour créer de nouvelles plantations forestières et pour implanter un moulin, qui fit germer chez TOMLINSON l'idée du traitement des données géographiques par ordinateur.

L'essor progressif des SIG institutionnels de grande envergure au cours des années 70 fut suivi d'un véritable boom au cours des années 80, en grande partie dû à l'apparition du micro-ordinateur. Aujourd'hui, ils ont littéralement envahi entreprises, gouvernements, universités et autres organisations.

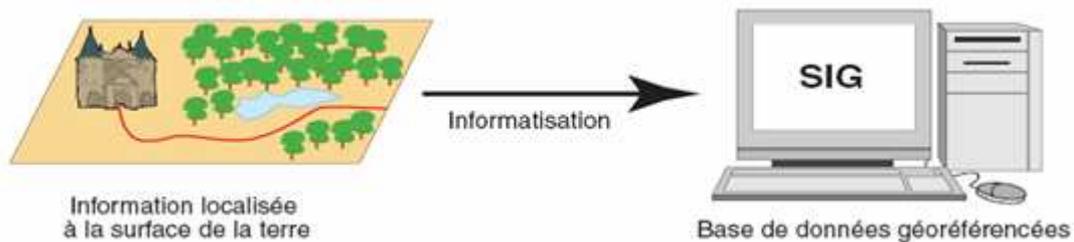
#### **3.1.1. Objectifs et fonctionnalités du SIG**

Le SIG occupe une place très importante dans la vie courante. C'est un outil de gestion et d'aide à la décision à partir des données géographiques. Ainsi, en tant qu'outil, le SIG joue un rôle important dans l'aide à la décision, le suivi et le contrôle.



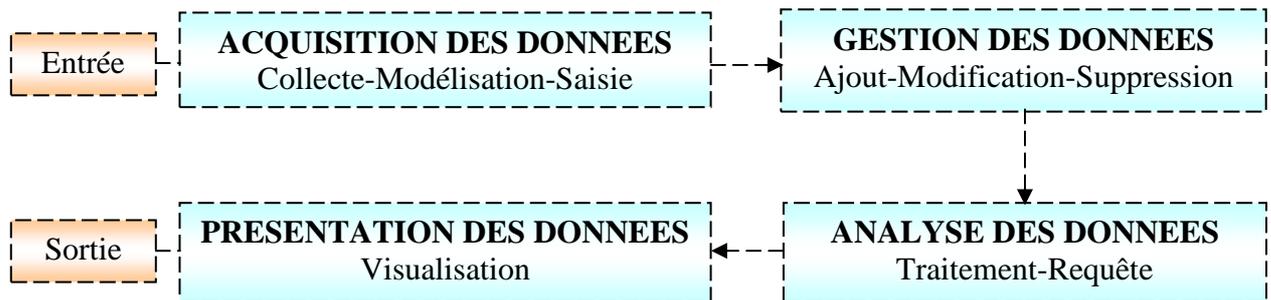
Son but est de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace à partir des diverses sources.

Pour atteindre son but, l'informatisation est nécessaire car la source primaire vient des informations localisées à la surface de la terre afin d'avoir une base de données géoréférencées sur l'outil de destination. La figure suivante explique ce fonctionnement :



**Figure 5: Objectif du SIG**

Les composantes principales du SIG sont alors l'utilisateur, l'ordinateur, les données et le logiciel de traitement et l'informatisation. L'organigramme suivant résume la fonctionnalité du SIG:



**Flow-Sheet 2 : Fonctionnalité du composant SIG**

Le SIG, en tant que outil de source d'information, permettra de :

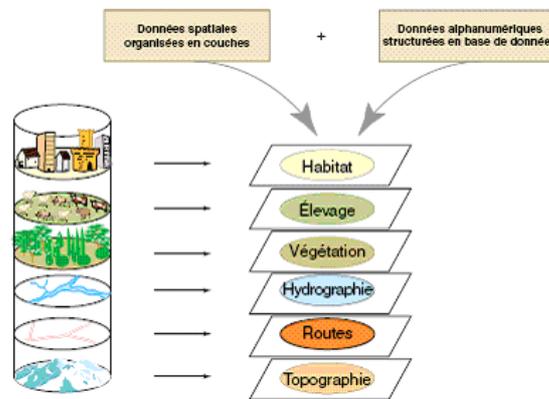
- disposer des objets dans un système de références géoréférencées,
- convertir les objets graphiques d'un système à un autre et extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée d'une route,
- facilite la superposition de cartes de sources différentes,
- fusionner des objets ayant une caractéristique commune. Par exemple : toutes les maisons raccordées à un réseau d'eau potable,
- déterminer l'itinéraire le plus court pour se rendre à un endroit précis,
- définir des zones en combinant plusieurs critères. Par exemple : définir les zones inondables en fonction de la nature du sol, du relief, de la proximité d'une rivière,
- visualiser le monde tri-dimensionnellement.



### 3.1.2. Les données utilisées en SIG

La base de tout traitement assisté sur ordinateur relatif au SIG conduit à interpréter l'information géographique suivant les données se rapportant sur une zone d'étude. Les données utilisées sont en général issues de la levée topographique, des cartes planes, de la photo aérienne et de la télédétection.

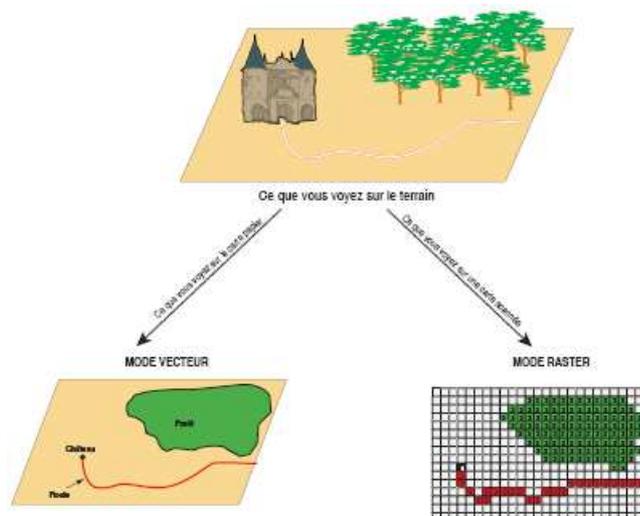
La structure de l'information géographique est donnée par l'ensemble de l'inspiration de l'utilisateur afin de pouvoir additionner des données spatiales organisées en couches avec des données alphanumériques structurées en base de données. Le schéma suivant montre la structure de l'information géographique :



Base de données géographique = ensemble de couches superposables

**Figure 6: Structure de l'information géographique**

A partir de cela, l'information géographique doit se transférer au SIG et le mode de représentation de ce dernier a été simplifié comme suit :



**Figure 7: Mode de représentation de l'information géographique**



### a. Données rasters

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Par exemple, une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique.

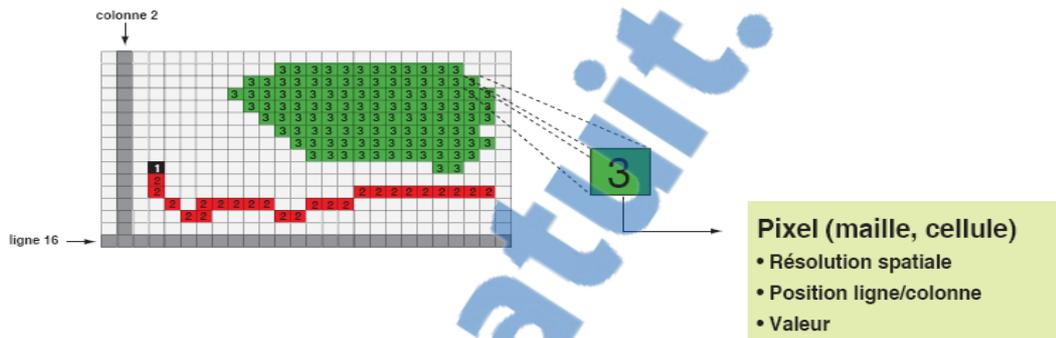


Figure 8: Mode de représentation des données raster

Exemple de données raster :

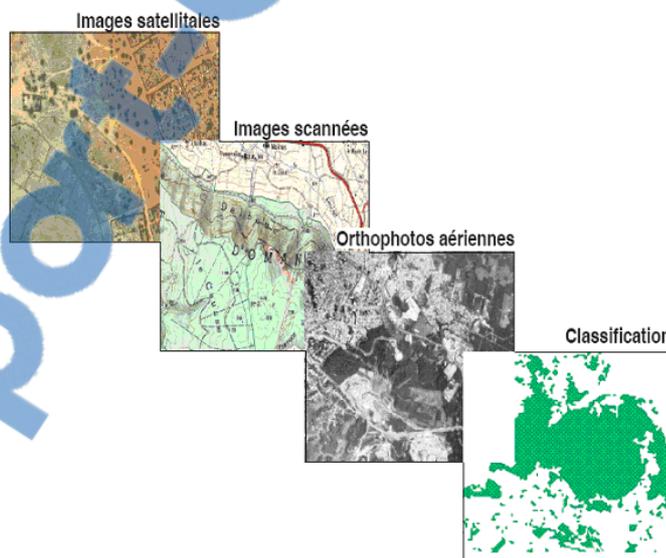


Figure 9: Exemples de données raster

### b. Données vecteurs

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.

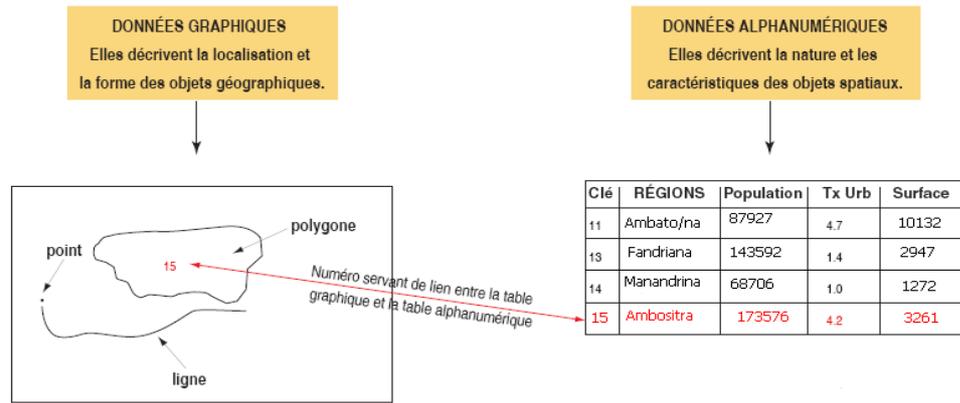


Figure 10 : Mode de représentation de donnée vecteur

Exemples de données vecteurs :

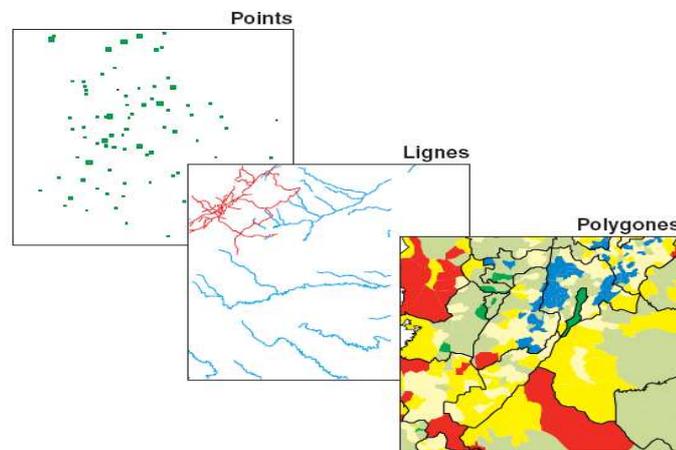


Figure 11: Exemples de données vecteurs

### 3.1.3. Importance du SIG

La gestion de l'environnement s'effectue au fil de **décisions** qui, dans de nombreux cas, reposent sur des critères géographiques et portent sur des enjeux territoriaux.

L'accroissement des besoins en information géographique, qui a suivi l'évolution des préoccupations environnementales, combiné à l'évolution technologique des dernières décennies, explique l'essor phénoménal qu'ont connu récemment les systèmes d'information.

Ces systèmes permettent en effet de rassembler des données de source et de nature variées, d'en dériver de nouvelles informations par des procédés d'analyse spatiale et, surtout, de combiner les différents segments de la réalité géographique représentés dans une base de données spatiale pour évaluer simultanément, d'après des critères environnementaux, divers **scénarios d'aménagement** ou de développement, dans le but d'aider la **prise de décision** selon la logique de la **gestion intégrée**.



Les SIG furent d'abord développés pour répondre à des besoins pratiques découlant entre autres des problèmes suivants:

➤ l'*analyse* du territoire faite à partir de plusieurs *cartes-papiers* comporte des difficultés découlant des différences de projections cartographiques et d'échelle d'un document à l'autre rendant pénible l'identification précise d'un même lieu sur plusieurs cartes différentes,

➤ la *mise à jour* des cartes-papiers était pénible et coûteuse à cause des nombreuses étapes d'édition, de reproduction et de diffusion, par conséquent, la révision des cartes ne se faisait pas aussi souvent que nécessaire,

➤ les *compilations*, mêmes simples, de données cartographiques volumineuses, par exemple le calcul des superficies menacées par l'érosion d'une région, étaient ardues à cause des outils utilisés, soient respectivement le planimètre et le dimensionnement,

➤ le lien entre les attributs descriptifs d'un lieu se faisait *cartographiquement*, c'est-à-dire en inscrivant sur la carte des abréviations minuscules, ou des symboles enchevêtrés, traduisant des valeurs associées à des lieux, et rendant difficile la lecture de la carte.

➤ la visualisation en 3D pour la bonne décision sur un certain problème, par exemple la dégradation progressive du sol.

### 3.1.4. Domaines d'applications du SIG

Le SIG en tant qu'outil de gestion de base de données permet d'introduire sur plusieurs domaines à savoir :

- ☞ le tourisme : gestion des infrastructures, itinéraires touristiques
- ☞ le marketing : localisation des clients, analyse du site
- ☞ la planification urbaine : cadastre, voirie, réseaux d'assainissement
- ☞ la protection civile : gestion et prévention des catastrophes
- ☞ le transport : planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires
- ☞ l'environnement et hydrologie : problème d'érosion
- ☞ la forêt : cartographie pour aménagement, gestion des coupes
- ☞ la géologie : prospection minière et gestion de ressource
- ☞ la biologie : études du déplacement des populations animales
- ☞ la télécommunication : implantation d'antennes pour les téléphones mobiles.



### 3.1.5. Les logiciels utilisés en SIG

#### a. Fonction d'un ensemble d'un logiciel SIG

Les logiciels utilisables intègrent les fonctions suivantes : système de gestion de bases de données, système de traitement d'images, logiciel de traitements statistiques, logiciel de transcodage, logiciel de compression, logiciel de transmission ftp, traçage et reconnaissance automatique des caractères.

Une manière de résumer les fonctions d'ensemble d'un SIG est d'utiliser l'organigramme suivant, ce qui reprend les composantes conceptuelles du logiciel SIG

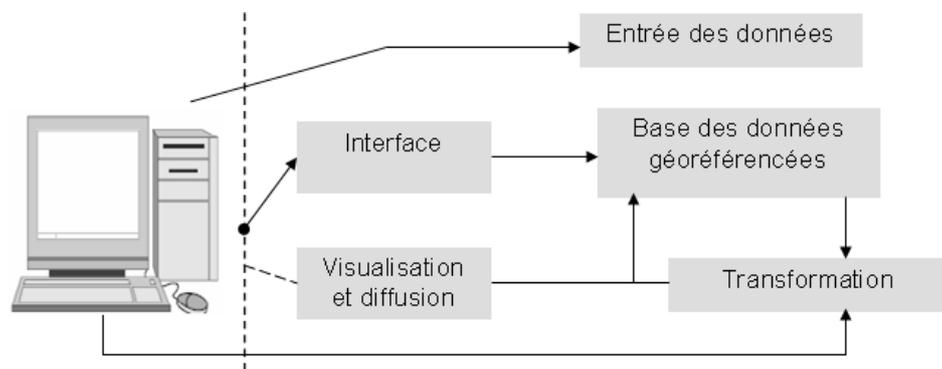


Figure 12: Fonction d'un ensemble d'un SIG

#### b. Principales composantes logicielles d'un SIG

Les principes sont les suivants :

- Capture ou collecte des données puis Intégration ou Saisie des données
- Traitements, portant sur le cœur du système la base de données, lieu de stockage de l'information à référence spatiale. Ces traitements se font par l'intermédiaire de l'interface et du Système de gestion de base de données.
- Visualisation et diffusion des résultats, avec ou sans transformation préalable.

Le ou les logiciels SIG utilisés sont bien sûr l'élément le plus important d'un outillage géomatique et il importe de choisir ces logiciels avec grand soin. La liste des critères de sélection est très longue et varie selon les besoins. La version du produit SIG s'améliore de temps en temps à savoir : ArcGis, Arc/Info, ArcView, Intergraph MGE, MapInfo.

Il est très souvent utile d'avoir recours à un système de gestion de base de données conventionnel à cause des fonctions avancées de gestion des données qu'offrent ces systèmes : ACCESS, ORACLE, dBASE, FOXPRO.



## 3.2. LA TELEDETECTION

Les premières vues de la terre depuis l'espace datent des années 1946. Elles ont été prises par des appareils photographiques équipés sur des fusées. Les premiers vols habités ont montré l'intérêt de pouvoir disposer de bases d'observation spatiale. Ainsi dès les années 60, les vols Gemini et Apollo ont rapporté les premières photographies couleurs de la terre et de l'océan.

A partir de la fin des années 60, les satellites météorologiques de la série TIROS ont retransmis des images dans le visible et l'infrarouge. Par ciel clair, certaines informations sur l'état de la surface de la terre et la rugosité de surface peuvent être déduites de la réflexion spéculaire du soleil. Cependant, c'est seulement à partir des années 70 que les spécialistes en télédétection ont pu disposer d'informations exploitables sur la nature et la biodiversité de la terre grâce à l'amélioration des résolutions spatiales et radiométriques des capteurs balayant des satellites de la série NOAA. Depuis, plusieurs satellites ont été lancés entre autres Geosat, ERS-1, Topex-Poseidon, et JERS. Les applications des données de leurs capteurs sur la couleur, la température, la hauteur dynamique, la pluviométrie, biologie, physique, et même géophysique. Les progrès accomplis dans l'étude de la télédétection grâce à ces techniques ne l'ont été que par une collaboration constante entre les spécialistes des techniques spatiales et les Sigistes, il en sera ainsi dans le futur.

### 3.2.1. Objectifs et fonctionnalités de la télédétection

L'interprétation et l'analyse de l'imagerie de télédétection ont pour but d'identifier et de mesurer différentes cibles dans une image pour pouvoir en extraire l'information utile. En télédétection, une cible est définie comme étant toute structure ou objet observable dans une image. Les cibles peuvent être des points, des lignes ou des surfaces. Elles peuvent donc présenter des formes variées : un pont, une route, un grand champ ou une étendue d'eau.

Il existe trois composantes principales du processus de la télédétection : la source d'énergie, l'interaction entre l'énergie et l'atmosphère et l'interaction entre l'énergie et la surface

Comme fonction, la télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte sept étapes essentielles ci-dessus. Il est à noter aussi que la télédétection peut également impliquer l'énergie



émise et utiliser des capteurs non-imageurs. Les sept étapes suivantes couvrent le processus de la télédétection du début à la fin et se résume dans la **figure 13**.

⇒ *Etapes 1* : Source d'énergie ou d'illumination (**A**) : à l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible

⇒ *Etapes 2* : Rayonnement et atmosphère (**B**) : durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

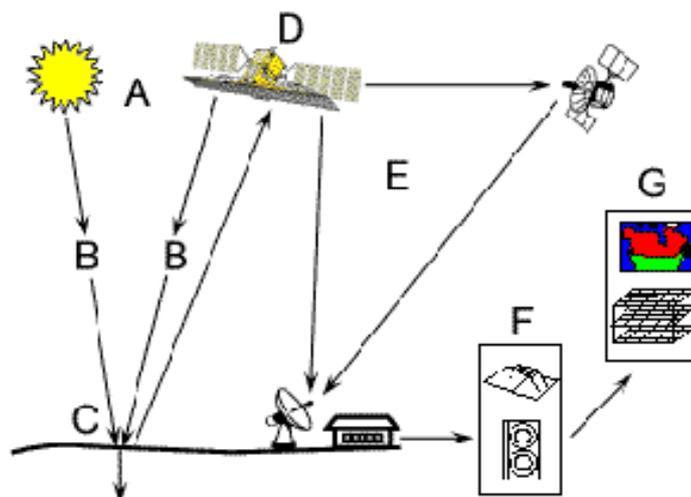
⇒ *Etapes 3* : Interaction avec la cible (**C**) : une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface

⇒ *Etapes 4* : Enregistrement de l'énergie par le capteur (**D**) : une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée pour être enfin enregistrée.

⇒ *Etapes 5* : Transmission, réception et traitement (**E**) : l'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images.

⇒ *Etapes 6* : Interprétation et analyse (**F**) : une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire sur la cible.

⇒ *Etapes 7* : Application (**G**) : la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.



**Figure 13: Fonctionnalité de la télédétection**



### 3.2.2. Données utilisées

En télédétection, les données utilisées se basent en général sur des formats analogiques numériques. Dans plusieurs cas, l'imagerie présente dans un format photographique, indépendamment du type de capteurs et de la manière dont les données sont acquises et ces données sont en *format analogique*.

Les images de télédétection peuvent être aussi représentées au moyen d'un ordinateur par une matrice de pixels, où chaque pixel correspondant à un *nombre*, représentant le niveau d'intensité du pixel. Dans ce cas, les données s'expriment en *format numérique*.

Les imageries analogiques et numériques peuvent toutes deux se figurer en noir et blanc, *images monochromatiques*, ou en composés couleurs en combinant différents canaux ou bandes représentant différentes longueurs d'onde.

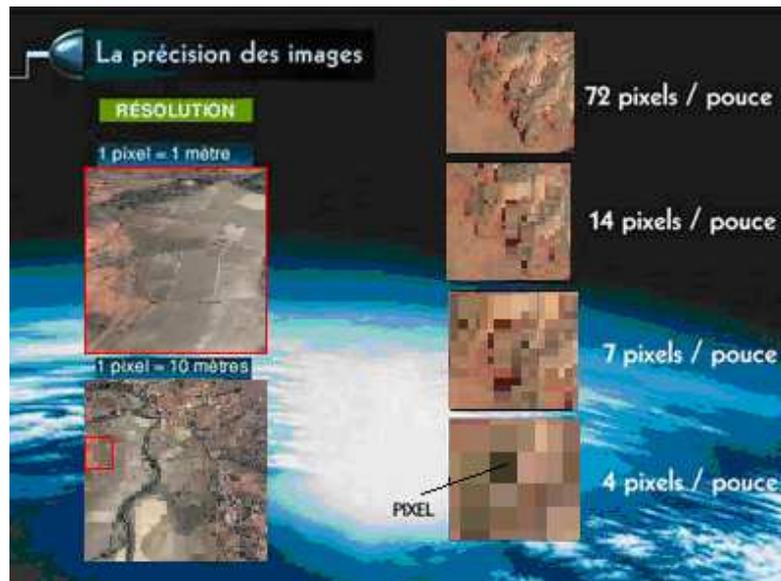
Quand des données de télédétection sont disponibles en format numérique, le traitement et l'analyse numériques s'effectuent au moyen d'un ordinateur. Le traitement peut servir à rehausser les données en prévision d'une interprétation visuelle. Des traitements et analyses numériques se font automatiquement afin d'identifier des cibles et d'extraire l'information sans l'intervention d'un interprète humain. Cependant, le traitement et l'analyse numériques sont presque toujours utilisés en appui et en complément à l'interprétation humaine.

L'interprétation et l'analyse visuelles datent du tout début de la télédétection avec l'interprétation de photos aériennes. Le traitement et l'analyse numériques sont plus récents avec la venue des enregistrements numériques des données de télédétection et le développement des ordinateurs. Les techniques analogiques et numériques pour l'interprétation des données de télédétection ont leurs avantages et désavantages respectifs.

### 3.2.3. Importance

La télédétection tient des points importants sur toutes analyses et identifications d'un problème d'un objet sur la terre

Premièrement, la télédétection affecte la précision de l'image. Les capteurs des satellites possèdent des caractéristiques spatiales pour enregistrer les images. La précision spatiale des images est donnée par la résolution. La résolution d'une image de la télédétection se détermine par la plus petite surface que le satellite peut détecter au sol. Cette surface est exprimée sur l'image par les pixels, acronyme formé par les mots « *picture element* ». Une série de pixels compose une image-satellite. C'est aussi le cas d'une photo numérisée par un ordinateur.



*Figure 14: Exemple de précision d'image*

Ensuite, la télédétection permet aussi de recueillir plusieurs informations du fait de l'utilisation de plusieurs sources d'informations. Chaque bande de données recueillie par un capteur contient des informations importantes et uniques. L'apparence d'une cible peut facilement changer avec le temps, parfois en quelques secondes. Pour plusieurs applications, le fait d'utiliser l'information en provenance de différentes sources de données garantit une identification correcte de la cible et une cueillette de données aussi précises que possibles.

Enfin, elle est importante sur la prise de décision et surtout comme outil et aide du SIG.

### **3.2.4. Domaines d'applications**

Voici des façons de combiner plusieurs ensembles de données pour retirer le plus d'informations possibles d'une cible ou d'une région.

#### *a. La géologie*

La géologie n'est pas limitée à la surface de la Terre. La télédétection a été utilisée pour examiner la composition et la structure des autres planètes et satellites naturels.

La télédétection permet d'extraire l'information sur la structure ou la composition de la surface de la terre. Elle est souvent combinée à d'autres sources de données pour des mesures complémentaires. À partir de la réflectance spectrale, les données multispectrales peuvent fournir de l'information sur la composition lithologique des roches. Le radar fournit de l'information sur la rugosité et la géométrie de la surface et est donc très utile.



### ***b. Couverture et utilisation du sol***

La couverture du sol fait référence à la couverture de la surface, que ce soit de la végétation, des infrastructures, de l'eau, du sol nu ou autres. L'identification, le tracé et la cartographie de la couverture du sol sont importants pour les études de surveillance planétaire, de gestion des ressources et de planification d'activités.

Les propriétés mesurées par la télédétection se rapportent à la couverture du sol, à partir de laquelle l'utilisation du sol peut être déduite à l'aide de données auxiliaires ou de connaissances préalables. La détection de changements des couvertures du sol à long terme peut indiquer une réaction à des modifications des conditions climatiques locales ou régionales qui sont la base même de la surveillance à l'échelle du globe.

### ***c. Agriculture***

L'agriculture joue un rôle primordial dans l'économie des pays développés et en voie de développement. Tout producteur agricole a besoin d'information pour gérer efficacement ses récoltes. Il doit disposer des outils d'information qui lui permettent de planifier ses opérations et de faire face aux multiples aléas pouvant menacer sa production, telles que infestations d'insectes, intempéries, sécheresses ou dommages reliés au stress des végétaux, qui peuvent affecter le potentiel de sa récolte et les conditions de sa terre.

Les images satellitaires et aériennes servent à la classification des cultures, à l'assurance de la santé et de la viabilité des productions et à la surveillance des mesures d'intervention.

### ***d. Foresterie***

L'importance des forêts comme ressource alimentaire et protectrice, comme habitat, comme pourvoyeur de papier, de matériaux de construction et de combustion ainsi que de plantes médicinales est indéniable.

La foresterie peut bénéficier de nombreuses applications internationales et domestiques de la télédétection. Parmi celles-ci : le développement continu, la biodiversité, les titres et cadastres des terres, la surveillance du déboisement, la gestion du reboisement, les opérations de coupes commerciales, la cartographie et la protection des côtes et bassins versants.

La cartographie du couvert forestier général, la surveillance des changements côtiers et des bassins versants, la surveillance des coupes et le suivi de la régénération, ainsi que la cartographie des feux de forêts et des zones brûlées sont autant d'applications que les agences ou compagnies canadiennes et étrangères qui sont en mesure d'utiliser la télédétection comme source d'information peuvent offrir sur le marché international.



### *e. Hydrologie*

L'hydrologie est l'étude de l'eau sur la Terre, qu'elle coule à la surface, qu'elle soit gelée sous forme de glace ou de neige, ou qu'elle soit emprisonnée dans le sol. L'hydrologie est naturellement liée à plusieurs autres applications de la télédétection, particulièrement à la foresterie, à l'agriculture et à l'utilisation du sol, parce que l'eau est une composante importante dans chacun de ces domaines. La télédétection offre un aperçu synoptique de la distribution spatiale et de la dynamique des processus hydrologiques, qui n'est généralement pas disponible avec les relevés terrestres. Le radar apporte une nouvelle dimension aux études hydrologiques, car c'est un capteur actif qui permet l'acquisition de données le jour, la nuit et même durant les tempêtes.

#### **3.2.5. Logiciels utilisés**

Il existe plusieurs logiciels de télédétection tels que CARIS, ERDAS, Grass, Google Earth, Idrisi, SPANS, ...

### **3.3. LE SIG ET TELEDECTION 3D**

Le SIG 3D n'est que la projection du SIG 2D en ajoutant un troisième axe selon le besoin. C'est une nouvelle étape dans l'évolution des SIG pour visualiser les données utilisées de la façon plus naturelle.

La cartographie 3D devient de plus en plus présente autour de nous. Après l'américain Google Earth, c'est l'IGN qui va diffuser des maquettes 3D virtuelles au grand public grâce au Géoportail. De plus, la 3D ne se limite plus à réaliser de beaux effets visuels mais devient un outil technique d'aide à la décision. Ainsi, la troisième dimension prend également sa place dans les collectivités territoriales et notamment à la résolution de tel problème environnemental. Néanmoins, pour réaliser ces modélisations, il est nécessaire de disposer de données en trois dimensions précises et de qualité, ce qui induit un coût d'acquisition très élevé.

#### **3.3.1. Importances**

Il est important pour les Sigistes de modéliser la terre, d'étudier les relations qui existent entre les différentes sources de données et de les représenter en trois dimensions. C'est ainsi que les idées suivantes appariassent selon l'importance du SIG 3D :

- étude des relations qui existent entre les différentes sources de données



- il est désormais possible de voir l'impact d'un relief, d'une montagne, d'une vallée, d'un bâtiment ou de tout autre objet en 3D sur ces relations
- pouvant aller jusqu'au but de créer des documents cartographiques dynamiques bénéficiant de possibilités de visualisation et d'analyse permettant une représentation très proche de la réalité
- facile pour réaliser des calculs de visibilité et d'inter-visibilité, des interpolations de points altimétriques, des profils en long et des calculs de plus grande pente
- exécution des chemins de plus forte et des pentes et des courbes de niveau afin de calculer des surfaces, des volumes, des pentes, des orientations et des ombrages
- faciliter pour toutes simulations réalisables sur le SIG : inondation, érosion, chemin, bassin versant.

### 3.3.2. Fonctionnalités

Le SIG et la télédétection 3D intègrent les fonctions suivantes :

- gestion de base de données
- construction de mode surfacique à partir de n'importe quelle donnée
- visualisation interactive 3D incluant les fonctions zoom, déplacement, rotation, inclinaison, survol, trajectoires utilisables pour l'analyse et la représentation
- modélisation à la volée de surface 3D à partir d'attributs à la volée
- application de normalisation et exagération des données à volée
- drapage et visualisation de données bidimensionnelles sur un modèle 3D
- calcul de surface, volume, pente, orientation et ombrage
- interrogation tridimensionnelle sur la base des attributs ou de la localisation
- export de données sur internet au format VRML

### 3.4. CONCLUSION

Le SIG et la télédétection sont des outils structurés par des logiciels de l'information géographique et imagerie. Ils sont appliqués dans plusieurs domaines à savoir la géologie, l'occupation du sol, la foresterie, l'environnement, ...selon les données possédées. L'objectif général de ces deux outils est de rassembler les informations ciblées afin d'avoir une bonne précision sur les décisions finales de certaines analyses. Pour leur utilisation, il faut que la zone à étudier ait des informations bien précises.



# PARTIE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

## Chap4. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE [12]

### 4.1. LOCALISATION DE LA ZONE

La région d'Amoron'i Mania se trouvant dans la partie centrale des hautes terres sud de Madagascar, province de Fianarantsoa, est composée par les districts d'Ambatofinandrahana, d'Ambositra, de Fandriana et de Manandriana. Elle est délimitée entre 45°7' et 47°7' longitude Est et 19°8' et 21°0' latitude Sud dans les canaux (160\_074 ; 159\_074 ; 158\_074) de la scène Landsat.

Elle est limitée :

- au Nord par la région de Vakinankaratra
- à l'Est par la région d'Antsinana et la région de Vatovavy Fitovinany
- au Sud par la région de Haute Matsiatra
- et à l'Ouest par la région de Menabe.

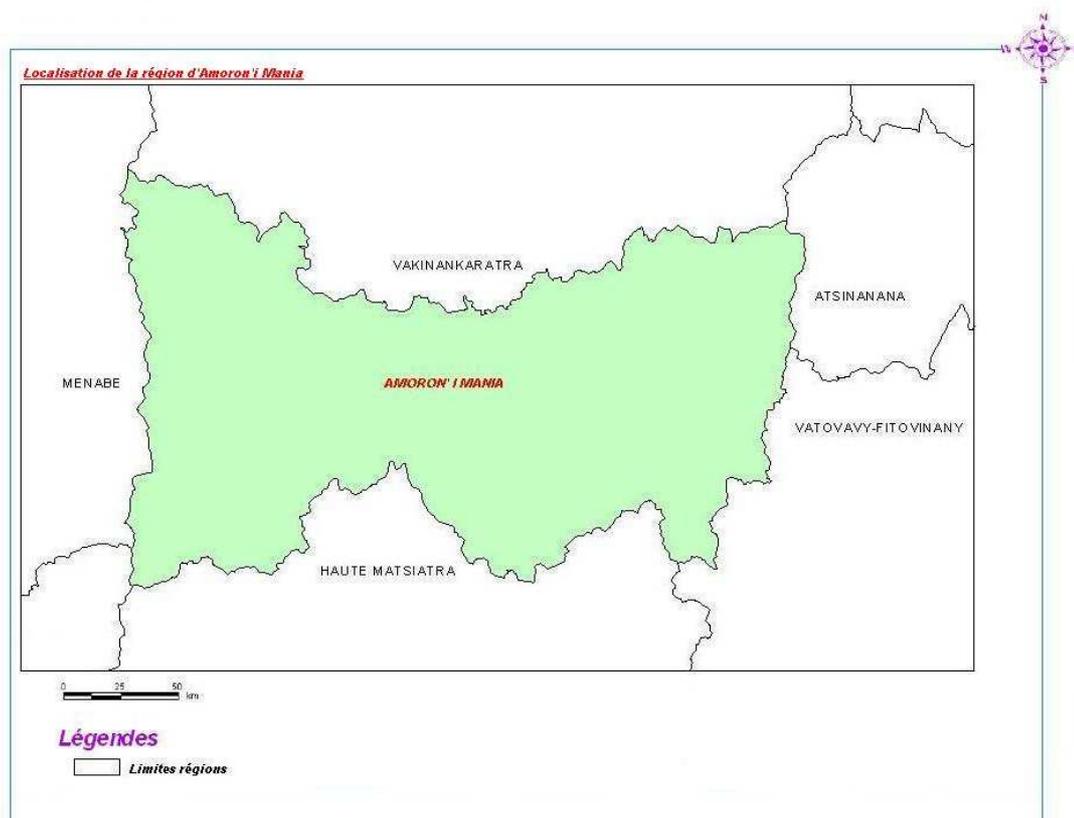
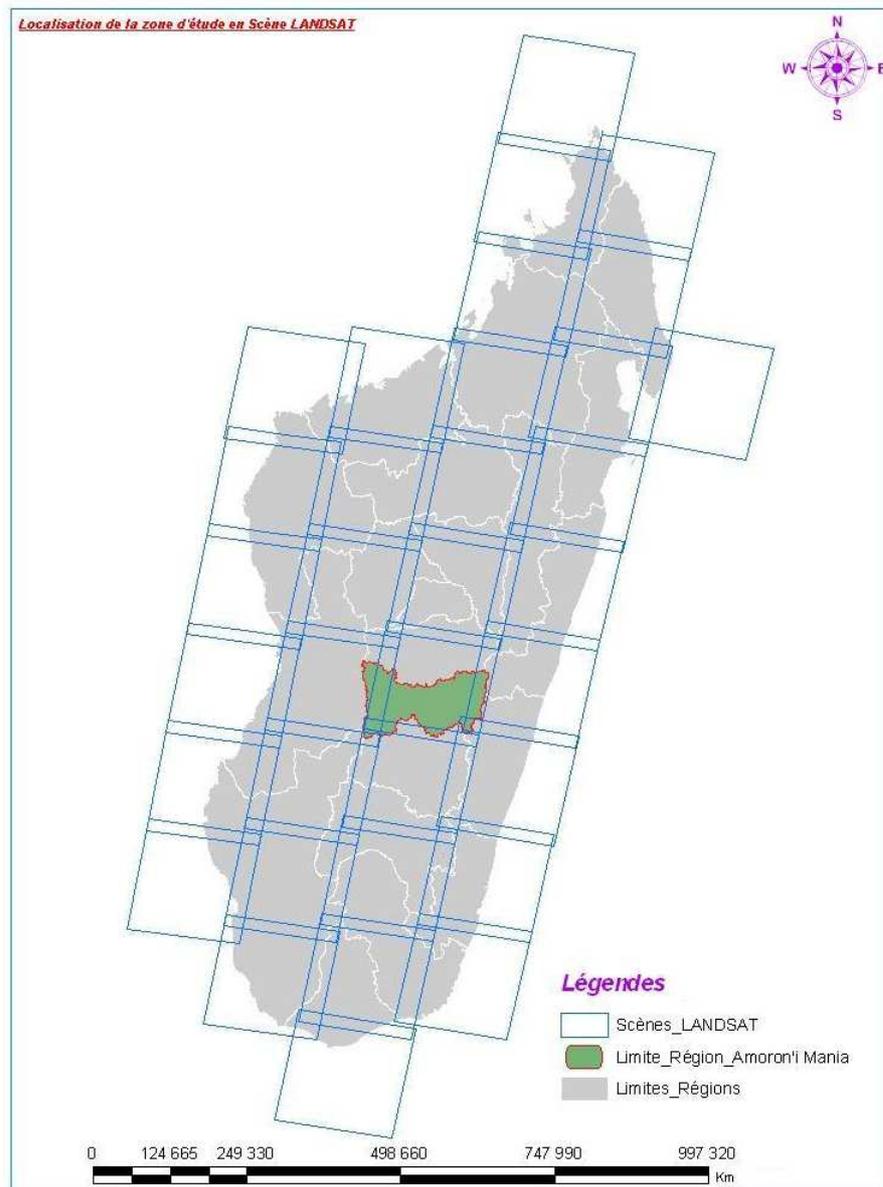


Figure 15: Carte de localisation de la région d'Amoron'i Mania

Source : BD 500 FTM



**Figure 16: Carte de localisation de la région d'Amoron'i Mania en Scènes LANDSAT**

Source : BD 500 FTM

La Région couvre une superficie égale à 17516 Km<sup>2</sup>, soit environ 17% de la superficie de la province autonome de Fianarantsoa. Les superficies de chaque district de la région Amoron'i Mania se répartissent dans le tableau qui suit

Région	District	Nombres de communes	Superficie (Km <sup>2</sup> )
Amoron'i Mania	Ambatofinandrahana	9	10 132
	Ambositra	23	3 161
	Fandriana	13	2 947
	Manandriana	10	1 272
	<b>Ensemble Région</b>		<b>55</b>

**Tableau 1: Répartition de la superficie et de la commune par district**

Source : PCDR Région Amoron'iMania - Ambositra



## 4.2. TYPOLOGIE SOUS-REGIONALE

La région de l'Amoron'i Mania correspond à la partie méridionale du pays Betsileo. Densément peuplée et relativement bien servie par un réseau suffisamment ramifié, cette région à relief tourmenté offre des paysages de rizières en gradin, typiques du pays Betsileo. On peut aussi noter une forte pression démographique se traduisant par un extrême lotissement des parcelles.

Elle est caractérisée par les sous-régions de Soavina et d'Ambatofinandrahana, où il fait nettement plus chaud, mais plus sec, par rapport au reste de la Région. Par contre, dans ces sous-régions, si les conditions d'irrigation nécessaires sont réalisées, et les conditions de pluviométrie favorables, la double riziculture dans une campagne agricole est réalisable et les rendements quelle que soit la nature des spéculations sont bous.

## 4.3. MILIEU PHYSIQUE

### 4.3.1. Relief et paysage

Du Nord au Sud, la région s'étend le long de la route nationale n°7, la partie méridionale des Hautes Terres Centrales. Elle correspond à la zone d'affleurement la moins large du socle ancien.

Le pays Betsileo présente un relief montagneux, heurté par des massifs vigoureux isolés et sillonnés par des dépressions étroites.

A l'Ouest se trouve une succession de plaines d'altitude qui, vers le centre, s'élève brusquement et atteint les 2000 m.

La partie Est, zone d'Ambositra et Fandriana, est caractérisée par la dominance d'un paysage de collines.

### 4.3.2. Géologie

La région d'Amoron'i Mania est prise dans le Bloc d'Antananarivo. Constituée par des schistes, des migmatites, des gneiss dans le faciès amphibolites. La nappe qui s'affleure dans la région est celle d'Itremo, elle est constituée par des formations sédimentaires de plate forme continentale stable très faiblement métamorphisé. Les épisodes gabbroïques, syenotique et granitique ont intrudé les formations de la plate forme continentale.

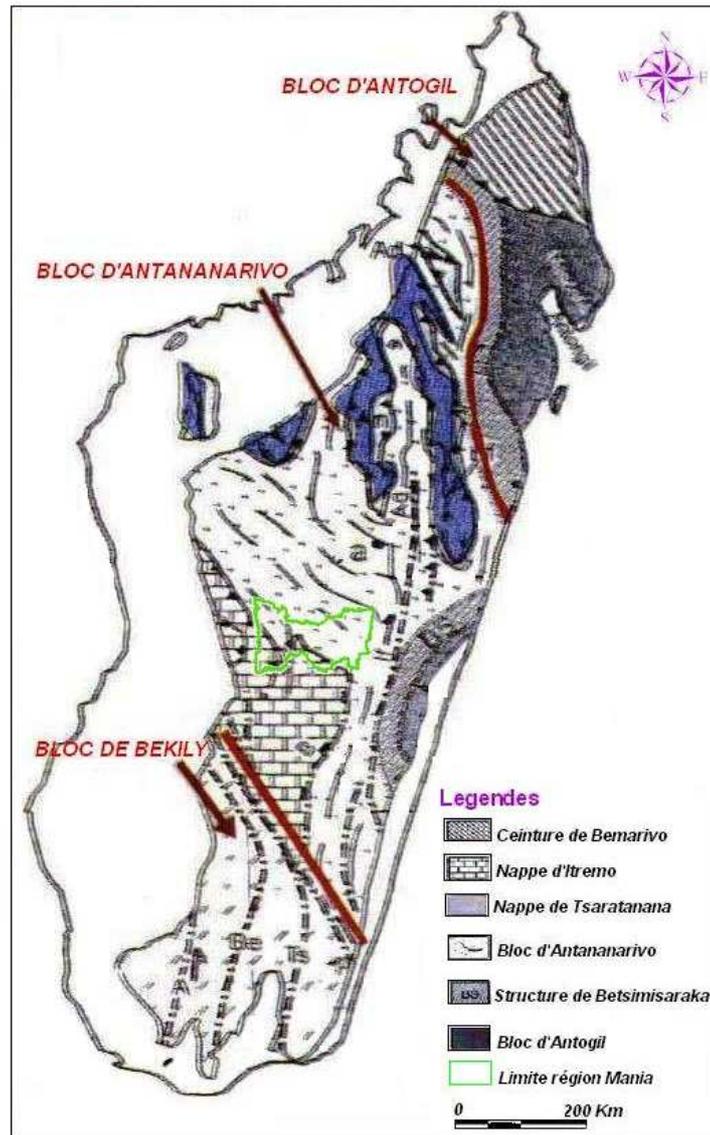


Figure 17: Localisation d'Amoron'i Mania dans les répartitions des Blocs de Madagascar  
Source : BD 500 FTM

### 4.3.3. Climat

#### a. Sources de donnée et le réseau de stations météorologiques

Les stations météorologiques présentes dans la Région sont sous la responsabilité de la Direction de la Météorologie et de l'hydrologie - Service Inter-Régional Sud de la Météorologie et de l'hydrologie, dans la Province de Fianarantsoa.

##### a.1. Stations synoptiques

Elles sont utilisées pour les mesures des pressions atmosphériques, des températures, des humidités relatives, des précipitations et des vents.



### *a.2. Stations climatologiques*

Celles-ci sont réservées seulement pour la mesure de précipitations, de vents et de températures. Les stations toujours en fonction sont celles d'Ambositra Ankorombe et de Fandriana. Ce qui se trouve à Soavina - Ambatofinandrahana est abandonné ou en panne.

D'autres sont occupées sous autres projets. Par exemple la nouvelle station du projet P.L.A.E. située à Soavina – Ambatofinandrahana.

### *a.3. Stations pluviométriques*

Ce sont des stations de mesure de pluies. La station de Soavina-Ambatofinandrahana a été abandonnée. Les données météorologiques disponibles utilisées à la suite de l'étude ont été relevées de la station synoptique d'Ankorombe au cours des années 1991 à 2004.

### *b. La température*

Du point de vue température, la plus basse enregistrée dans la Région est de 12°C.

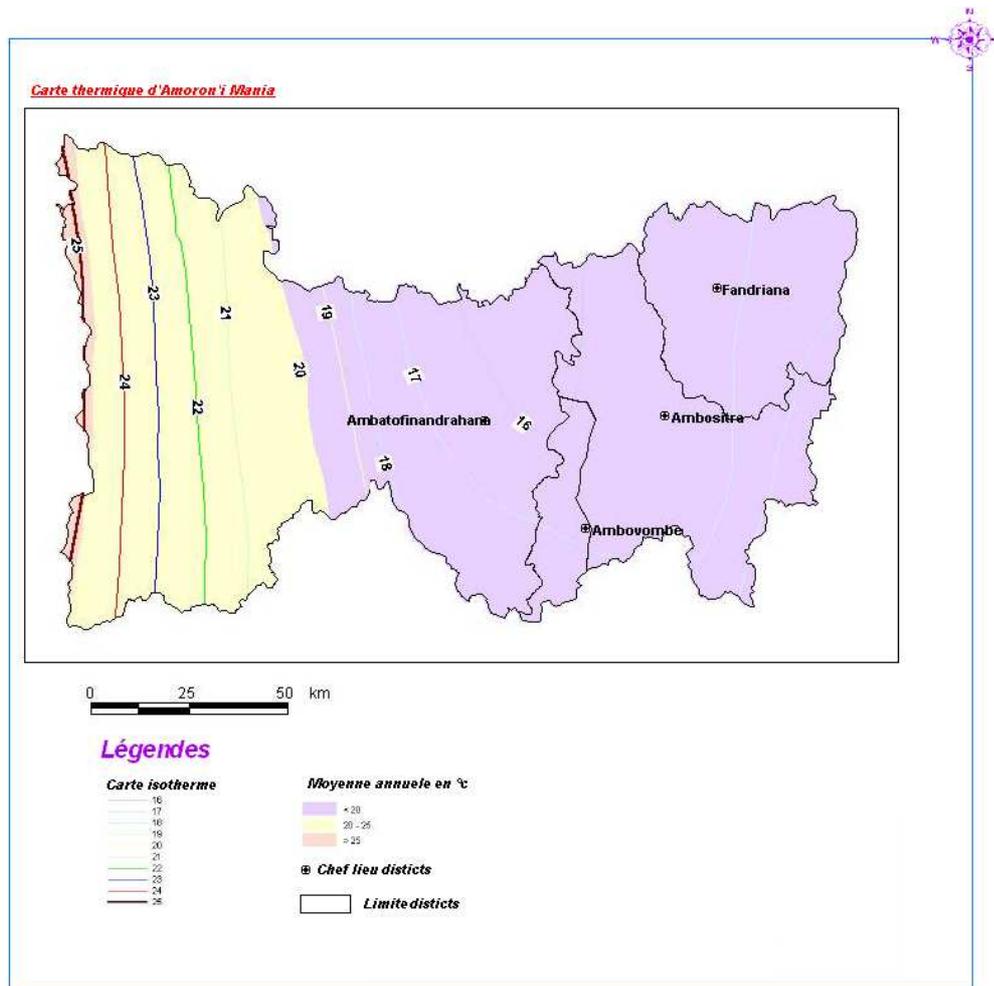
A mesure qu'on descend vers le Sud, on remarque une augmentation des températures.

On remarque les mêmes phénomènes aussi bien du centre des hauts plateaux vers l'Ouest que vers l'Est, respectivement de 16° à 25° et de 16° à 19°. Le gradient de température est moins élevé dans le sens Nord-Sud que dans le sens Centre-Est ou Centre-Ouest.

Station	Altitude	Période	Température moyenne		
			Annuelle	Mois le plus chaud	Mois le plus froid
Ankorombe	1.295	1931-60	17.9	20.7	13.9
Ankorombe	1.295	1991-04	16.8	25	12

**Tableau 2: Températures moyennes**

Source : Service Inter-Régional Sud de la Météorologie et de l'Hydrologie Fianarantsoa



**Figure 18: Carte thermique**  
Source : BD 500 FTM

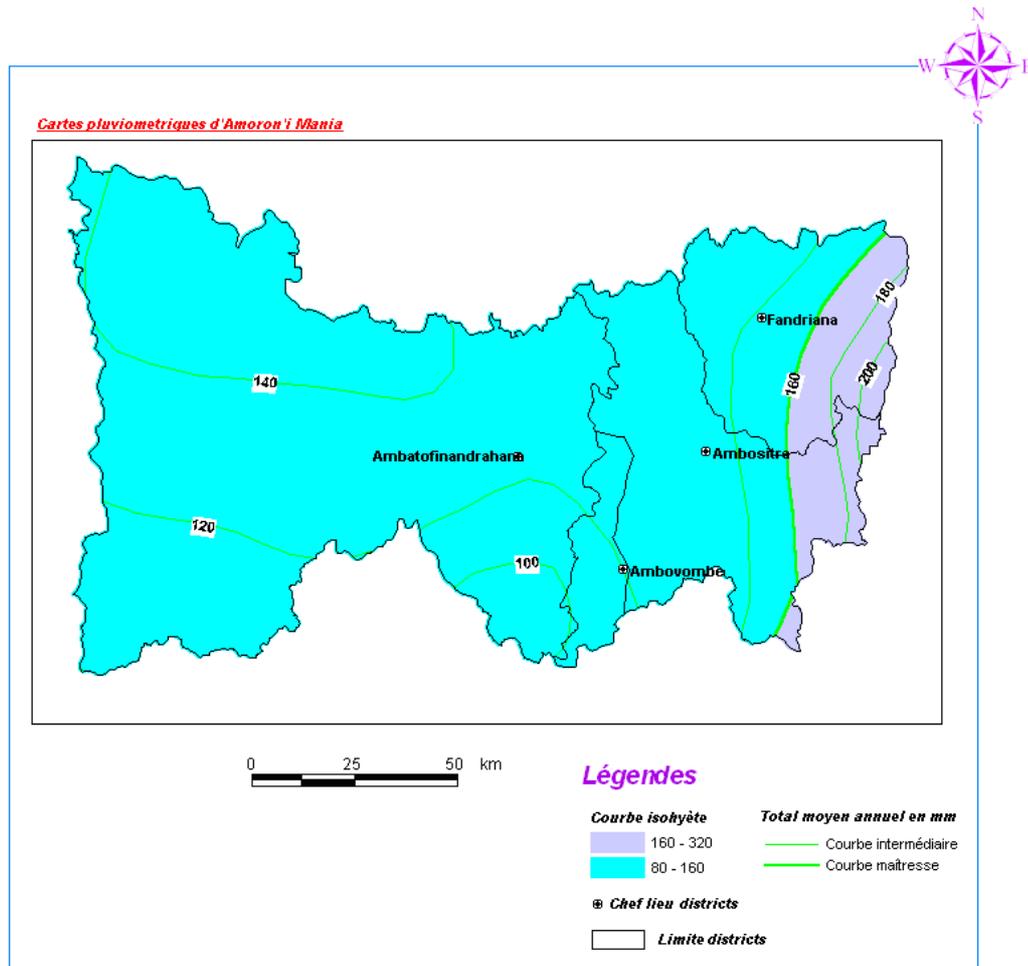
### c. La pluviométrie

Les isohyètes annuelles sont au niveau 1200 mm, et la tendance est leur légère augmentation jusqu'à 1.400 mm quand on monte vers le Nord et allant jusqu'à 2.000 mm à la frontière Est de la région. Vers le Sud et le Sud-ouest de la région, on remarque une nette stabilisation des courbes isohyètes, avec leur étalement dans l'espace.

### d. Régions climatiques

Les relevés climatiques de la région d'Amoron'i Mania sont variables selon les années. Mais les moyennes annuelles de 1931 à 1960 et de 1991 à 2004 sont respectivement de 1556mm et 1251,6mm.

La saison pluvieuse débute vers le mois d'octobre pour se terminer vers le mois d'avril, et la période sèche de mai à fin septembre.



**Figure 19: Carte pluviométrique**

Source : BD 500 FTM

#### 4.3.4. Hydrologie

L'hydrologie de la région est caractérisée par le bassin versant de la TSIRIBIHINA. La carte de la **figure 20** illustre cet aspect hydrologique.

Le réseau hydrologique de ce bassin versant prend sa source dans la région et se déverse dans le Canal de Mozambique, une fois récupéré par le fleuve TSIRIBIHINA.

Les principaux cours d'eau sont :

- Mania et ses affluents (Izanaka, Ikely, Imorona et Ivato) à l'extrême Nord de la région
- Mitody, Manambaroa et Fanindrona sont des affluents de Matsiatra mais les deux premiers coulent dans la sous-préfecture d'Ambatofinandrahana et le troisième à Ambositra.
- Fisakana traversant Fandriana et Manandriana

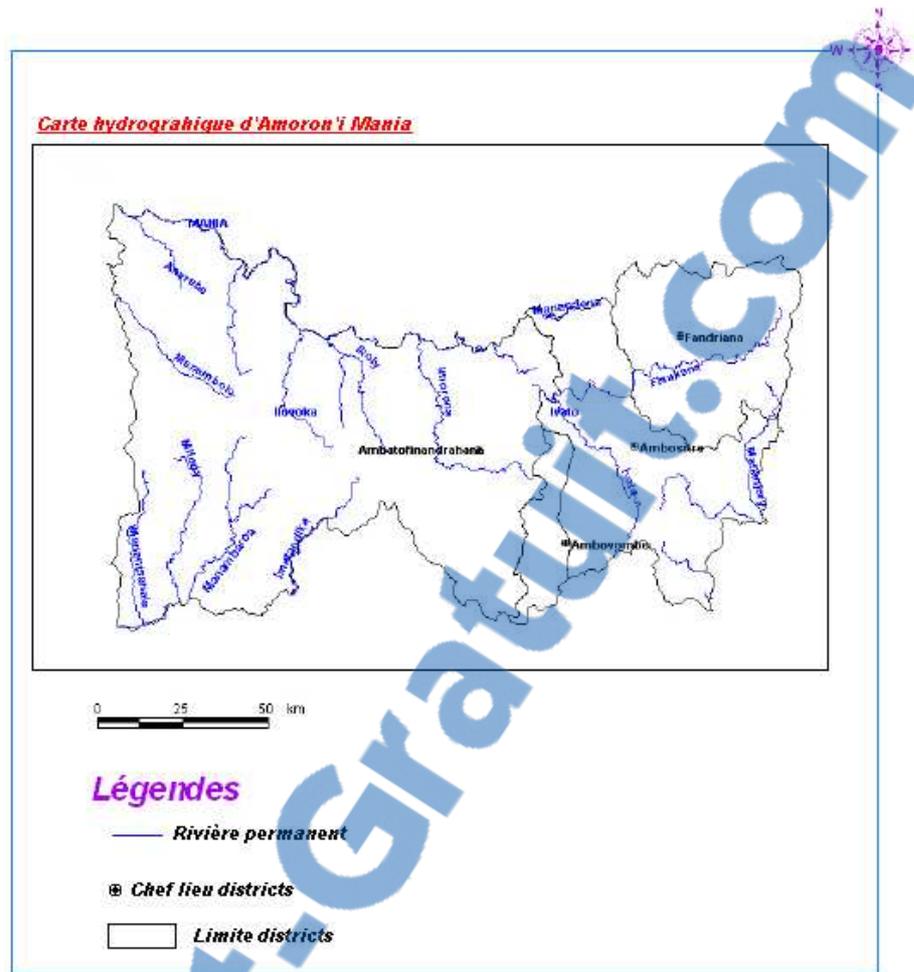


Figure 20: Carte hydrographique

Source : BD 500 FTM

#### 4.3.5. Sols et végétations

La région est caractérisée par des sols ferrallitiques jaunes/rouges, de superficies assez importantes, mais discontinues selon la carte de la *figure 21*.

Cet ensemble est réuni, dans l'ensemble de cette région, par des sols peu évolués et rankers, ainsi que des sols peu évolués dunaires sablonneux.

La région est caractérisée par la prédominance des grandes superficies de savanes à savoir :

- savanes herbeuses à *Hyparrhenia rufa* et *Heteropogon* ;
- savanes herbeuses de l'ouest à *Hyparrhenia rufa*, *Hyparrhenia dissoluta* et *Heteropogon* (*carte de la figure 22*).

Ces deux types de savanes sont très importants dans cette région et couvrent sa partie centrale sous forme allongée du nord au sud. On peut aussi noter la présence des îlots de forêts sclérophylles à *Napaca* et *Chlaenacées* dans la partie centrale.

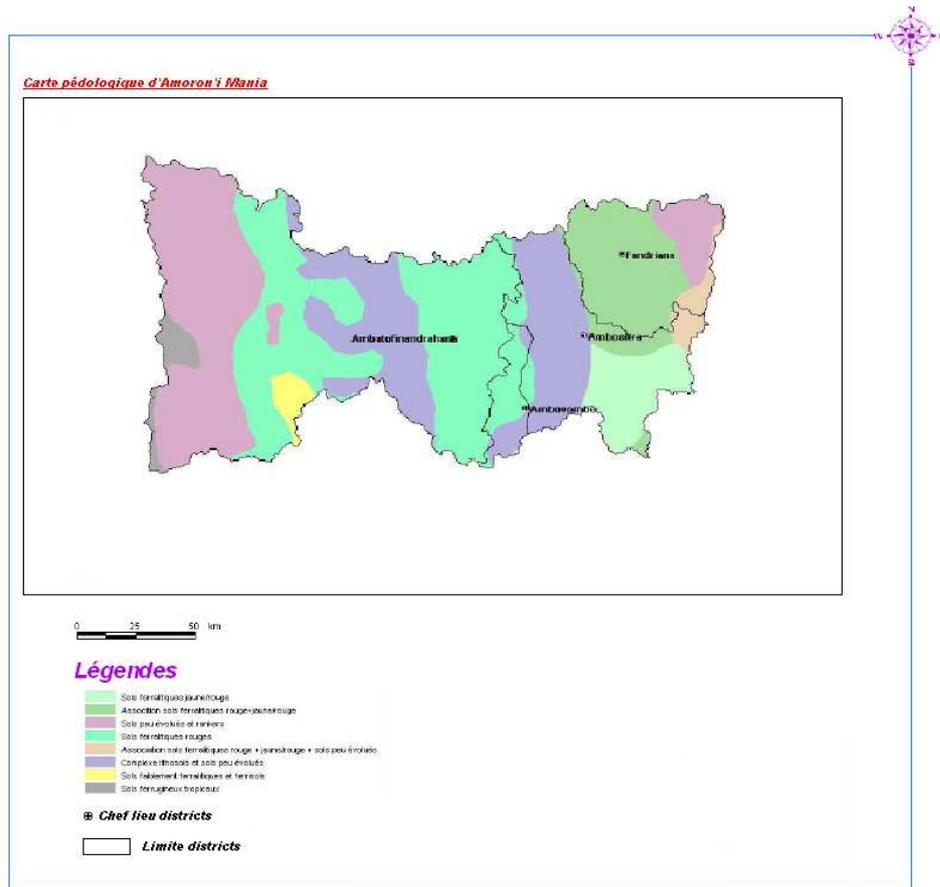


Figure 21: Carte pédologique  
Source : BD 500 FTM

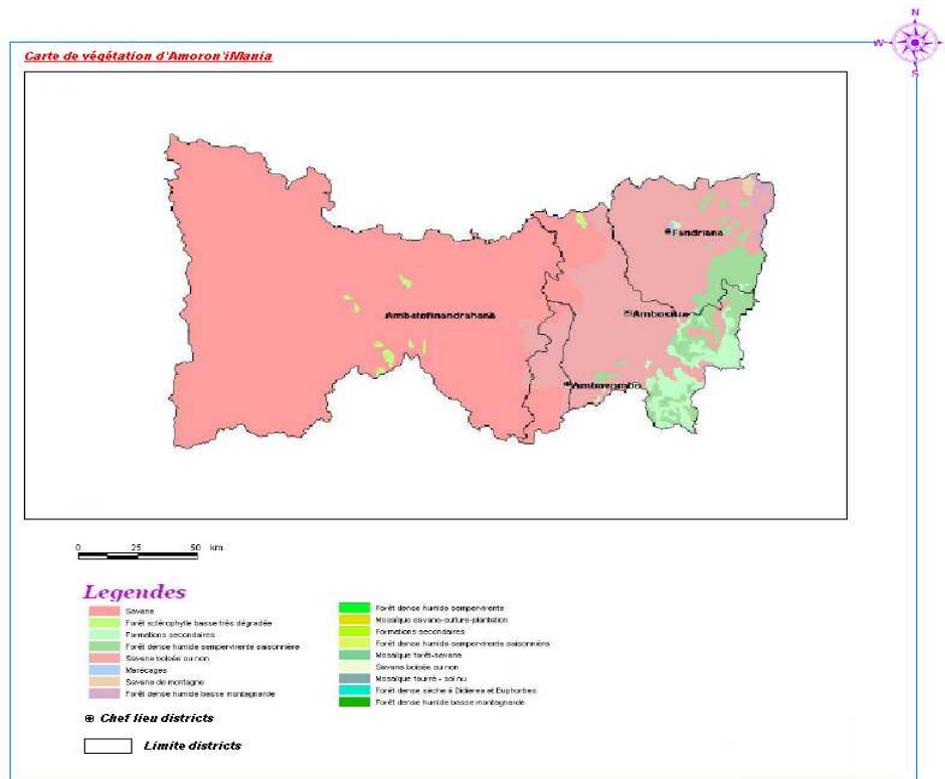


Figure 22: Carte de végétation  
Source : BD 500 FTM



## 4.4. MILIEU HUMAIN ET SOCIAL

### 4.4.1. Population et démographie

La densité moyenne de la population pour l'ensemble de la région est de 38 habitats/km<sup>2</sup>. Le district le moins densément peuplé est celui d'Ambatofinandrahana (14 habitats/km<sup>2</sup>). Le district d'Ambositra qui couvre 18% de la superficie totale de la région est le plus densément peuplé : 78 habitats/km<sup>2</sup>.

Districts	Population résidente	Pourcentage	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité (habitats/km <sup>2</sup> )
Ambatofinandrahana	143990	21,5	10132	14
Ambositra	248030	37	3161	78
Fandriana	183064	27,3	2947	62
Manandriana	95282	14,2	1276	72
TOTAL	670366	1000	17518	38

**Tableau 3: Répartition spatiale de la population**

Source : Direction de l'Agriculture – Circonscription de l'Agriculture- Ambositra

### 4.4.2. Mouvements migratoires

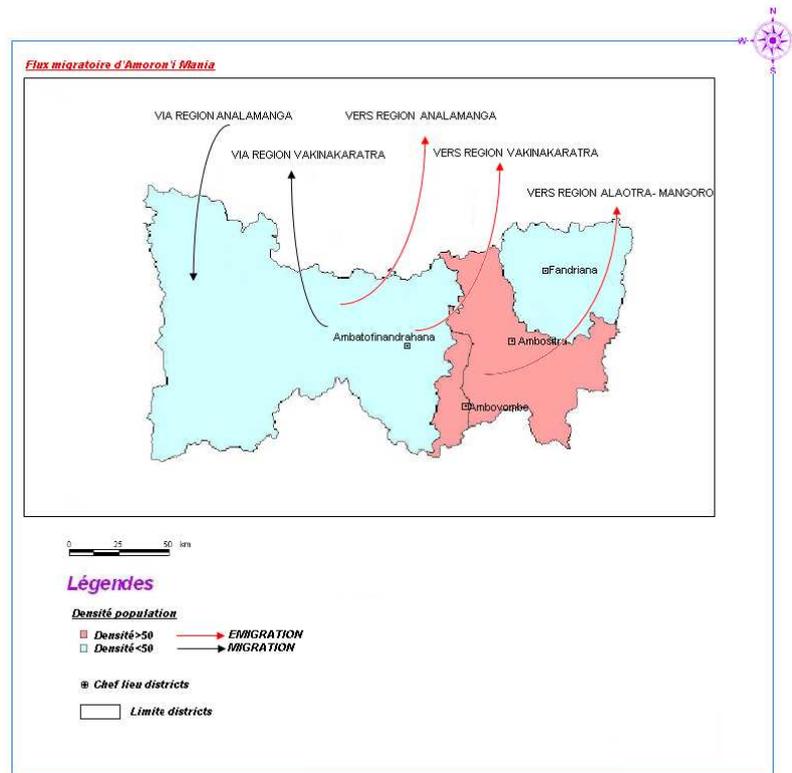
#### *a. A l'intérieur de la région*

Cette Région est un des plus anciens foyers d'émigration : le morcellement des terres, l'exiguïté des parcelles, l'insuffisance des rizières et l'accroissement démographique se font ressentir au niveau de chaque famille, de chaque exploitation. (**Figure 23**)

#### *b. Avec l'extérieur de la région*

Dans chaque district, on remarque l'existence d'un certain nombre de gens qui ont quitté leur région pour se diriger soit vers d'autres régions limitrophes, soit vers d'autres Régions, celles du Moyen-Ouest de l'Imerina et d'Alaotra. Les causes de ces mouvements migratoires sont multiples :

- causes d'ordre naturel : infertilité de la zone, érosion
- causes économiques : recherche de sources monétaires et de revenus meilleurs,
- causes d'ordre social : insécurité.



**Figure 23: Carte du flux migratoire**

Source : BD 500 FTM

Les habitants sont attirés par les zones du Moyen-Ouest de la Région (Soavina, Ambatofinandrahana). Des départs saisonniers se font sentir mais on observe également des déplacements définitifs.

### 4.4.3. Services sociaux

#### a. Santé

La Région dispose, en début d'année 2005, de :

- 118 formations sanitaires (FS) dont 104 sont des établissements publics
- 76 médecins et 166 paramédicaux

	Etablissements sanitaires ou FS				Personnels médicaux	
	CHD2	CHD1	CSB2	CSB1	Médecins	Para médicaux
Ambatofinandrahana	1	-	10 dont 1	14 dont 1	11	45
Ambositra	1	-	31 dont 9	10	38	58
Fandriana	-	1	13 dont 1	24 dont 1	17	44
Manandriana	-	1	10 dont 1	1	10	19
<b>Région</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>64</b> dont <b>12</b>	<b>50</b> dont <b>2</b>	<b>76</b>	<b>166</b>

**Tableau 4: Répartition sanitaire de la région**

Source : Direction de l'Agriculture – Circonscription de l'Agriculture- Ambositra



### ***b. Religion***

Il semblerait que le christianisme est assez répandu dans la Région. Parmi les religions chrétiennes, les renseignements sur le Fiangonana Loterana Malagasy (FLM), le Fiangonan'i Jesoa Kristy eto Madagasikara (FJKM) et l'Eglise Catholique Apostolique Romaine à Madagascar (ECAR) ne sont pas disponibles au moment de l'enquête.

### ***c. Services de sécurité***

#### **☞ Police**

La sous-préfecture d'Ambositra dispose d'un commissaire de police avec 2 postes de police. Pour les deux sous-préfectures de Fandriana et d'Ambatofinandrahana, les constructions de bureaux se sont effectuées au cours de l'année 2004.

Un commissariat doit être doté de 30 éléments de police.

Ambositra : 40 policiers

De source auprès de la Direction Régionale, le personnel est suffisant, par contre les matériels roulants, de communication (B.L.U. et autres), téléphoniques doivent être renouvelés.

#### **☞ Gendarmerie**

Son rôle est de protéger les institutions, les personnes et leurs biens. Ambositra dispose d'une compagnie zone. La compagnie a pour rôle du premier échelon de contrôle. Elle est divisée en brigades ou unité élémentaire et est dirigée par des sous-officiers. La compagnie compte pour Ambositra 12 brigades. La brigade dispose d'un BLU.

## **4.5. ENVIRONNEMENT**

### **4.5.1. Etat de l'environnement**

La région d'Amoron'i Mania dispose de richesse floristique et faunistique de grande importance avec des taux d'endémisme élevés.

Les principaux écosystèmes comprennent des forêts naturelles, des savanes et des prairies. C'est le pays par excellence des Zafimaniry qui vivent dans les zones forestières et se distinguent par leur maîtrise de l'art sculptural du bois et celle de la forêt vierge d'Ankazomivady.

Toutefois, la forte croissance démographique, l'immigration et l'ignorance de la valeur des ressources naturelles amènent la population à une exploitation irrationnelle et illicite des ressources forestières.



## 4.5.2. Problèmes rencontrés

Actuellement, on constate que, un début d'épuisement des matières premières ligneuses et l'appauvrissement des forêts en essences les plus prisées amène à :

- La dégradation des massifs forestiers (les forêts de Zafimaniry, d'Antoetra et celle d'Ankazomivady) ;
- L'érosion et dégradation du sol ;
- L'ensablement des bas fonds ;
- La dégradation de la biodiversité au niveau du Corridor de Fandriana.
- Le manque de civisme : méconnaissance de la valeur des ressources en forêts d'où la pression de l'homme accélérant la destruction,
- L'absence de diversités culturelles forestières : Insuffisance de reboisement.
- L'absence de politique d'aménagement : Gestion irrationnelle des forêts
- La méconnaissance et la non considération de la valeur et des richesses écologiques et économiques de la Biodiversité.

Les populations des communes Betsileo se déplacent vers la zone Zafimaniry pour le prélèvement des ressources ligneuses et non ligneuses pour l'artisanat et les biens mobiliers : souches d'arbres pour la sculpture, bambous pour la confection de paniers, bois d'œuvre entraînant une surexploitation des ressources forestières.

Par ailleurs, la pratique intense des cultures sur brûlis détruit d'importantes superficies forestières. Ainsi, à cause des actes de banditisme provenant de la zone Betsileo, les Zafimaniry vivent loin de leurs champs de culture et s'abstiennent de développer la taille de leurs troupeaux. Ce qui réduit sensiblement leur capacité à produire du riz sur rizières inondées et les oblige à préférer le tavy.

## 4.6. RESSOURCES MINIERES

### 4.6.1. Principales ressources du sous-sol dans la région

Les principales ressources du sous-sol sont enfouies dans le bloc d'Antananarivo limitant la région. Les ressources minières définies dans la région sont résumées dans les quelques points suivants :

- du Quartz piézoélectrique et de dolomie à Fandriana
- du Nickel, estimé à 60 000 tonnes en 1977, dans le district d'Ambositra,



- du Cuivre, du Calcaire, du Quartz et de Zircon dans la sous-préfecture d'Ambatofinandrahana
- dans la partie Ouest d'Ambatofinandrahana, on a identifié un champ pégmatisé (à savoir le béryl, le columbite de Malakialina et le feldspath); la production de béryl est estimée à 2 500 tonnes.

La carte minière de la division géologique de 1977 met en évidence les potentiels miniers et leur localisation dans chaque sous-préfecture.

En plus de l'indication dans cette carte, quelques ressources du sous-sol de cette région sont mentionnées dans le document « Région et Développement » éditée en 1991. Il s'agit de Marbre Aragonite, de Kaolin, d'Ardoise, de Manganèse, d'Or, de Platines Torendrikita, de Silice, de Fer et Gypse.

Il s'agissait de potentiels miniers de la région, la détermination de leur niveau de réserves nécessite des recherches approfondies et des études.

#### **4.6.2. Exploitation et collecte des produits du sous-sol**

L'exploitation des ressources du sous-sol est faite sur permis d'exploitation délivré par les services et/ou direction des mines. Mais compte tenu des irrégularités constatées de la part des exploitants, la direction des mines a suspendu la délivrance des permis pour l'assainissement du secteur. Il s'agit d'une suspension temporaire.

Toutefois, il faut mentionner l'exploitation des marbres d'Ambatofinandrahana par la Société MAGRAMA.

A cause des problèmes externes et internes de cette Société, l'exploitation a été stoppée il y a quelques années. Mais elle a redémarré à partir de 1998.

De plus la collecte des pierres précieuses se faisait de façon individuelle, anarchique et non contrôlée.

C'était le cas dans les Sous-préfectures d'Ambatofinandrahana et de Fandriana par exemple.

Dans la région d'Amoron'i Mania, l'exploitation de Béryl a été entreprise par la Société COROI et de la Chaux par des privées. Mais malgré les moyens mis en œuvre, cette exploitation ne pouvait s'inscrire dans un cadre industriel.



## 4.7. CONTRAINTES ET IMPORTANCES DE LA ZONE

### 4.7.1. Contraintes

Située à une altitude dépassant les 1.100 mètres, la région d'Amoron'i Mania se caractérise par un relief accidenté, peu favorable à une extension des potentialités agricoles qui constituent l'activité de plus de 95 % de la population. Les disparités entre les sous-préfectures sont nettement accentuées par les difficultés liées à la vétusté du système de communication qui empêche un accès égal au développement pour toute la région.

Avec une population de 670.366 habitants dont 37 % concentrée dans le district d'Ambositra, la population rurale représente plus de 84 % dont plus de 98 % à vocation agricole. Avec une pluviométrie moyenne de près de 1.000 mm / an, l'agriculture occupe 74 % de la superficie physique de la région avec prédominance des cultures vivrières ( plus de 97 % de la superficie cultivée ) et d'importantes potentialités en matière de culture de rente, les cultures industrielles avec le tabac dont le développement reste assez timide. Les disparités entre les différentes sous-préfectures restent encore nettes lorsqu'il s'agit d'indicateurs socio-démographiques : un faible taux de scolarisation ; une forte mortalité infanto-juvénile ; un taux d'analphabétisation encore élevé ; des infrastructures sanitaires et éducatives encore insuffisantes.

Les contraintes concernent surtout :

- l'insécurité dans les zones excentriques du Moyen Est : sous-préfecture de Manandriana dans le vol de Zébus ;
- l'exiguïté des terrains sur les Hautes Terres et la difficulté d'extension des surfaces cultivées ;
- l'absence d'unité industrielle ;
- l'exploitation anarchique et artisanale des ressources minières ;
- l'insuffisance d'ouvrages hydro-agricoles dans les grandes étendues de la partie occidentale de la région ;
- l'insalubrité de l'eau dans la vallée de la Mania ;
- la forte pression démographique.

### 4.7.2. Importances

La région dispose d'une abondante main d'œuvre agricole qu'il faut utiliser rationnellement pour un développement des différentes cultures notamment les cultures de rente telles que le café et les cultures maraîchères. Les caractéristiques présentées par la région constituent des atouts importants à renforcer par une meilleure adéquation des actions en matière



de développement économique et social, par une participation plus active des exploitations agricoles dans la vie associative comme appui à ces actions.

La région d'Amoron'i Mania offre de grands atouts à savoir :

- de réelles potentialités du sous-sol dans la zone ouest ;
- une région de transition entre des régions à paysages riches et variés ;
- une ingéniosité et une réceptivité des paysans (dans l'application de nouvelles techniques culturelles) ;
- une succession des projets de soutien et d'encadrement des paysans ;
- une réflexion sur des périmètres rizicoles par plusieurs projets ;
- une possibilité de développement économique avec les régions limitrophes ;
- une reprise de l'extraction du marbre d'Ambatofinandrahana.

La région constitue un exemple significatif de région à fortes potentialités, dont la mobilisation permet d'asseoir un développement intégré et durable.

#### **4.8. CONCLUSION**

La région d'Amoron'i Mania s'étend sur une superficie de 17516 km<sup>2</sup> et comprend 4 districts : Ambatofinandrahana, Ambositra, Fandriana et Manandriana.

Elle est constituée par des formations végétales diverses, à savoir :

- des forêts primaires denses ombrophiles d'altitude ;
- des forêts sclérophylles sur le versant occidental ; des forêts de tapia ; des végétations de "savoka" ; des pseudos steppes ;
- des forêts de reboisement.

Les spéculations agricoles sont dominées par la polyculture pluviale traditionnelle : riz, manioc, haricot, patate douce, arachide et les cultures maraîchères, tomate et choux, pratiquées surtout dans les districts d'Ambatofinandrahana et d'Ambositra.

L'agriculture rencontre plusieurs problèmes qui constituent de facteurs de blocage pour son développement. Il s'agit des phénomènes d'érosion, de la faiblesse de l'approvisionnement en petits matériels agricoles et en intrants et des problèmes de voies de communication.

Les ministères et beaucoup de sociétés commerciales y sont représentés par des services décentralisés. Les ONG, les collecteurs, grossistes et transporteurs qui y résident, étendent leurs rayons d'actions sur l'ensemble de la région.

Cependant, la fermeture de nombreuses industries, notamment minières dans le district d'Ambatofinandrahana, a sérieusement aggravé le problème de chômage et a gonflé l'exode rural.



## **Chap5. PRESENTATION DU PROBLEME D'EROSION DANS LA ZONE D'ETUDE [12] ; [13]**

### **5.1. PROBLEMATIQUES**

Depuis des années, la zone d'Amoron'i Mania subit une dégradation accélérée de son espace et de ses ressources naturelles. Mais bien que son agriculture traverse une crise particulièrement difficile, elle représente toujours l'un des moteurs de l'économie générale de la zone. Chaque district présente ce genre de problème et ses conséquences néfastes se font sentir directement sur la vie quotidienne des paysans.

La malnutrition, l'exode rural, et la baisse de produit agricole et d'exportation dans les campagnes sont basés sur la baisse de la fertilité du sol et de l'accélération des pertes de sol. De même, les facteurs du milieu physique sont naturellement fragiles : montagnes très jeunes, roches molles comme l'argile, marne et schistes alternant avec les roches dures comme les calcaires et les grès et régimes des pluies souvent violentes qui favorisent le ruissellement. Le climat offre des pluies fines peu énergétiques mais saturantes pendant l'hiver frais et des averses orageuses dangereuses durant les mois de l'été.

Le contexte particulier d'Amoron'i Mania a favorisé la mise en œuvre de nombreuses actions et projets s'appuyant sur une stratégie moderne d'équipement rural.

Malheureusement, cette conception de l'aménagement de l'espace se résumait le plus souvent à des actions de mise en défense (DRS) ou de conservation de l'eau et des sols (CES), faisant de la lutte antiérosive une discipline isolée. Elles n'ont donné que des résultats mitigés et discutables et se sont soldées par des échecs. De même, les recherches se préoccupent plus de la sélection des espèces et de la profondeur ou de l'inclinaison des terrasses que des modes d'intégrations de l'arbre ou de la structure mécanique aux systèmes d'agriculture traditionnelles.

Enfin, le type d'organisation des projets devrait être remanié : population utilisée comme réservoir de main d'œuvre sans réelle participation de celle-ci, manque de suivi et de méthode participative.

Il existe donc une incohérence totale entre les objectifs d'un projet privilégiant la logique d'équipement et les objectifs des populations concernées. La situation se présente comme telle qu'il n'est plus temps de défendre DRS, ni même de conserver CES. En effet la population augmente rapidement, il faut nécessairement améliorer la production sans dégrader l'environnement.



## 5.2. L'EROSION DES SOLS : ORIGINES ET DIAGNOSTICS

### 5.2.1. Origines

Plusieurs facteurs sont à l'origine du phénomène d'érosion dans la zone mais les plus importants sont liés à la dégradation provoquée par la population elle-même et à la destruction forestière.

#### *a. La pratique courante de Tavy, la pression la plus pesante pour les écosystèmes*

Cette pratique par la population locale ne se fait uniquement pas dans les forêts denses humides mais également dans les forêts secondaires provoquant le phénomène d'érosion qui peut à son tour entraîner l'inondation des rivières et l'ensablement des parties basses comme les rizières. C'est le cas de la forêt d'Analamanana du district d'Ambositra, la forêt d'Ambinanidrano, la partie orientale du corridor forestier. En outre, la fabrication de rhum local ou toaka gasy nécessitant la plantation en masse de cannes à sucre aggrave cette déforestation. 75% des producteurs de cannes à sucre se trouvent à Ambositra et à Fandriana.

#### *b. Des phénomènes d'ensablement des rivières*

Ils apparaissent au niveau de certaines localités de la région, également des élargissements des lits de rivières, cas de Tsindra à Soavina, ainsi que la dégradation des bassins versants qui sont les conséquences directes de la déforestation : pratiques de tavy, cultures sur brûlis,...

La dégradation incessante des têtes de vallon et des bassins versants engendrent la pollution et l'ensablement des eaux superficielles et des rizières des bas fonds.

#### *c. L'extraction de sables fins et forts*

Elle provoque l'érosion des berges. Le Moyen Ouest de la région et le district de Fandriana enregistrent de très importants phénomènes d'ensablement des rizières, le reste de la région est peu soumis à l'ensablement.

#### *d. Exploitations des sols érodibles*

La mise en valeur des terres normalement non cultivables telles que les pentes fortes, les terroirs rocheux sont à l'origine de l'érosion des collines et de l'ensablement des bas fonds.

Un exemple particulier : cas du bassin de Tsindra dans la commune de Soavina où les terrains sont à forte pente de l'ordre de 12%, une superficie de 220,042 ha est actuellement ravagée par le phénomène d'érosion.



### 5.2.2. Diagnostics

Sur les milieux naturels, beaucoup de diversités résultent de l'interaction de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la nature des matériaux, les bioclimats et la topographie.

Du point de vue systèmes de production, plusieurs facteurs expliquent ces diversités : une pression sur le foncier inégale selon les zones, main-d'œuvre disponible, disponibilité en capital. Ces facteurs déterminent les différents types de classes de système d'exploitation qui se caractérisent par des niveaux socio-économiques hétérogènes : faible, moyen, élevé. Et cette hétérogénéité permet d'expliquer les différents modes de gestion des ressources naturelles et le niveau de dégradation du sol.

Enfin, sur les diversités des processus de dégradation, les facteurs précédemment cités expliquent également les différents processus de dégradation de la couverture pédologique qui s'effectue en trois temps :

- ➔ minéralisation continue, rapide et accélérée des matières organiques non compensée après le défrichement et accélérée,
- ➔ glissement progressif des couches superficielles par des travaux répétés du sol sous les cultures vivrières occupant temporairement le sol,
- ➔ développement du ruissellement et du ravinement suite à l'entassement du sol et la diminution de la capacité de stockage de l'eau dans les sols décapés.

*Les différents types d'érosion* rencontrés dans la région se présentent comme suit :

- ☞ érosion en nappe généralisée,
- ☞ érosion en nappe généralisée et ravinement localisé,
- ☞ ravinement généralisé,
- ☞ ravinement et lavakisation généralisés.



*Les faiblesses et vulnérabilités de la zone* sont les suivantes :

- ➔ Les sols sont peu fertiles nécessitant des apports organiques sur la partie Est de la région.
- ➔ Les terrains sont généralement de forte pente dans les parties orientales et centrale : supérieure à 12%, facilitant aussi le phénomène d'érosion.
- ➔ Inexistence de mesures préventives et curatives pour les dégâts causés par les extractions de sables, de moellons, des argiles pour la fabrication de briques et tuiles, et par l'extraction des produits miniers.



- ⇒ Inexistence de plan d'occupation du sol.

Mais les grandes tendances évolutives se font enregistrer.

- ⇒ Un début de prise de conscience de la population sur l'impact de l'érosion et sur la dégradation des bassins versants suite à des interventions de la Région pour la protection et la restauration des sols.
- ⇒ La prise de conscience des responsables communaux et régionaux sur les impacts des extractions des produits du sol et du sous-sol va contribuer à l'amélioration de la gestion de la protection du sol et de l'espace dans le futur.
- ⇒ L'augmentation des besoins en matériaux de construction est prévisible pour les années à venir suite à la présence des projets routiers et autres infrastructures en vue.
- ⇒ Migration vers l'ouest.
- ⇒ Evolution de l'occupation du sol.

### **5.3. LES RISQUES : PROCESSUS ET DEGATS, IMPACT EN MILIEU AGRICOLE**

L'association {forte pression de l'homme sur le sol et montagne} est à l'origine de l'érosion chronique qui affecte les paysages de la zone. Tout au long de la dépression de la zone, il est à constater que, dans quelques années seulement et à mesure que progressent les défrichements de la montagne, il y aura de multiplication des formes d'érosion ainsi que des extensions de terres abandonnées.

L'étude cartographique, réalisée conjointement par la Région et la représentant du Ministère de l'Environnement, permet d'évaluer que globalement 50% de la superficie de la zone est affectée par des processus de dégradation. Dans la région la plus dégradée, on doit distinguer les deux zones suivantes :

- ⇒ le bassin de Bemaha, Soavina - Ambondromisotra où il ne reste que très peu de sols arables. Dans la partie Nord et centre du bassin, on observe une formation remarquable, par son extension et son épaisseur qui est une terre rouge, stérile pour l'agriculture. Cette formation affleure lorsque les sols et les terres ont été décapés par l'érosion.





*Figure 24: Dégradation au Sud-Est d'Ambondromisotra*

⇒ les hautes terres et les flancs extérieurs au Nord d'Ambositra, Soavina – Ilaka Centre où se développe une érosion active à mesure que se déplace le front de colonisation agricole, très active depuis une vingtaine d'années. Dans ces régions, la couverture pédologique est encore continue mais présente localement des signes alarmants de dégradation.



*Figure 25: Du haut de la colline de Lavasomy*



Ensuite, l'exploitation des bois de chauffe s'est élargie aux différents bois précieux, essence de valeurs très recherchées par les artisans de la ville d'Ambositra et même ceux d'Antananarivo. Les bois précieux de la commune d'Antoetra, d'Ambohitombo I et II, et d'Ambinanidrano deviennent de plus en plus rares. Les exploitants conquièrent actuellement la forêt de Vohidahy et d'Ankazomivady.

De plus, des précipitations abondantes se rencontrent généralement au courant des mois d'octobre, décembre et durant le premier trimestre de l'année au niveau de la région. Ce sont les périodes de grandes crues qui engendrent le phénomène d'érosion des sols. Les phénomènes d'érosion massive des sols sont très fréquents pendant ces périodes au niveau des zones à terrain de forte pente.

#### **5.4. LES ACTIONS D'AMELIORATIONS ENGAGEES**

Renforcement des appuis en matière de lutte contre les phénomènes d'érosion, on constate la participation légale du projet PLAE ou le Programme de Lutte Anti Erosive réseau Ambositra et celle de la Région.

Le PLAE vient de s'installer au niveau de la région et il se charge d'aider et d'appuyer les populations dans la lutte contre les érosions. Actuellement, le projet PLAE II et PLAE III interviennent dans deux communes du District d'Ambatofinandrahana (Soavina, Ambondromisotra). La zone d'intervention du projet s'étend sur une surface de 25521 Ha couvrant ainsi 25 sous-bassins versants. Les actions à entreprendre concernant la lutte antiérosive comprennent : la préservation et l'amélioration de la productivité des sols de cultures sur les tanety en maîtrisant l'érosion, la protection des bas fonds rizicoles contre l'inondation et l'ensablement fréquent, la protection des ouvrages hydro-agricoles et la protection des berges.

La Région, sous la houlette de son Chef, tient un grand rôle sur la protection et la conservation des sols dans la zone d'étude. Connaissant les origines de l'érosion, la Région descendait sur terrain pour donner des informations concernant les effets néfastes du Tavy, du brulis forestiers et de la destruction environnementale sur l'économie régionale et nationale et surtout de la vie quotidienne des paysans. Ses actions sont basées sur l'amélioration du territoire et de la mise en valeur de l'importance de l'environnement. Les propositions ont noté les points essentiels suivants : la protection des zones à bonnes potentialités agricoles ; l'amélioration des disponibilités en eau et le désenclavement des zones à accès difficiles mais riches en production.



## 5.5. CONCLUSION

Les diagnostics des problèmes de lavaka définissent les différents types d'érosions rencontrés dans la région d'Amoron'i Mania. Ces diagnostics apparaissent empiriquement durant la descente mais il est à retenir que tout cela se fonde sur la connaissance du microclimat et les actions de l'homme. Les dégâts les plus dégradés sont visés dans deux zones différentes dont l'une au Nord, zone d'Ilaka Centre, et l'autre aux environs de Soavina Ambatofinandrahana.

Tout cela apporte des actions d'amélioration des projets touchant le problème comme celle du PLAE et de la Région.

C'est ainsi que l'étude doit affronter les principales causes du lavaka en utilisant les paramètres hydrogéologiques.



## **Chap6. PRINCIPALES CAUSES DU LAVAKA ET ETUDES HYDROGEOLOGIQUES [4], [5], [6], [7], [9], [13], [16]**

### **6.1. ANALYSE DE LA CAUSE DU LAVAKA**

Différentes hypothèses sont possibles sur les causes du lavaka, mais il est à noter quelques points essentiels concernant les lavaka dans la région d'Amoron'i Mania

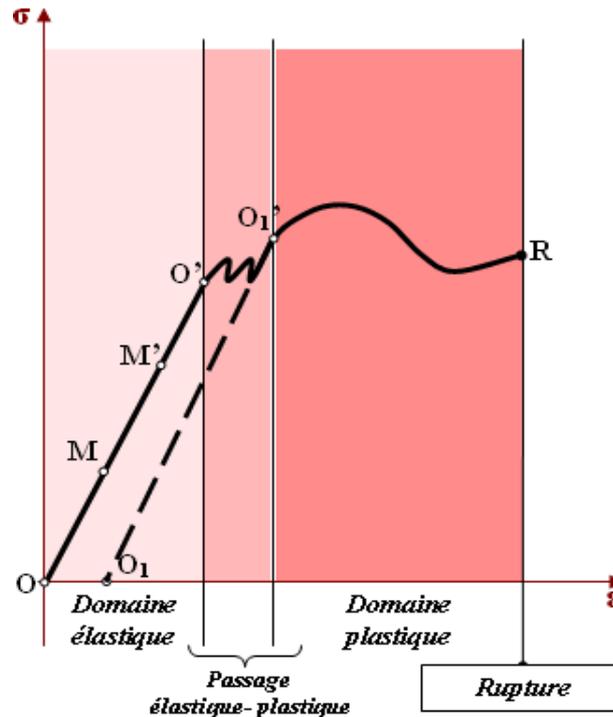
#### **6.1.1. Les eaux souterraines et de surfaces**

L'eau peut se déplacer dans des terrains sous forme de gouttes isolées et de filets en remplissant les pores et les vides dans le sol. Elle peut pénétrer facilement dans la couche sous-jacente si la couche supérieure en présente une en phase de dégradation. La pression de l'eau appliquée directement sur la couche provoque un transport d'une quantité importante de sol. L'apparence du lavaka due à l'eau souterraine vient donc d'un bassin versant géologique. Elle peut apparaître aussi au cas où il y a arrêt d'écoulement au tassement en entraînant finalement un affaiblissement de la dureté du sol et le glissement se produit.

En ce qui concerne l'action de l'eau de surface, elle dépendra de l'intensité de pluie. Quand la quantité de l'eau de pluie arrive à un certain seuil de la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme des flaques liées à des filets d'eau jusqu'à ce que ces derniers atteignent la vitesse de 25cm/s selon Hjulström (1935). Ensuite, ces filets d'eau gagnent une énergie qui peut créer une érosion limitée dans l'espace et s'accumulent sur des lignes de plus forte pente. Ces formes se multiplient de plus en plus et provoquent plusieurs petits canaux en donnant finalement des berges en V ou en U.

#### **6.1.2. Le glissement de terrain**

Le glissement se produit quand il y a déséquilibre de l'état élastique et plastique du sol. Il est à retenir la valeur du poids du sol imbibé par l'eau. Ce qui explique que pendant le passage de l'état du sol de l'élasticité à la plasticité, il y a risque de rupture de sa liaison.



**Figure 26: Courbe de déséquilibre entre d'élastique et plastique**  
 Source : Cours Résistances des Matériaux STEM 2, Cours Elasticité Mines 4, ESPA

**a. Interprétations de la courbe**

☞ **Domaine élastique**

Lorsqu'une force de pression s'applique sur un matériau, plus précisément au sol, ce dernier s'allonge, ce qui correspond à **OM** et **OM'** sur une même droite sur le repère **[Oσε]**. **OMM'** s'appelle droite de charge et A sa limite maximale.

De **O** vers **M'**, l'éprouvette se décharge, **MO** : droite de décharge.

L'opération de charge et de décharge signifie qu'on travaille dans le domaine élastique du sol.

La vitesse de traction du matériau n'a pas d'influence sur la droite **OO'**. D'où le temps n'intervient pas dans le domaine élastique.

Le point limite **O'** de la droite **OO'** s'appelle *limite élastique* ou *limite d'élasticité*.

Dans cette partie linéaire, la relation fondamentale qui s'applique est celle de la loi de Hooke

$\sigma = E\varepsilon$  où  $\sigma$  est homogène à une pression et  $E$  module d'élasticité

☞ **Passage élastique-plastique et domaine de plasticité**

Cette partie caractérise le domaine plastique du matériau c'est-à-dire qu'on est dans le domaine des déformations permanentes ou irréversibles.

La limite élastique augmente de valeur : de **O** en **O1**. Une nouvelle décharge s'effectue suivant **O1O'1** On dit que le matériau est écroui.



En supposant que  $\epsilon_{n1}$  et  $\epsilon_{n2}$  sont les déformations plastiques résiduelles irréversibles et cumulables,  $\epsilon_{n1}$  et  $\epsilon_{n2}$  ont un effet cumulé jusqu'à ce que le matériau arrive à la rupture **R**.

En **O'1**, on procède à la décharge du sol qui s'effectue suivant la **O1O'1** assimilable à une droite parallèle à **OO'**.

Le glissement se produit sur une surface unique appelée surface de glissement d'une certaine profondeur,

Le temps et la vitesse de déformation interviennent dans le domaine plastique :  $\frac{d\epsilon}{dt} \neq 0$

La loi qui s'applique dans ce domaine est la loi de comportement des matériaux élastiques homogènes et isotropes :  $\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} + 2\epsilon_{ij}$ . Où  $\lambda$  est appelé coefficient élastique

### 6.1.3. Causes à retenir

Le problème de lavaka est lié certainement à la couverture végétale, à la topographie du terrain et à la structure pédologique du sol. L'eau est le moteur principal qui l'entraîne.

La nature et les valeurs de coefficient de perméabilité du sol **K** permettent de donner une idée d'éliminer la présence de nappe phréatique.

Pour qu'il y ait suspicion de présence de nappe phréatique, il faut que la texture du sol soit sableuse. De plus, le coefficient de perméabilité doit être supérieur à  $10^{-4}$  m/s.

K (m/s)	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-11}$
granulométrie	Gravier pur		Sable pur		Sable très fin		Silt		Argile			
Degré de perméabilité	Très bonne et bonne				Mauvaise				Nulle			
Type de formations	Perméable				Semi perméable				Imperméable			

**Tableau 5: Différentes valeurs du coefficient de perméabilité correspondant aux types de formation (K : Coefficient de perméabilité [m/s])**

*Source : Cours d'hydrogéologie Mines 3, ESPA, Année Scolaire 2003/2004*

Dans le cas où on a suspecté l'eau souterraine notamment en cas de signe de présence de la nappe phréatique, il faut faire des prélèvements des couches à l'intérieur, voire-même des sondages. On tient à remarquer que la réalisation des sondages est très onéreuse.

Ce qui permet de dire que ces lavaka sont dus à l'eau de surface. C'est le résultat du ravinement très poussé.

Néanmoins, il est à retenir à la suite que le talus admet respectivement une valeur de pente stable ainsi qu'une profondeur au-dessus de laquelle il y a risque d'éboulement. Cette pente stable et cette profondeur tiennent compte de la cohésion du sol.



## 6.2. ETUDES HYDROGEOLOGIQUES

Dans l'étude hydrogéologique, les paramètres à retenir sont le climat, la géologie et la nature du sol, la pluviométrie, la nature pédologique du terrain, l'humidité relative, la vitesse du vent et la température.

### 6.2.1. Etudes hydrauliques

L'étude hydraulique nécessite la connaissance de plusieurs variables qui sont exactement la base de la formation et de l'extension du lavaka. Dans notre étude, ces paramètres sont la pluviométrie moyenne annuelle et mensuelle de plusieurs fréquences et la pluviométrie maximale journalière. Les bases du calcul sont détaillées dans les sous-paragraphes suivants.

#### *a. Présentation des données pluviométriques*

La pluviométrie journalière  $P_j$  est la hauteur d'eau en une journée. Elle est exprimée en mm, avec une valeur donnée jusqu'au 1/10-ème de mm.

La pluviométrie mensuelle  $P_m$  du mois  $m$  est la somme des pluviométries journalières du mois considéré.

La pluviométrie annuelle  $P_a$  de l'année  $a$  est la somme des pluviométries mensuelles de l'année considérée.

$$P_m = \sum_{\text{mois}} P_j \quad \text{et} \quad P_a = \sum_{\text{année}} P_m = \sum_{\text{année}} P_j$$

Avec  $P_m$  : Pluie mensuelle du mois  $m$

$P_j$  : Pluie journalière du jour  $j$

$P_a$  : Pluie annuelle de l'année  $a$

#### *b. Série de données pluviométriques*

L'ensemble des pluviométries journalières, mensuelles, annuelles relevées pendant de longues années à une station pluviométrie, forme une vaste série de données statistiques à partir de laquelle de nouvelles grandeurs caractéristiques peuvent être définies. Généralement, les principales grandeurs utilisées sont, d'une part, les pluviométries moyennes mensuelles et annuelles et, d'autre part, les pluviométries maximales journalières.

La série d'observation doit être supérieure de 15 années. Dans notre cas, les données conçues ont une série de 15 années depuis 1990 jusqu'à 2004.



**c. Pluviométries moyennes annuelles et mensuelles**

Les pluies moyennes mensuelles et annuelles ont été obtenues par l'étude statistique des données pluviométriques recueillies auprès de la station d'Ankorombe. Cette statistique est établie en calculant la moyenne de chaque mois. La figure suivante montre la variation des pluviométries annuelles mensuelles moyenne de 1990 à 2004 au niveau de la station d'Ankorombe.

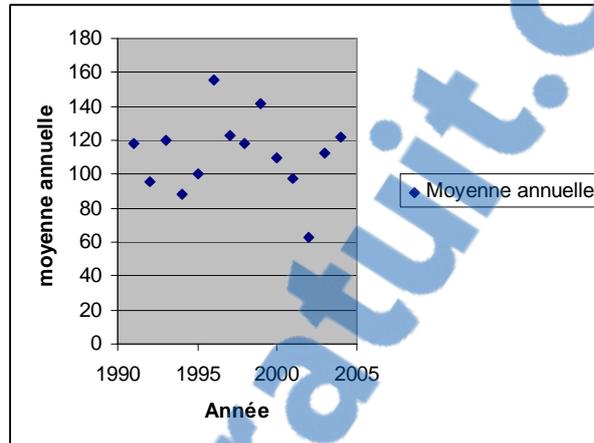


Figure 27: Courbe Pluviométrie annuelle moyenne

En général, la pluviométrie moyenne annuelle est nécessaire à la détermination des pluviométries annuelles des différentes fréquences (2, 5, 10, 50, 100) [ans] par l'ajustement suivant les lois de distribution classiques telle que la loi de GAUSS :

$$P_F = \bar{P}_a + \mu_F \cdot \sigma \text{ (Année humide)}$$

$$P_F = \bar{P}_a - \mu_F \cdot \sigma \text{ (Année sèche)}$$

Avec

$P_F$  : Pluviométrie annuelle pour une fréquence donnée [mm] ;

$\bar{P}_a$  : Pluviométrie moyenne annuelle [mm] ;

$\mu_F$  : Variable aléatoire de Gauss de fréquence F ;

F : Fréquence donnée ;

$\sigma$  : Ecart - type. ,  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P}_a)^2}{N - 1}}$ , N : nombre d'années d'observation

Les résultats des calculs sont conçus à l'aide du programme faite à l'aide de Matlab 7.0. Le relevé pluviométrique à la station météorologique d'Ankorombe (15 années d'observation : 1990-2004) est porté à l'annexe IV

- Pluies de diverses fréquences en années humides :

Temps de retour [ans]	F = 1 - 1/T	$\mu$	P [mm]
5	0,8	0,84	1518
10	0,9	1,28	1658
20	0,95	1,64	1771

Tableau 6: Résultats de calculs des pluies de diverses fréquences en années humides



- *Pluies de diverses fréquences en années sèches :*

Temps de retour [ans]	F = 1 - 1/T	μ	P [mm]
5	0,8	0,84	986
10	0,9	1,28	846
20	0,95	1,64	733

**Tableau 7: Résultats de calculs des pluies de diverses fréquences en années sèches**

- *Distribution mensuelle des pluviométries interannuelles de différentes fréquences :*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
<b>P<sub>moy</sub></b>	188	215	168	73	33	12	16	17	17	82	175	255	1252
<b>%</b>	15,02	17,18	13,42	5,83	2,64	0,96	1,28	1,37	1,37	6,56	13,99	20,38	100
<b>σ</b>													317
<b>P<sub>5h</sub></b>	229	261	204	89	40	14	20	20	21	99	213	309	1518
<b>P<sub>10h</sub></b>	250	285	222	97	44	16	22	22	23	106	232	337	1657
<b>P<sub>20h</sub></b>	267	304	237	103	47	17	23	24	25	116	248	360	1771
<b>P<sub>5s</sub></b>	148	169	132	58	26	9	13	13	14	64	138	201	986
<b>P<sub>10s</sub></b>	127	145	114	49	22	8	11	11	12	55	119	172	846
<b>P<sub>20s</sub></b>	110	126	98	43	19	7	10	10	10	48	103	149	733

**Tableau 8: Résultats de calculs de distribution mensuelle des pluviométries interannuelles**

Où P<sub>moy</sub> : Pluviométrie moyenne mensuelle [mm]

$$\bar{P}_a = \frac{\sum P_i}{N}$$

$$\Rightarrow \bar{P}_a = 1252[\text{mm}]$$

#### *d. Pluviométries maximales journalières :*

L'ajustement se fait à l'aide de la loi de GUMBEL,  $P_F = \bar{P}_0 + \mu_F \cdot a_G$

Où  $P_0 = P_m - 0,45\sigma$

$u_F = -\ln(-\ln F)$

$a_G = \sigma / 1,28$

et  $P_F$  : Pluviométrie maximale journalière de différentes fréquences [mm]

$P_m$  : Pluviométrie moyenne maximale journalière [mm]

$P_0$  : Pluviométrie de l'année de référence [mm]

$u_F$  : Variable réduite de Gumbel

$F$  : Fréquence donnée

$a_G$  : Gradex ;

$\sigma$  : Ecart – type

Les résultats des calculs des pluviométries maximales de différentes fréquences sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats des calculs sont conçus à l'aide du programme fait à l'aide de Matlab 7.0.



Temps de retour [ans]	F	$\mu_F$	P [mm]
2	0,50	0,37	70
10	0,80	1,50	81
20	0,95	2,25	89

Tableau 9: Tableau de pluies maximales des différentes fréquences

## 6.2.2. Etudes géologiques

Dans ce paragraphe, l'étude se base sur l'information connue de la zone et il nécessite une précision de la zone d'étude, d'où une descente. L'étude s'effectue dans deux zones différentes : Ilaka – Centre et Soavina – Ambondromisotra.

Les deux zones sont recouvertes lithologiquement par les granites de type Ikala qui sont les sources de la dégradation du sol sous les critères suivants :

- des roches granitiques et migmatites de Tampoketsa, sous forme de minces filets allongés à Soavina Ambatofinandrahana ;
- une série schisto-quartzo-calcaire très importante en superficie mais couvrant seulement la région dans sa partie centrale et dans laquelle est noyée un îlot de gabbros ;
- une couche allongée parallèle à la côte de roches granitiques ;

Si les roches décrites ci-dessus sont des roches essentiellement cristallines, les terrains sédimentaires sont importants dans les deux parties.

Les données ainsi obtenues et vérifiées sont illustrées dans le tableau suivant

Régions	Ensemble	Lithologie	Série
Soavina Ambondromisotra	Métamorphismes	Cipolins  Quartzites Schistes, Gneiss, Micaschistes	Schistes, Gneiss, Micaschistes  Schistes, Gneiss, Micaschistes
	Plutonismes	Granites de type Ilaka Syenites Gabbros de l'Isindro	
Ilaka Centre	Métamorphisme	Quartzites Schistes Gneiss, Micaschistes	
	Plutonisme	Granite de type Ikala	Schistes, Gneiss, Micaschistes

Tableau 10: Tableau illustrant les données géologiques de deux régions



# PARTIE III : UTILISATION DU SIG ET DE LA TELEDETECTION POUR LA RESOLUTION DU PROBLEME



## **Chap7. METHODOLOGIE DE RESOLUTION, [4], [5], [8], [10], [11], [17], [18]**

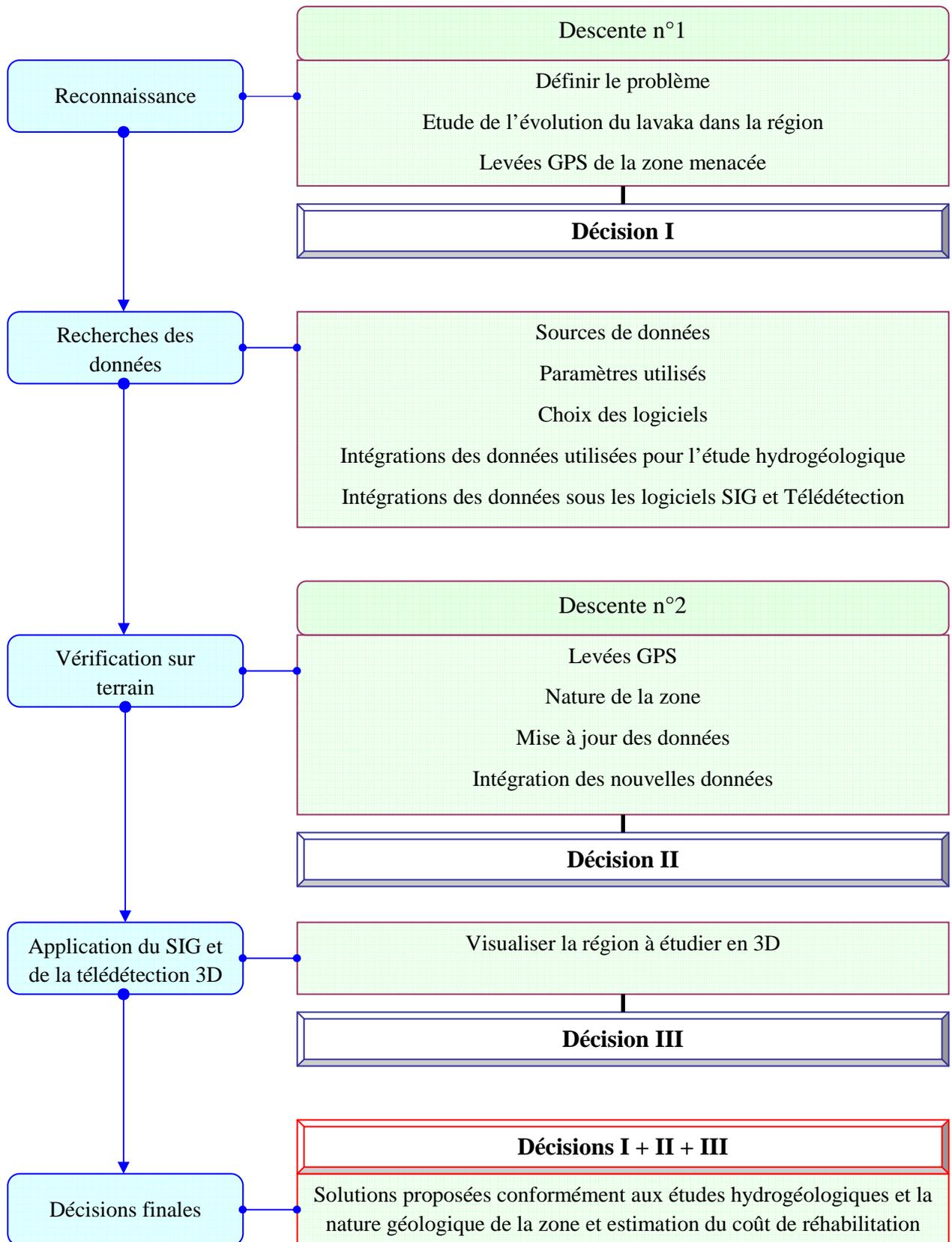
Ce chapitre a pour but de proposer une solution opérationnelle immédiate concernant le problème d'érosion dans la région d'Amoron'i Mania. Il était donc nécessaire de mettre en jeu les données existantes dans le cadre de ce problème afin de faire apparaître les enjeux, les limites, les perspectives, les évolutions et les solutions qu'entraînerait une large utilisation de la 3D. Ainsi, l'objectif est de donner la méthodologie utilisée pour présenter les possibilités offertes par la 3D afin que les différentes solutions apparaissent.

Cet objectif se traduit donc par la réalisation d'une ou plusieurs représentations virtuelles de la zone d'étude. L'étude commence par faire le point des connaissances dans le domaine de la modélisation et des données nécessaires y afférentes.

La résolution du problème d'érosion, cas du lavaka, s'effectue sous plusieurs méthodes. La méthodologie adoptée repose ainsi sur une connaissance approfondie des caractéristiques environnementales, socio-économiques et réglementaires du territoire étudié, acquise au cours d'une phase d'investigations menées sur le terrain durant la période comprise entre les mois d'Octobre et Novembre 2006 inclus. Il en ressort quelques points essentiels :

- Reconnaissance et choix de la région à étudier
- Recherches des données et intégration de ces données sur le SIG et Télédétection
- Vérifications sur terrain : avant pluie, après pluies
- Application de la SIG et Télédétection 3D
- Prise de décision à la résolution et estimation du coût de réhabilitation

Reposant sur différentes adoptions, les méthodes d'investigation sont résumées dans l'organigramme suivant.



*Flow-Sheet 3 : Organigramme de travail*



## **7.1. RECONNAISSANCE DU LIEU**

La première phase de l'étude consiste à évaluer une reconnaissance définissant toute la zone. La phase définit les problèmes généraux de la zone, la zone la plus menacée, le choix du réseau d'érosion aggravé, l'étude de l'évolution du lavaka dans toute la région et de prendre par la suite à l'aide de GPS les coordonnées de la zone incluse dans le réseau. Il s'en suit une décision concernant le problème.

## **7.2. RECHERCHE DES DONNEES**

Cette phase nécessite la connaissance de différents modèles de données pour pouvoir résoudre le problème défini. C'est ainsi que la méthode se base sur la connaissance de la notion de probabilité, d'où le modèle prédictif. La sureté et la possibilité sont réalisées à partir de ce modèle et de sa propre description.

### **7.2.1. Source de données**

Les données utilisées sont disponibles premièrement sur la reconnaissance et de plusieurs enquêtes sur terrain et au niveau de quelques services concernés sur le domaine d'étude, d'autres sont disponibles sur des sources qui les ont étudiées tels que le service de la Météorologie, le FTM, ...

### **7.2.2. Logiciels utilisés**

Les critères du choix sont les suivants :

- logiciels permettant d'évaluer les calculs utilisés
- logiciels permettant d'intégrer les données nécessaires
- logiciels liant les codes sources pour chaque code
- facile à utiliser
- version plus avancée et compatible à l'ordinateur utilisé

Suivants ces critères, on a choisi:

- Matlab 7.0 pour les calculs et les études hydrogéologiques
- Access pour le stockage des données
- Erdas, ArcView et ArcGis respectivement pour la télédétection et le SIG.



### 7.2.3. Intégration des données pour l'étude hydrogéologique

Les données sont saisies dans Access et ont été appelées ensuite dans le programme réalisé sous Matlab afin d'avoir l'objectif final de l'étude. Le programme relie les données stockées dans Access et le trie un à un pour faciliter les calculs de l'étude hydrogéologique.

Dans Access, l'affichage des informations sur les dépendances entre des objets de base de données est facile et permet de préserver une base de données au fil du temps et d'éviter les erreurs liées à des sources d'enregistrement manquantes. Ensuite, la modification de la source d'enregistrement des objets sont dépendants. Et enfin, l'affichage d'une liste complète des objets dépendant, permet de gagner du temps et minimise le risque d'erreur.

Les syntaxes du langage utilisées en Matlab permettent de faciliter tous calculs concernant le problème en question. Matlab transforme sous forme matricielle les données avant les calculs. De plus la façon dont Matlab a traité ces données est précise.

Voici l'interface d'accueil du programme réalisé sous Matlab :



*Figure 28: Interface d'accueil du programme réalisé sous Matlab*

L'interface est représentée par les logos de l'Université d'Antananarivo, de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et de la Région d'Amoron'i Mania. 1 et 2 définissent respectivement le choix de l'étude et les boutons pour valider et quitter le programme.



Pour l'étude hydraulique, elle se fonde surtout sur l'évaluation pluviométrique de toute la zone d'étude. Après avoir choisi la zone du choix 1 et après validation de ce dernier, l'interface suivante apparaît :

Tps de retour	F=1-1/T	u	P
5			
10			
20			

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Pmoy													
P_5													
P_10													
P_20													

Figure 29: Interface graphique pour l'étude pluviométrique de la région

On suit les étapes définies sur les zones 1 à 6 pour l'application du programme. Il est nécessaire de choisir les calculs à effectuer dans la zone 1 et choisir la période d'exécution du calcul dans 2.

3 est une zone de saisi pour définir le nombre d'années d'observation.

Les calculs s'effectuent à partir des boutons de commandes « Calcul pluviométrique » et « Distribution mensuelle » dans la zone 4. Les calculs se réfèrent sur une base de donnée nommée « Base.bdf » dans le programme même.

Les résultats sont affichés aux niveaux des zones 6 et 5

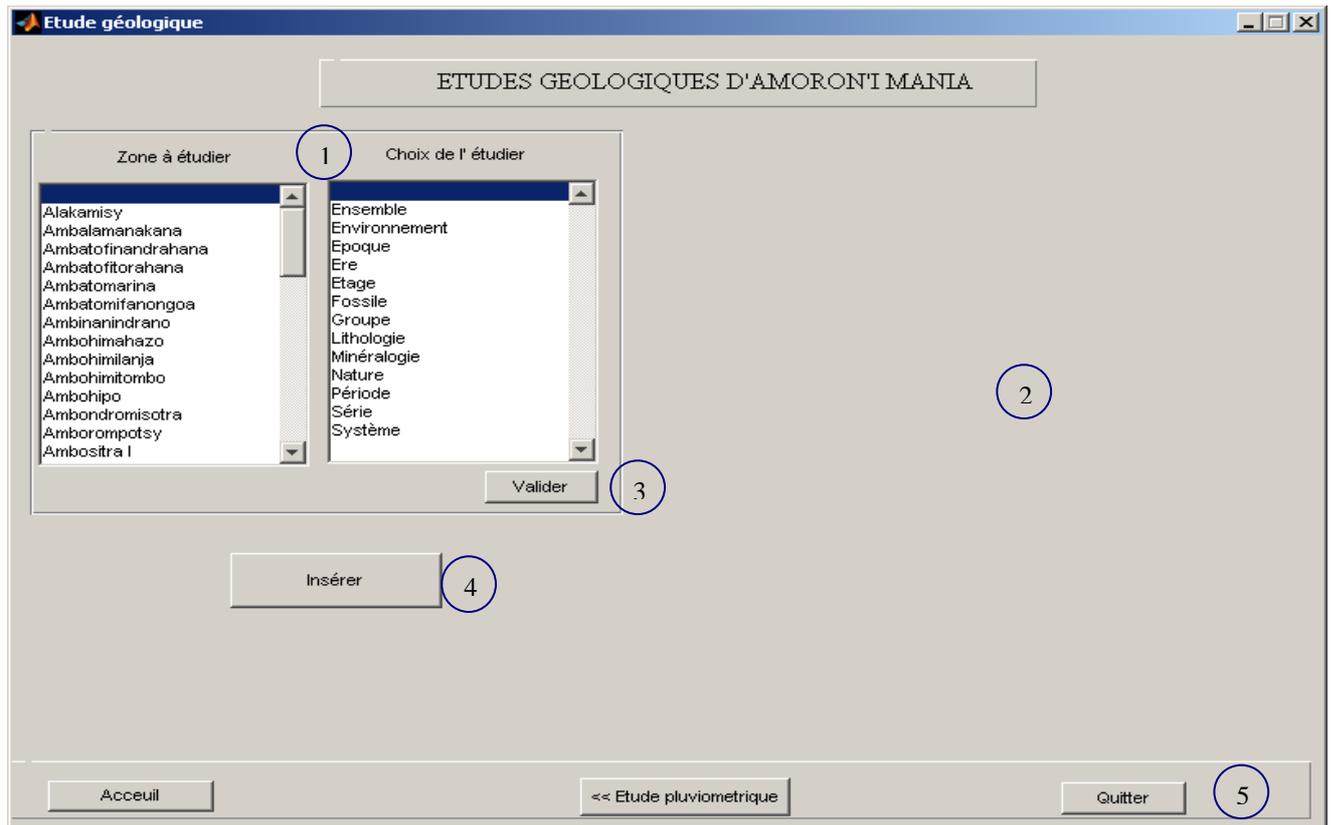
Les boutons sur 7 font parvenir directement au choix définissant chaque bouton.

La figure suivante montre un exemple de résultats de son application :



Figure 30: Exemple de résultat pluviométrique calculé à partir du programme

Pour l'étude géologique, la base du programme c'est de faire une recherche de la zone à étudier. Les résultats de la recherche seront ensuite retenus dans la base de données ainsi utilisée. La figure suivante montre l'interface graphique de l'étude géologique de la région.



**Figure 31: Interface pour l'étude géologique de la région**

Les zones 1 à 6 de l'interface désignent relativement les caractéristiques fondamentales de l'étude géologique. 1 est la zone de recherche du nom de la commune à étudier et les caractéristiques géologiques de la zone. 2 donne la carte géologique convenant à la zone sélectionnée et décrit simultanément ses caractéristiques géologiques. 3 est un bouton de validation de la recherche et 4 pour insérer le résultat de recherche dans la base. Les boutons sur 5 font parvenir directement au choix définissant chaque bouton.

Il est à noter que la base ainsi utilisée dans l'étude géologique est la même que celle de l'étude pluviométrique : « base.bdf », les noms des communes sont toutes disponibles à partir de cette base et les cartes ainsi obtenues sont construites avec ArcGis au moment du lancement du programme. La figure suivante donne un exemple de l'étude.

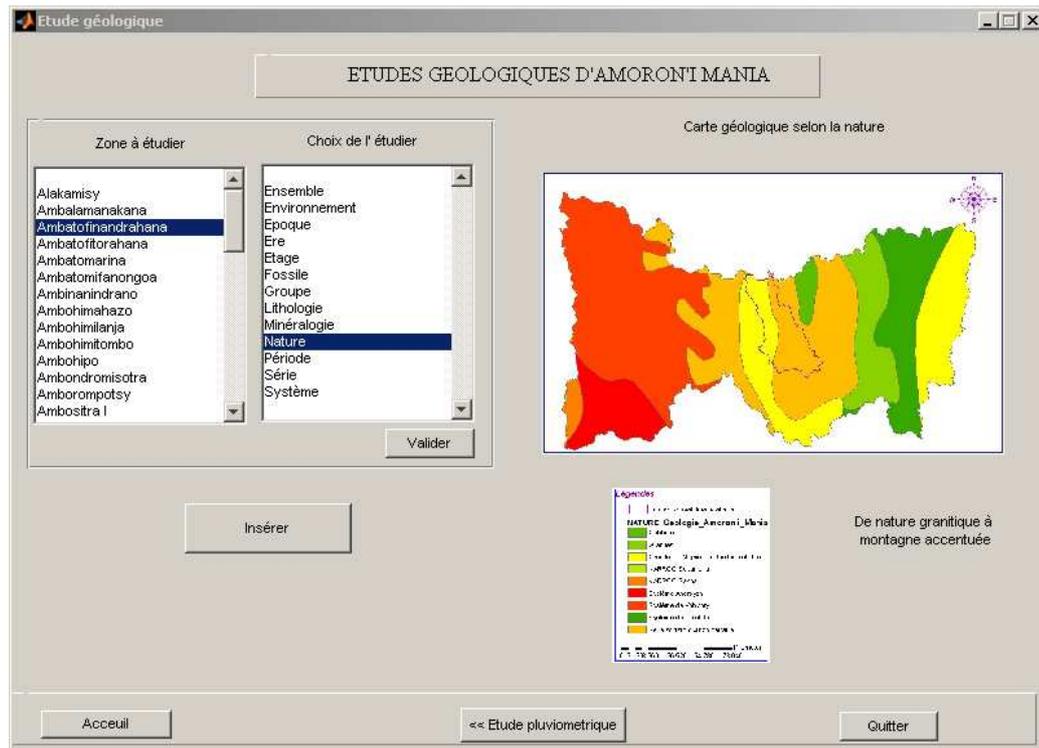


Figure 32: Exemple de résultat de la recherche dans le programme

#### 7.2.4. Intégration des données sur les logiciels SIG et télédétection

Les données utilisées sont le BD500 pour le SIG et le LANDSAT des canaux (160\_074 ; 159\_074 ; 158\_074) pour la télédétection. Ces données sont traitées et additionnées ensuite dans ArcGis 9.1.

Toutes ces données ont donc été définies pour une intégration finale dans le SIG dans le but de l'exploitation des ressources SIG disponibles pour le traitement et la mise à jour.

Les différentes données préparées sous une forme structurée sont intégrées sous ArcMap en différents groupes de couches et couches ou altitudes et altitudes. Le choix de groupes de couches et des couches ou altitudes et des altitudes permet de décomposer les sources de données utilisées en ensemble d'objets dont la représentation peut être adaptée à souhait. Ce processus permet également d'effectuer des jointures et des relations plus lisibles entre données graphiques et alphanumériques. Enfin, l'ensemble des résolutions des différentes données étant très hétérogènes, les affichages devront être limités à des échelles compatibles avec la qualité des données.

Une intégration sous « ArcMap » permettra de disposer des données structurées en couches exploitables. Enfin, le mini projet va être transporté sur terrain pour les contrôler, les compléter et les mettre à jour ; la localisation GPS permet de se repérer et de se positionner à quelques mètres près de la zone d'étude. Les différentes phases intermédiaires sont, quant à elles, réalisées en utilisant des outils plus spécifiques à chaque domaine abordé, même si des ressources sous formes d'applicatifs SIG auraient permis les mêmes traitements. Mais ceux-ci ne sont pas toujours nécessaires.



### **7.3. VERIFICATION**

La vérification est la partie la plus importante de la méthode pour la suite du travail. Il faut effectuer une nouvelle levée pour avoir une bonne décision à la fin. Cette phase s'effectue pendant la deuxième descente pour réassurer les données conçues sous plusieurs sources. A partir de cela ressortent les idées suivantes : nature de la zone, levées GPS conformant aux BD500 et aux données pluviométriques utilisées et mises à jour de ces données. C'est ainsi que se rapporte la deuxième décision du travail.

Après avoir vérifié les données obtenues sur terrain et les diverses données de différentes sources, la décision prise est l'utilisation des données sources du dernier BD500 et celles de la pluviométrie de la météo en 2004 car les altitudes de la région du dernier BD500 ne présentent pas de différence à celles de la levée et les différentes données météorologiques peuvent être utilisées pendant les 15 années successives.

### **7.4. APPLICATION DE LA SIG ET TELEDETECTION**

Ensuite, les données ajournées sont intégrées directement dans ArcMap et ArcScene afin de les visualiser en 2D et 3D. Le détail de cette phase est expliqué dans le chapitre suivant.

### **7.5. DECISION FINALE**

C'est ici que la décision finale est prise et où l'essai de résolution s'effectue à partir des analyses virtuelles et la descente sur terrain. Les décisions conçues durant les phases précédentes sont toutes rassemblées dans ce dernier, afin d'avoir la solution finale de l'étude. La décision est prise suivant le résultat du programme réalisé sous VBA et commentée selon les analyses pluviométriques conçues.



## **Chap8. APPLICATION ET RESOLUTION GRAPHIQUE**

### **[15], [17], [18],**

L'objectif de ce chapitre est de manipuler les logiciels SIG et Télédétection pour avoir le but finale de l'étude. La totalité de l'application demeure sur la manipulation d'ArcGis. Toutes les données ainsi utilisées sont toutes appelées sous ArcGis.

### **8.1. LE LOGICIEL UTILISE**

#### **8.1.1. Présentation d'ArcGis 9.1**

ArcGIS appartient à la famille de produits GIS extrêmement riche en fonctionnalités et de haute résolution pour la gestion de base de données ; elle créé, intègre, analyse et distribue le monde entier à des types de données géographiques pour donner de satisfaction aux demandes de chaque organisation consommatrice du système distributeur. Elle est composée de trois parties fondamentales :

- ArcGis Desktop, une application entière intégrée, GIS (ArcView, ArcEditor, ArcInfo et ArcReader)
- ArcSdetm, entrée pour la gestion de données géographiques et intégration du rapport de la base de données
- ArcImstm, pour la distribution de données et les services sur internet

ArcGis Spatial Analyst est une gamme étendue de puissants outils d'analyse et de modélisation spatiale. Il peut créer, interroger, apparier et analyser des données raster basées sur des cellules. Il peut aussi effectuer des analyses raster et vecteur, obtenir de nouvelles informations à partir des données existantes, interroger des informations dans plusieurs couches de données et intégrer totalement des données raster basées sur des cellules à des sources de données vectorielles traditionnelles. Intégré à l'infrastructure de géotraitement, son environnement est représenté sur la figure suivante :

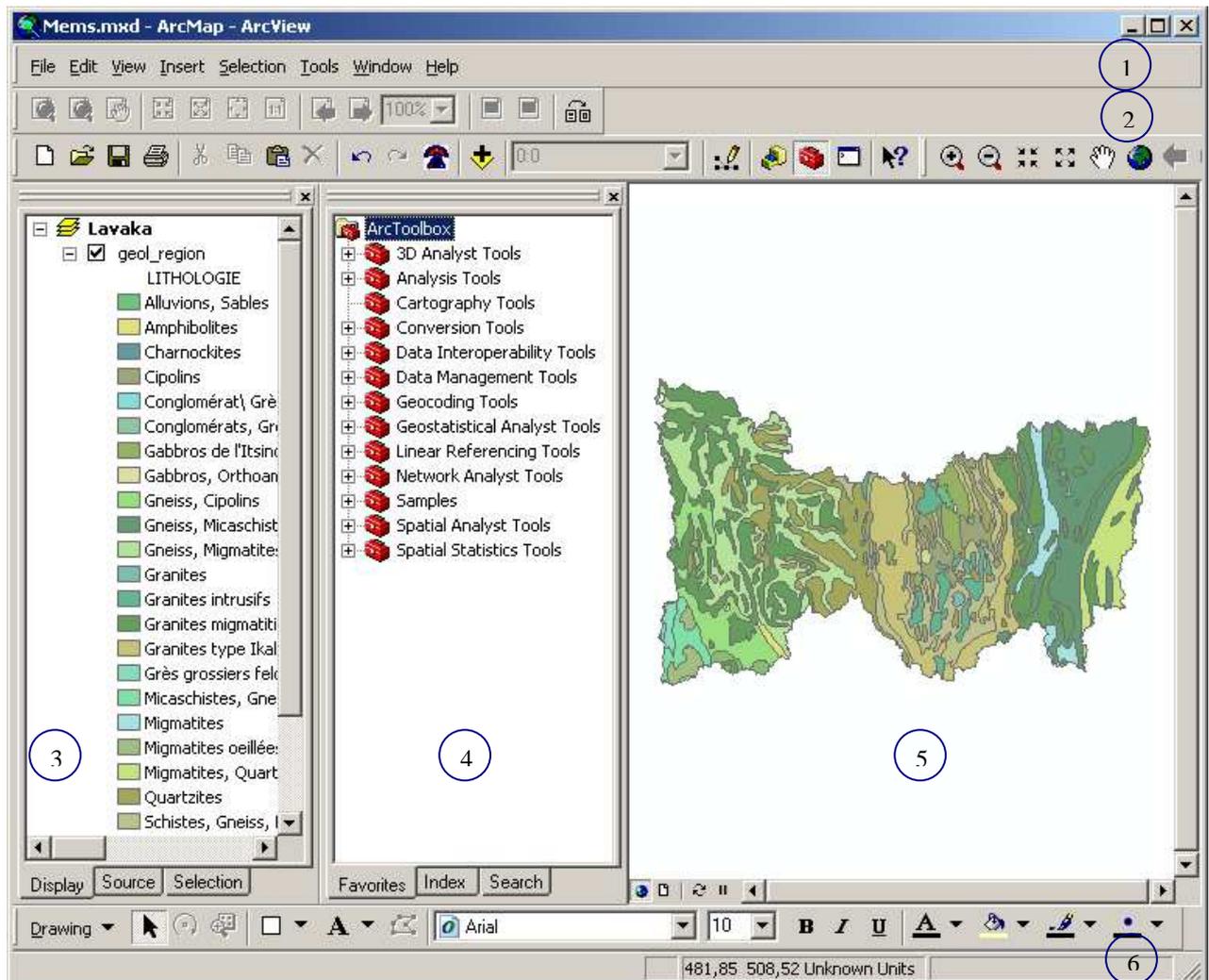


Figure 33: Environnement d'ArcGis 9.1

Les caractéristiques de l'environnement ArcGis sont représentées par les légendes suivantes :

1. Menu pour le fonctionnement du logiciel
2. Zone d'onglet pour raccourcir le menu
3. Zone de sélection du champ actif et non actif
4. ArcToolbox pour personnaliser les shapefiles
5. Zone pour la visualisation de la carte
6. Barre de menu pour l'amélioration de la carte

### 8.1.2. Fonctions et applications

A partir d'ArcGis Spatial Analyst, les demandes suivantes sont faisables :convertir des entités (points, lignes ou polygones) en rasters,

- créer des zones tampons raster basées sur la distance ou la proximité des entités ou des rasters,
- générer des cartes de densité à partir d'entités ponctuelles,



- créer des surfaces continues à partir d'entités ponctuelles,
- déterminer les contours, pentes, champs de vision, aspects et ombrages à partir de ces surfaces,
- effectuer de l'algèbre spatial (requêtes booléennes et calculs algébriques),
- effectuer des analyses de voisinage et de zone,
- procéder à des analyses cellule par cellule discrètes,
- effectuer des classifications et affichages de grilles,
- utiliser des données issues de formats standards, tels que Tiff, Bil, Img, Usgs Dem, Sdts, Dted
- accéder à plus de 150 fonctions dans l'infrastructure de géotraitement.

ArcGis Spatial Analyst s'adapte à de nombreuses applications telles que modèle de faisabilité, modèle de sensibilité, modèle d'aménagement, analyse de localisation, analyse des rendements agricoles, modèle prédictif, modélisation hydrologique, cartographie des zones de marché, analyse d'occupation des sols, analyse démographique.

### **8.1.3. Introduction du langage VBA**

#### ***a. Introduction***

ArcInfo fournit un kit de développement "***ArcObjects***", plate-forme de développement de la famille des applications ArcGis tels qu'ArcMap, ArcCatalog...

Personnaliser l'environnement dans ArcMap ou ArcCatalog avec VBA, en développant des *macros* associées à un document ArcMap d'extension ***\*.mxd*** ou un modèle ***\*.mxt***.

VBA est à la fois un langage et un environnement de développement. C'est un langage interprété dont l'intérêt est d'être partagé également par d'autres applications notamment bureautiques : Word, Access, Excel.

#### ***b. Personnalisation de l'interface***

Dans l'étude, on a créé un bouton pour faciliter l'intégration du programme ainsi établie dans l'environnement d'ArcGis. Ce bouton est obtenu à partir de la fonction personnalisation de la caractéristique d'ArcGis. Le chemin pour atteindre la personnalisation est la suivante : *Tools>Customise*. Dans la boîte de dialogue "Personnaliser", les options ainsi apparues permettent de gérer les barres d'outils et commandes tels que boutons et menus d'ArcGis. Par exemple, pour créer un bouton, on navigue vers l'option *Commands*, on choisit *UIControls* suivi du bouton *New UIControl* pour ajouter des commandes.

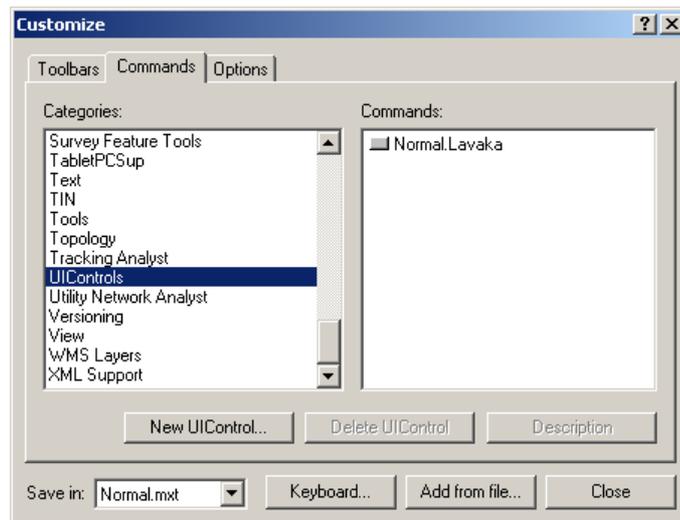


Figure 34: Boîte de dialogue de la personnalisation d'ArcGis

Les personnalisations sont enregistrées soit dans le document courant, soit dans le modèle *Normal.mxt* pour qu'elles soient valables dans tous les documents ArcMap ; sinon pour le projet courant l'enregistrement se fait dans *Normal.mxt*.

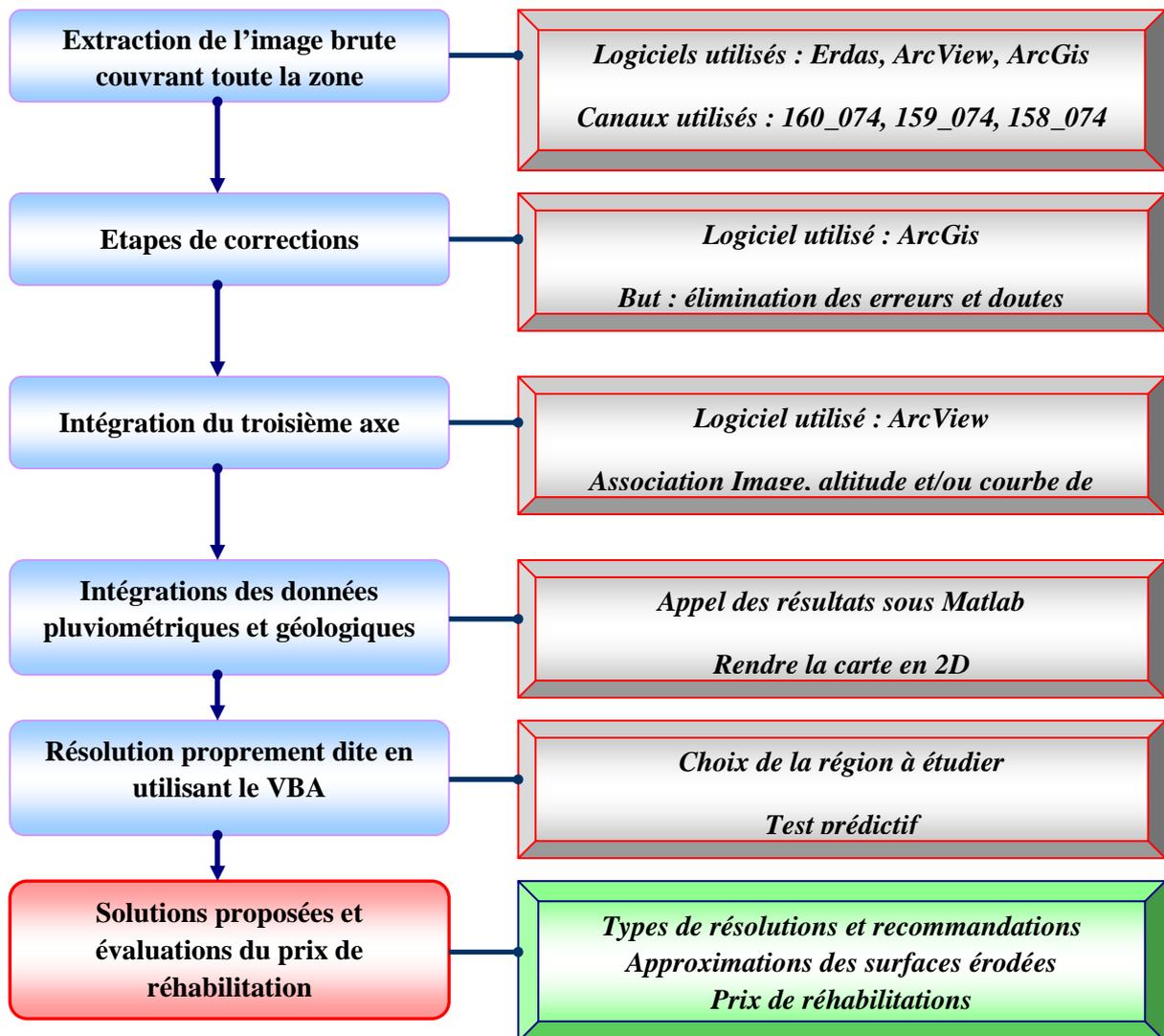
### c. Editeur Visual Basic

Dans ArcMap, le programme s'effectue au niveau de chemin suivant : Menu *Outils>Macros>Editeur Visual Basic*. La fenêtre de projet liste tous les modules de code de la carte courante, du Normal template ou bien d'un autre modèle sur lequel la carte est basée. Chaque module contient un certain nombre de procédures ou *macros* elles-mêmes constituées d'un certain nombre de lignes de code. Il existe trois types de modules : les modules standards, les feuilles ou *Userform*, et les modules de classe.

Une feuille est une boîte de dialogue créée par le développeur, contenant un certain nombre de contrôles. A ces contrôles sont associés des événements associés à des procédures événementielles, par exemple à l'événement clic sur un bouton.

## 8.2. RESOLUTION

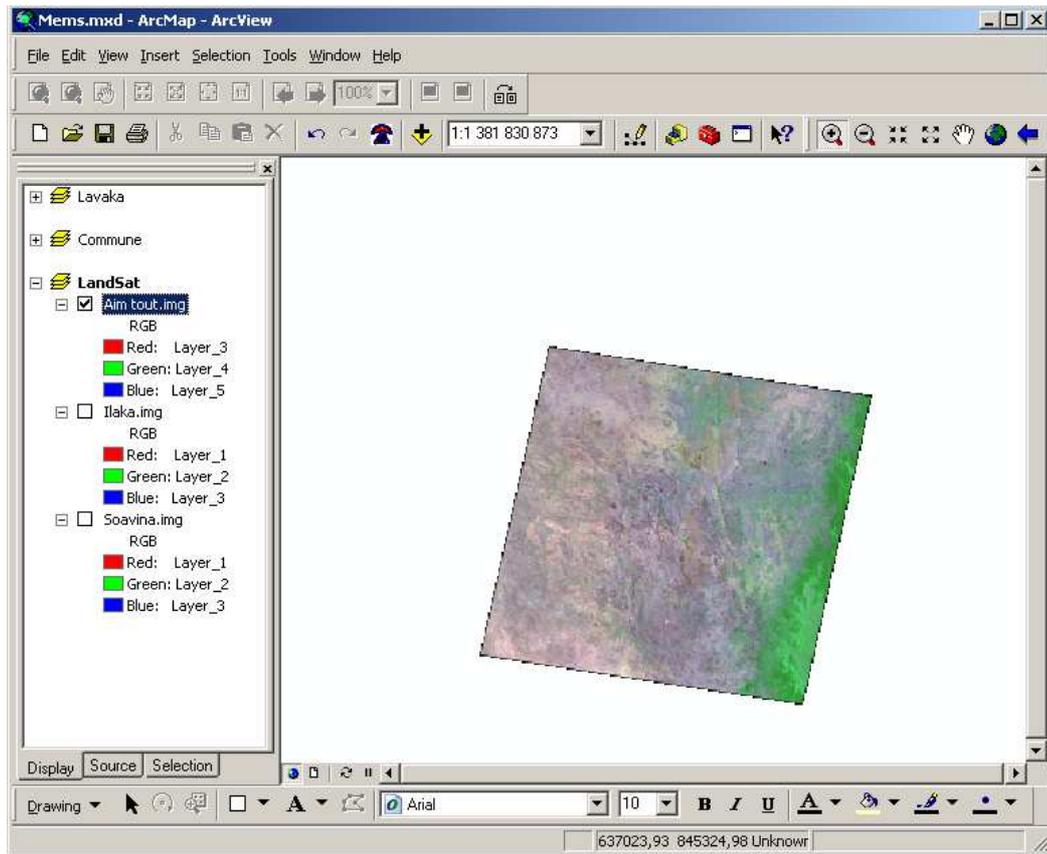
Il est mentionné dans ce paragraphe les étapes de résolutions pour la détection du lavaka et les recommandations possibles pour sa réhabilitation. Le *Flow-Sheet 4* suivant montre ces étapes.



*Flow-Sheet 4 : Etapes de résolutions*

### 8.2.1. Extraction de l'image brute couvrant la région

La résolution dépend de la connaissance de la composition incluse dans l'image LANSAT conçue des canaux (160\_074 ; 159\_074 ; 158\_074). Dans ces canaux, on illustre chaque image et les charger sous ERDAS pour les rassembler et les transporter sous ArcMap pour les visualiser. Voici l'image brute couvrant la zone d'étude déjà traitée sous ERDAS et transportée sous ArcGis.



*Figure 35: Image brute délimitant la zone d'étude*

A partir de cette image la résolution commence en connaissant les significations de la composition colorée de l'image. Il existe 9 bandes mises en action dans LANDSAT dont 6 bandes spectrales: le TM1, le TM2, le TM3, le TM4, le TM5 et le TM7 ; 2 bandes IRT et TM6 et une bande panchromatique TM8. L'utilisation de ces bandes dépend de la résolution utilisée. En télédétection, chaque couleur et chaque bande spectrale désignent la nature de la cible. Le rouge définit souvent l'information à examiner et doit se mettre dans la bande TM1. Dans notre étude, le sol et la végétation sont les cibles désignées dans TM1 et colorées en rouge.

### **8.2.2. Etapes de corrections**

Après avoir analysé la composition colorée de l'image, il est temps de passer à la phase de correction. Le premier niveau de la correction est dite radiométrique, ensuite géométrique et d'altitude. Tout cela nécessite une dernière correction pour éliminer les différents doutes, cette phase s'appelle correction de superposition. L'extraction de ces images s'effectue à l'association de l'image brute avec les répartitions communales et les districts de la région. Le résultat de différentes corrections permet de donner les exemples d'images dans les figures suivantes.

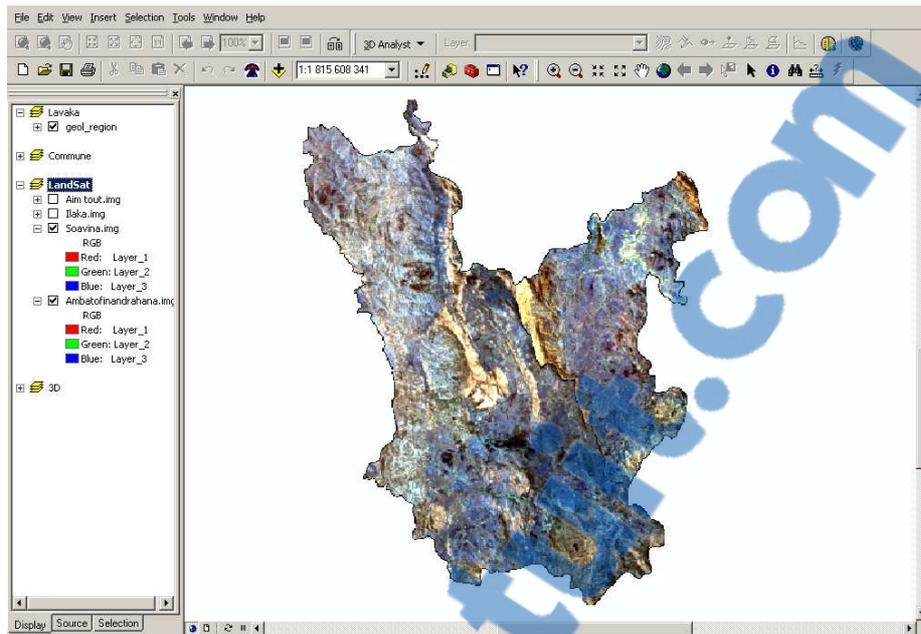


Figure 36: Image corrigée d'Ambatofinandrahana –Soavina extrait de l'image brute

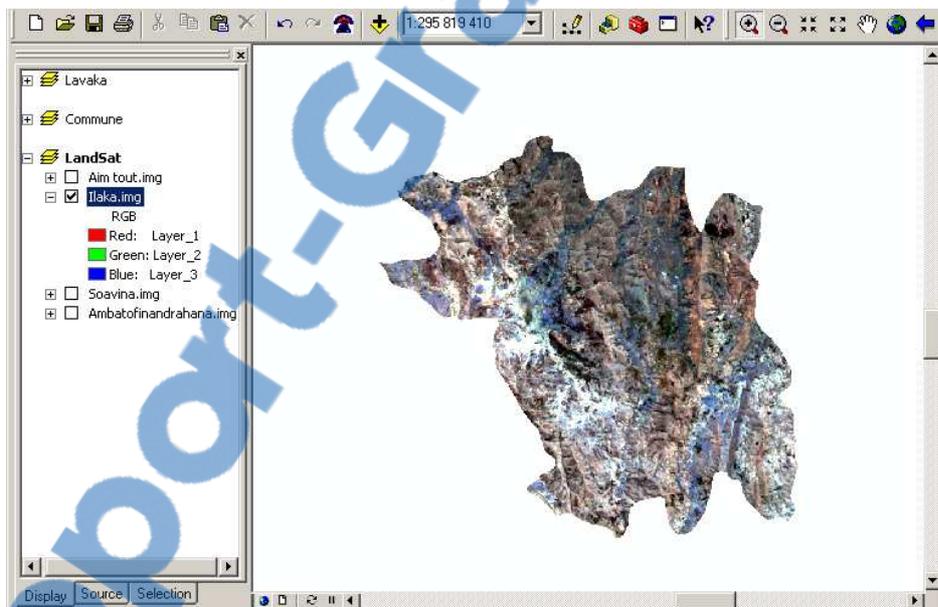


Figure 37: Image corrigée d'Ilaka Centre extrait de l'image brute

### 8.2.3. Intégration du troisième axe Z

Pour la détermination de la cible d'érosion, on se réfère aux courbes de niveaux et aux variations de l'altitude de la région afin de les projeter suivant le troisième axe Z. Voici un exemple de la projection de l'image tridimensionnement après les avoir fractionnées à l'aide de leur altitude et/ou de leur courbe de niveau.

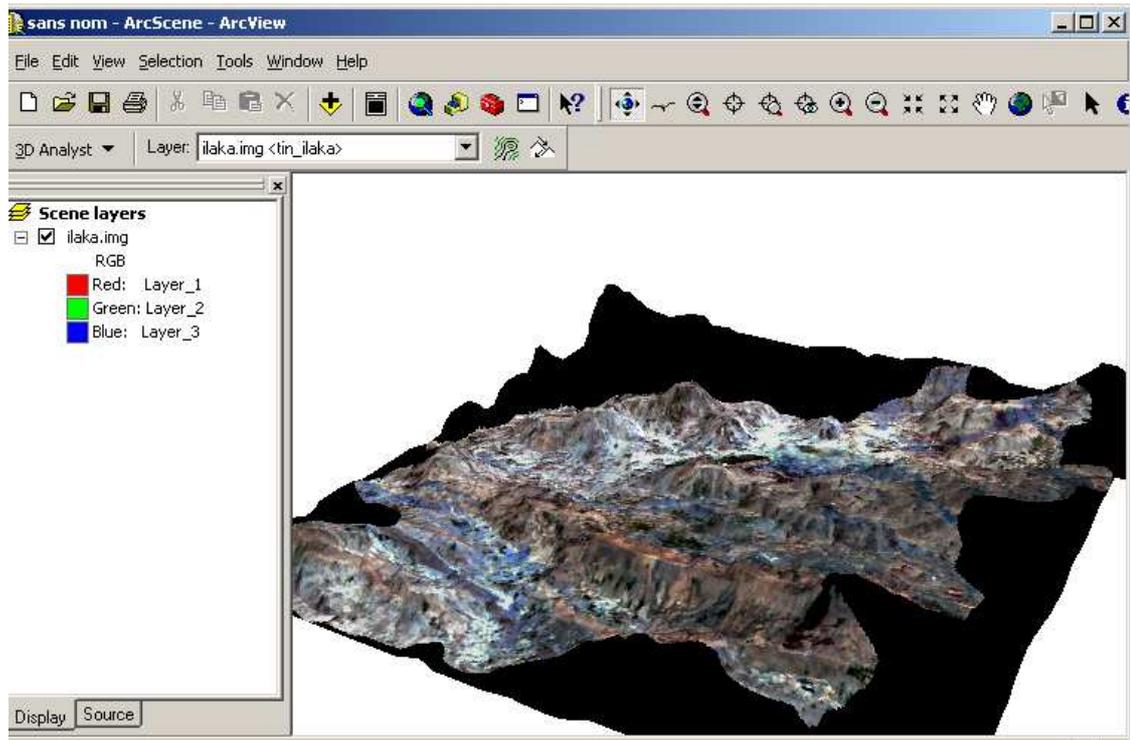


Figure 38: Utilisation du troisième axe Z selon ArcScene, axe Ilaka

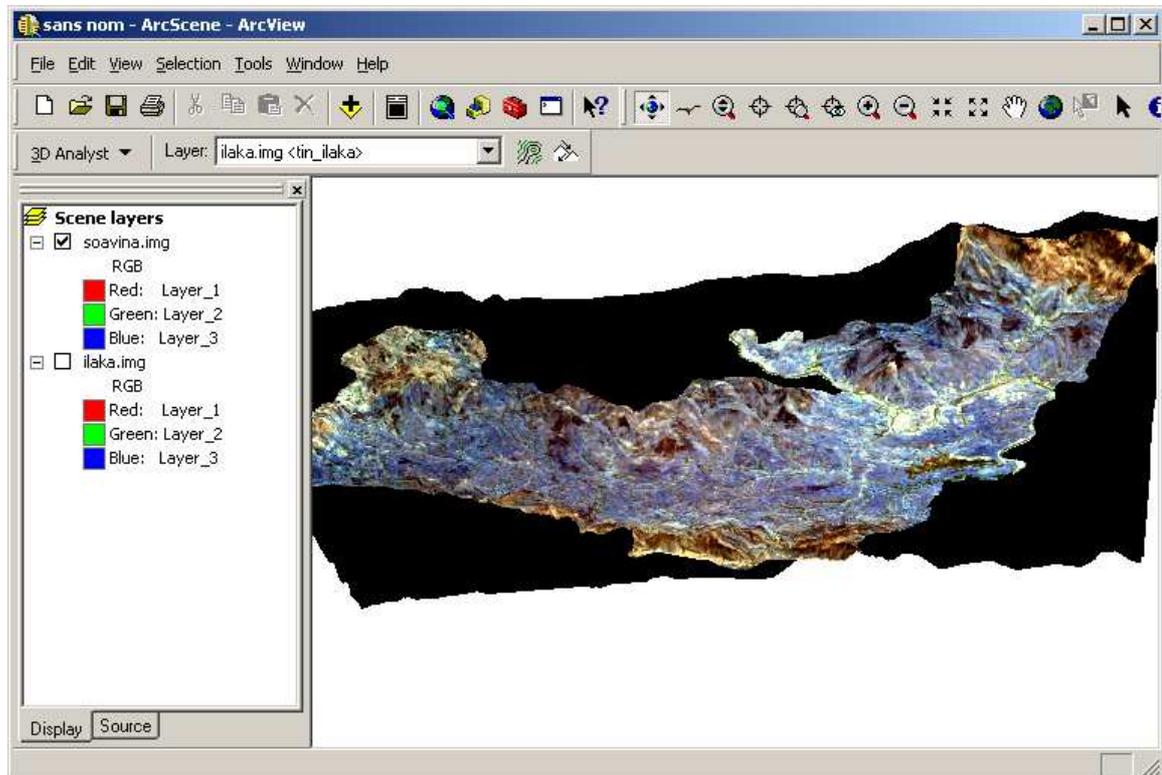


Figure 39: Utilisation du troisième axe Z selon ArcScene, axe Soavina

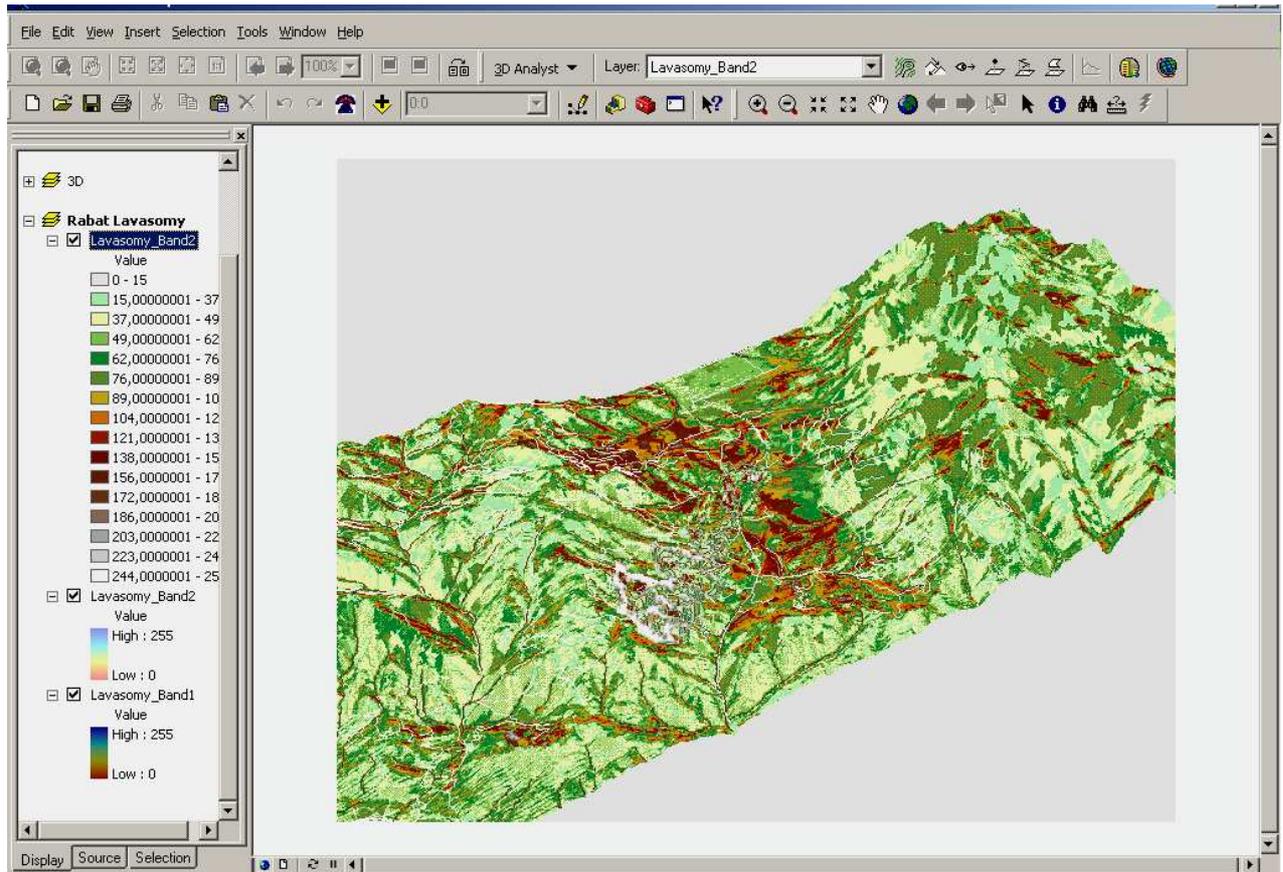
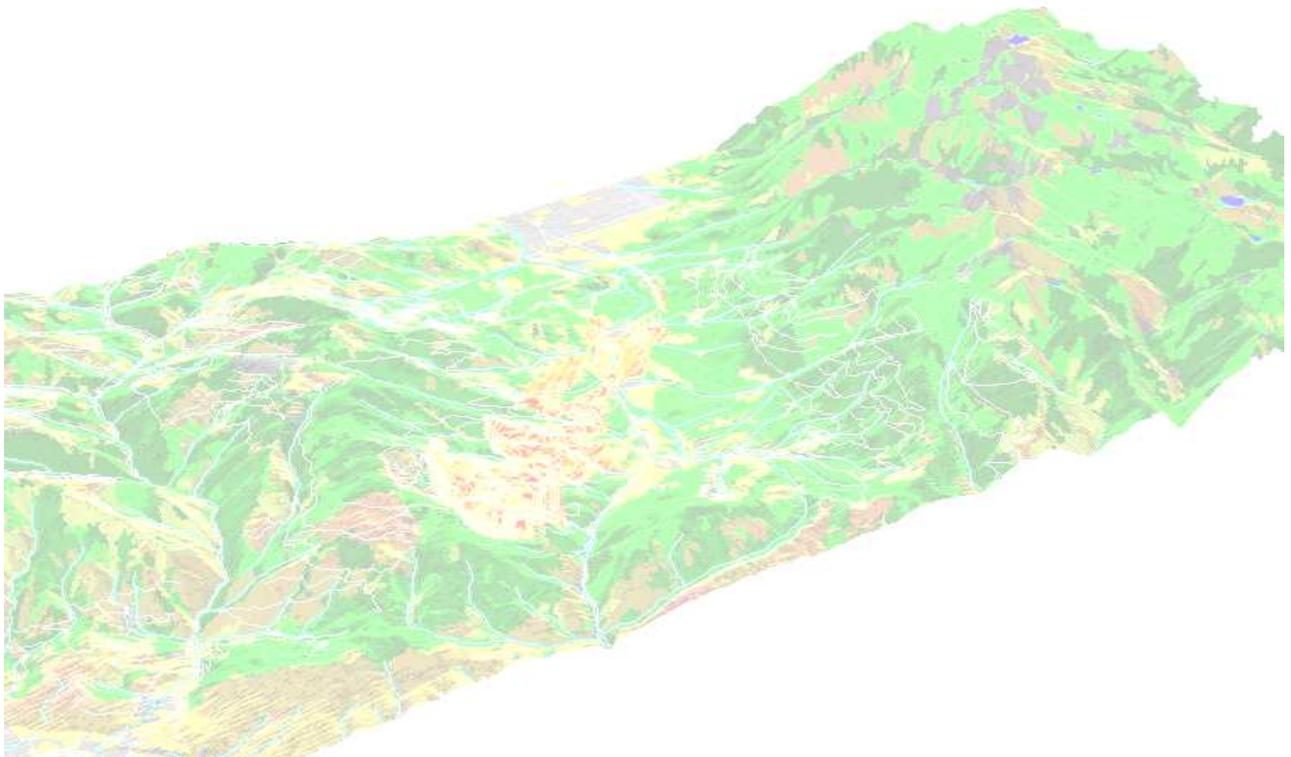


Figure 40: Détection du lavaka après projection, Montagne de Lavasomy

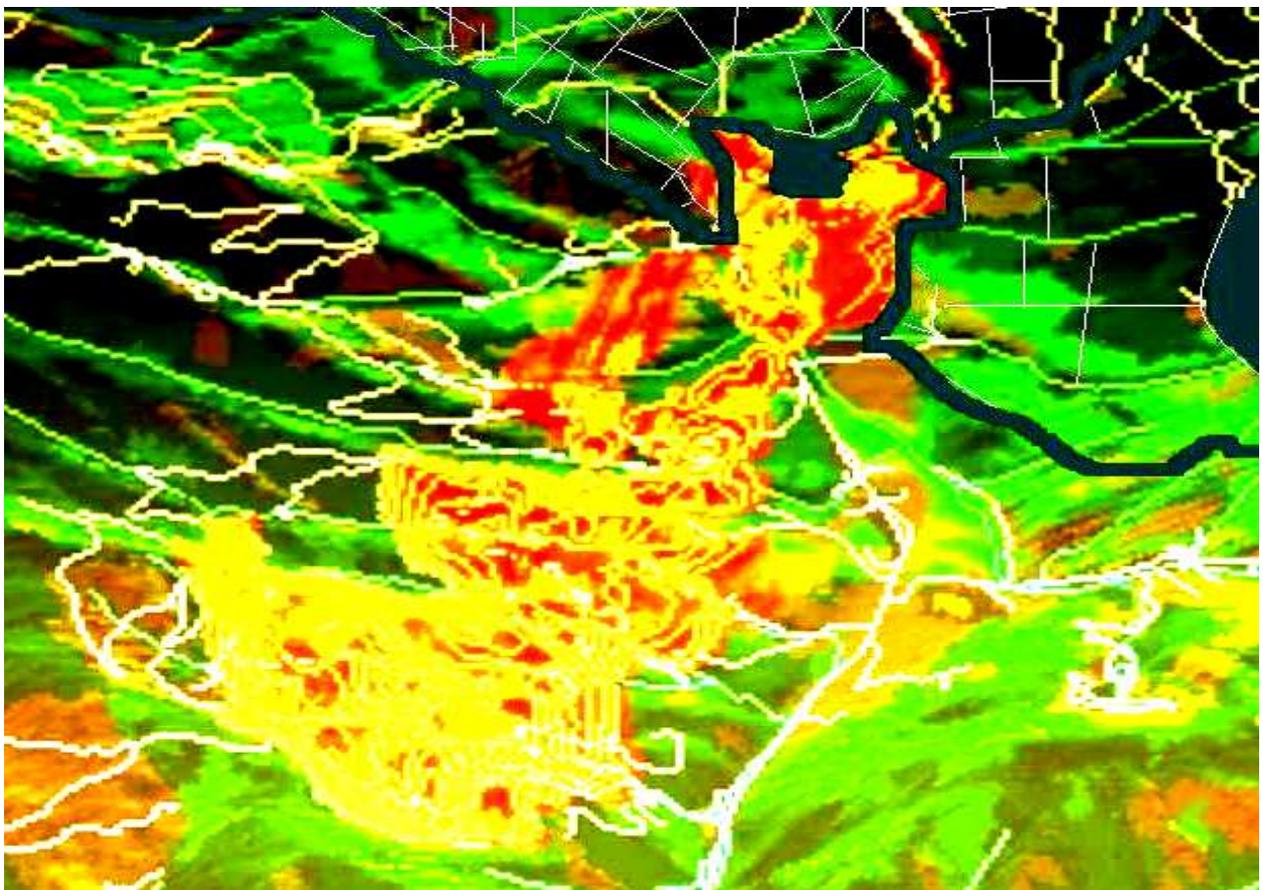
## 8.2.4. Intégration des données pluviométrique et géologique

### a. Appel du résultat calculé sous Matlab

Après ces étapes, la résolution s'effectue en appelant les données ainsi calculées sous Matlab afin de les élaborer comme un attribut utilisable sous ArcGis et les rabattre en 2D. L'intégration de ces données permet aux manipulateurs d'ArcGis d'évaluer une approximation du problème ainsi défini. Les lavaka sont ensuite bien définis. La figure suivante montre le résultat de cette étape.



*Figure 41: Image rabattue en 2D et intégration des données pluviométriques et géologiques, Montagne de Lavasomy*



*Figure 42: Détection du Lavasomy à l'échelle 1/1000*



### ***b. Test suivant la modèle prédictif***

Puis, on fait du test sur la carte pour détecter toute possibilité de glissement sur la zone d'étude. La possibilité de glissement est testée suivant la notion du modèle prédictif. Ce modèle détermine toute possibilité de glissement de terrain selon la nature géologique, pédologique et la pluviométrie de la région. Le test est programmé sous VBA et illustré dans le paragraphe suivant, le programme même donne l'approximation résiduelle de la surface ainsi érodée.

## **8.2.5. Résolution proprement dite en utilisant VBA**

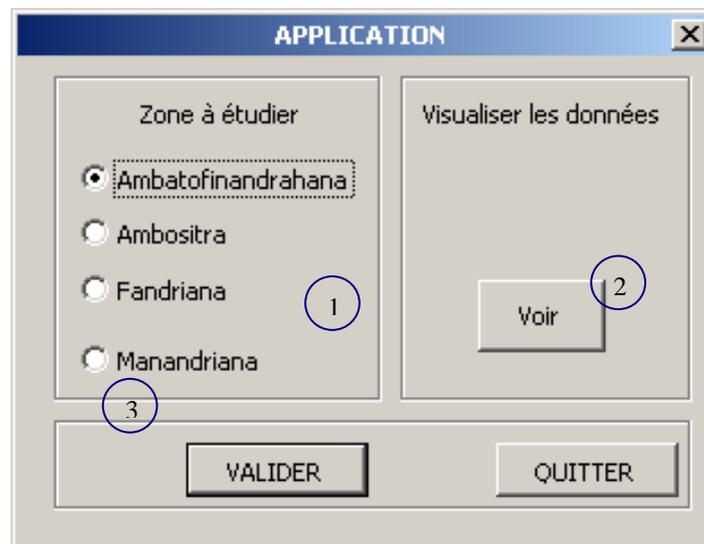
Après avoir défini la zone menacée ou déjà détruit par le lavaka, on effectue la résolution proprement dite. La démarche à suivre est désignée par les étapes suivantes :

1. Cliquer sur le bouton ayant l'icône du logo de l'E.S.P.A.



**Figure 43: Barre de menu d'ArcMap**

2. Après avoir cliqué sur l'onglet, l'interface suivante apparaît :



**Figure 44: Interface d'accueil de l'application sous VBA**

L'interface est caractérisée par les zones 1, 2 et 3, respectivement une zone de choix pour la région à étudier, de la visualisation des données et des boutons de commandes.

Après avoir choisi la zone à étudier et validation, on aperçoit les résultats convenables. Par exemple si on a coché Ambatofinandrahana la fenêtre suivante apparaît

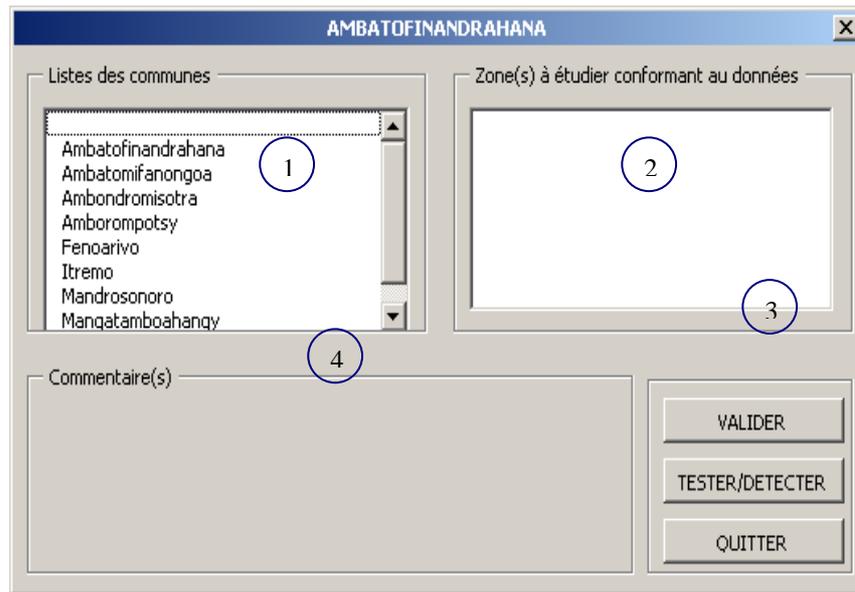


Figure 45: Interface montrant l'étude à effectuer à Ambatofinandrahana

L'interface est caractérisée par la région 1 à 4 composées de deux listes des toutes les communes d'Ambatofinandrahana et des zones de communes à étudier, des boutons de validation et de test et une zone de texte pour commenter. En premier lieu, on choisit dans 1 les communes dont on a étudié précédemment les caractéristiques géologiques, puis on valide et on teste. Après test, les tendances de glissement et les lavaka en cours apparaissent.

Voici un exemple de cette application :

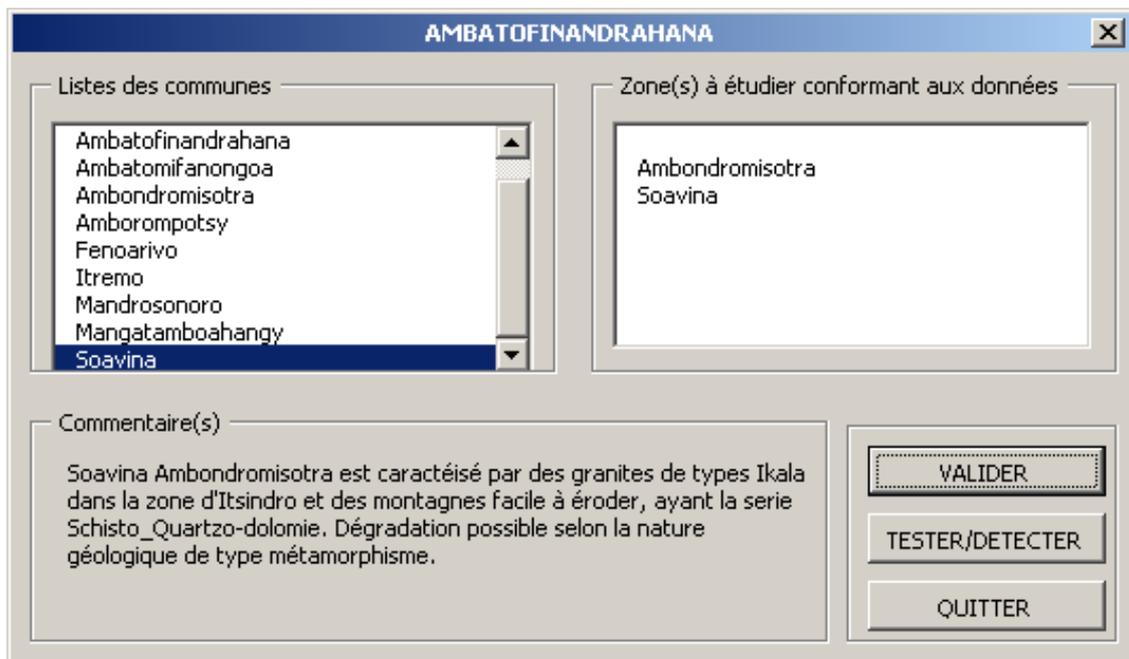


Figure 46: Exemple du choix communal sis à Ambatofinandrahana



### 8.3. DECISIONS AINSI OBTENUES

Les décisions finales obtenues sont issues de la descente et de l'étude effectuées.

**Problèmes rencontrés :** érosion en nappe généralisée, ravinement, et lavakisation généralisées.

**Zone étudiée :** aux environs d'Ilaka-Centre, et la zone allant de Soavina à Ambondromisotra

**Sources de données :** FTM, Ministère de la météorologie, PCDR

**Logiciels utilisés :** Matlab 7.0, Erdas, ArcView 3.2, ArcGis 9.1

**Données utilisées :** BD500, Relevée pluviométrique de la station d'Ankorombe

**Nature de la zone d'étude :** pluvieuse, facile à éroder



## Chap9. SOLUTIONS PROPOSEES ET EVALUATION DU PRIX DE REHABILITATION [3], [5], [16]

Ce chapitre permet de suivre les indications données par la résolution graphique issue de réalisation en SIG et Télédétection afin d'avoir une solution convenable et d'estimer le prix de réhabilitation du problème.

### 9.1. LES SOLUTIONS PROPOSEES

Les principes de la lutte contre les lavaka s'attachent sur quelques points, en sachant qu'ils peuvent soit se compléter, soit s'exclure l'un de l'autre.

- Protéger le sol contre les agressions des pluies ;
- Garder l'eau là où elle tombe ;
- Combattre l'érosion à son origine ;
- Canaliser et contrôler les eaux ruisselantes ;
- Forcer l'eau ruisselante à déposer sa charge

Le contrôle de ces principes contient certains des facteurs qui devraient être pris en considération pour résoudre les problèmes de lavaka :

**Type de sol :** les sols à forte teneur en sable ont moins de tendance à s'éroder que les sols à forte teneur en argile. Les terres grasses sablonneuses et les sols riches en matières organiques laissent pénétrer l'eau, ce qui réduit l'écoulement en surface.

**Topographie :** plus la pente du terrain est accentuée, plus le ruissellement est fort et plus le potentiel d'érosion est grand. La longueur de la pente peut aussi être importante: le potentiel d'érosion augmente avec la longueur.

**Végétation :** les arbres et la végétation en général sont un bon moyen de protection contre l'érosion. Dès la phase préliminaire de la planification, il s'avère nécessaire de réserver de grands espaces de terrain intacts en préservant la végétation pour empêcher une érosion excessive.

**Précipitations :** c'est pendant les très fortes averses que l'érosion est la plus grave. Il faut étudier les données des précipitations pour évaluer la probabilité de fortes averses en un lieu donné.



### 9.1.1. Les recommandations

En regardant toute la zone durant la descente et les études effectuées, les solutions proposées pour les deux zones d'études se présentent sous deux variantes dont la plantation et l'implantation des canaux d'évacuation d'eau et d'ensablement. Ces deux solutions proposées découlent de l'application du SIG et Télédétection ainsi réalisée dans le chapitre précédent.

#### *a. Plantation*

Pour arrêter l'érosion, un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité à la surface du sol. Cependant, plusieurs plantes peuvent évoquer l'action protectrice contre l'érosion et nécessitent une connaissance préalable du type de plantes à mettre en terre.

Ce type de solution présente certains avantages pour les zones cibles du lavaka réseau Soavina Ambondromisotra et de Lavasomy Ilaka Centre. La période idéale de plantation pour la zone est généralement avant l'avènement de pluie à partir du mois de septembre. Elle ne contribue à assurer la stabilité qu'après quelques années, mais l'assurera définitivement.

#### *a.1. Critères des plantes utilisables*

Les plantes convenant à la protection du lavaka nécessitent les conditions suivantes :

- utilisables dans des conditions climatiques tropicales et semi-tropicales et dans d'autres zones de climats différents des conditions précitées où prévalent des étés chauds
- portant de réseau de racines longues et ayant la caractéristique fixatrice
- plus rependues et faciles à trouver
- de prix abordable
- confortables aux conditions de précipitation, à l'humidité et aux types des sols dans la région d'Amoron'i Mania.

D'après ces indications, les plantes mises en œuvre et présentes chez nous sont **le vétiver** et **le mimosa**.

La température moyenne à la résistance de ces plantes varie de 18 à 25 °C et la précipitation est de préférence supérieure à 700mm. Elles résistent à la sécheresse mais exigent



normalement une saison humide d'au moins trois mois. L'idéal est une précipitation qui s'étend sur des mois.

En ce qui concerne l'humidité, ces plantes poussent mieux dans des conditions humides, mais elles peuvent également se développer sous une faible humidité.

Pour les rayons solaires, elles se développent difficilement à l'ombre; quand l'ombre se retire, la croissance est rapidement rattrapée.

Pour le sol, elles poussent plus rapidement sur des sols sableux, profonds et gras. Elles peuvent cependant pousser sur tous les types de sols, allant de vertisols fissurés aux alfisols rouges. Elles peuvent pousser sur des blocs acides de l'ordre de  $pH=3$  et alcalins de  $pH=1$ . Elles tolèrent les toxicités minérales élevées : aluminium, manganèse ou autre. Elles peuvent parfaitement survivre en submersion pendant trois mois. Elles peuvent également pousser dans les bas-fonds. Les schémas suivants montrent la vision générale de ces plantes :



*Figure 47: Jeunes plantes de Mimosa*



*Figure 48: Plantation de Vétiver*

### *a.2. Le type de culture:*

La plantation se fait sous forme de haies et doit être exécutée en début de la saison humide quand le sol a été bien imbibé. 2 à 3 boutures doivent être plantées dans chaque station éloignée les unes des autres par une distance de 10 à 15 cm. Les haies doivent être écartées les unes des autres d'une distance verticale de 2m. Sur des terrains plats, la distance peut être réduite à 1m. Il faut veiller au choix des boutures de bonne qualité, et celles-ci doivent être plantées dans les trois jours qui suivent leur enlèvement des pépinières, de préférence le jour même. Les boutures ne doivent pas sécher et doivent être protégées du soleil. Pour 100 mètres de haies, il faut à peu près 2.000 à 3.000 boutures.



### *a.3. Désignation*

En tant que haie de contour, ces plantes agissent en tant que système de filtrage continu qui ralentit l'écoulement, réduit le ruissellement et la formation de creux et recueille les sédiments sur ses parois. La perte en nutriment du sol est ainsi réduite; l'humidité de sol et la rétention d'eau augmentent, de même que les terrasses naturelles et le niveau du sol derrière les haies.

Une des caractéristiques les plus importantes de ces plantes est qu'elles occupent très peu de place et ne concurrencent pas les autres cultures adjacentes. A part leur propriété de conservation du sol, elles sont utilisées pour stabiliser les digues, les canaux, les culées des ponts, et pour protéger des affaissements.

### *a.4. Impacts négatifs*

Quatre types d'impacts négatifs devraient être avertis ici:

☞ les impacts sur l'agriculture :

C'est l'un des impacts négatifs les plus évidents du fait de l'importance de la population active agricole d'une zone menacée.

Les espèces envahissantes des cultures sont principalement les herbacées. Les espèces ligneuses spontanées envahissantes des cultures sont moins nombreuses mais leur développement peut être très gênant.

☞ les impacts sur le fonctionnement des écosystèmes: augmentation du risque d'érosion, du risque de feu, changement des budgets d'eau des rivières et des nappes, changement de la structure de végétation, modifications du niveau de nutriments du sol et appauvrissement voire disparition de la flore et de la faune indigènes.

☞ les impacts sur les populations d'espèces: élimination des espèces indigènes, impacts sur les populations de frugivores, herbivores et insectivores;

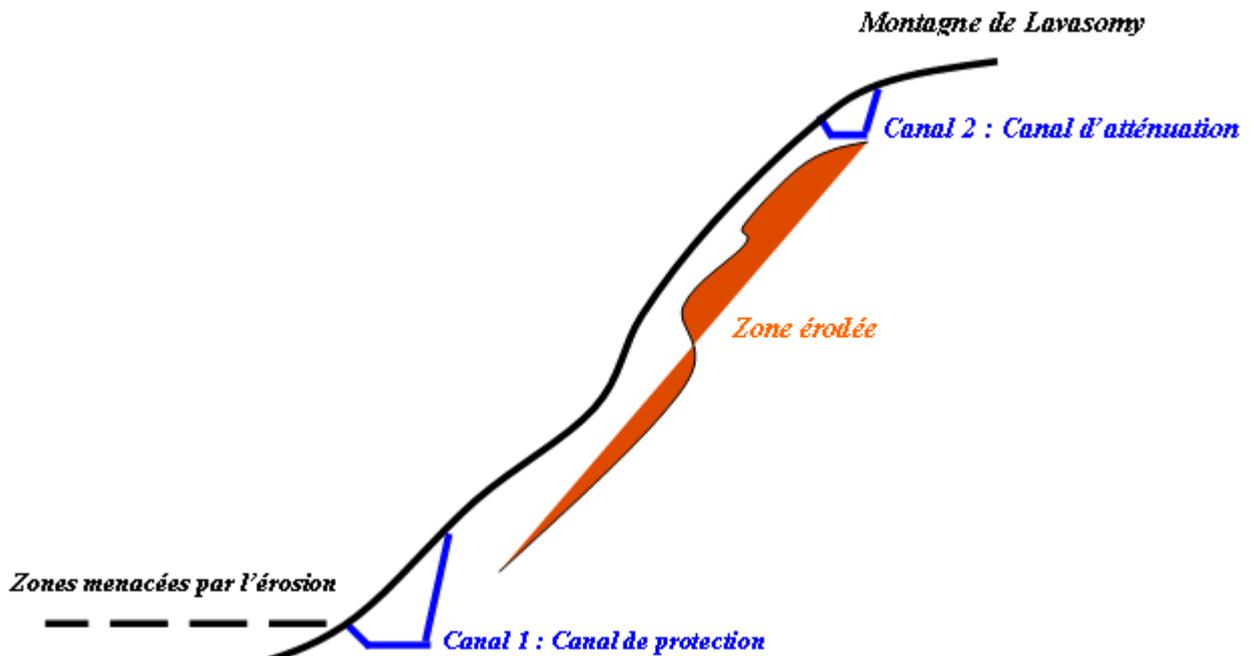
☞ les impacts génétiques liés à l'hybridation à la diminution progressive du pool génétique par espèce liée à la raréfaction de l'espèce.

### *b. Implantation des canaux d'évacuation d'eau et d'ensablement*

Le deuxième type de résolution consiste à implanter des canaux d'irrigations. C'est une technique récemment utilisée pour stopper l'érosion des plages de sable. Son principe consiste à rabattre la nappe à l'intérieur de la plage au moyen d'un canal pour favoriser les processus d'infiltration dans la zone du swash et ainsi pour renforcer l'accrétion.



Ce type de résolution est désigné seulement pour résoudre le problème de lavaka dans la région du Lavasomy. Il est nécessaire d'implanter deux canaux d'irrigation indépendants l'un de l'autre. Le premier est utilisé comme canal d'atténuation et l'autre pour la protection proprement dite. Le schéma suivant montre la réalisation et l'aménagement.



**Figure 49: Coupe transversale de la montagne de Lavasomy**

Dans cette zone, il est nécessaire de planter des arbres convenables au climat de la zone au niveau des zones érodées et les canaux d'irrigations sont utilisées pour atténuer l'évolution du lavaka.

Pour le dimensionnement, le débit de crue du bassin versant doit être connu avant l'étude. Il est évident aussi de tenir compte l'effet de la vitesse de l'eau pour l'aménagement car c'est un périmètre à justifier dans les caractéristiques techniques du canal. Il existe aussi le critère économique qui justifie le choix de la pente pour minimiser le volume du tassement.

La vitesse de l'eau est en fonction de la pente recommandée et doit être limitée et au-dessus d'une valeur minimale pour éviter la formation de dépôt de sable à l'intérieur du canal et la prolifération de végétation. En général, on adopte la valeur de la vitesse de l'eau à  $1\text{m.s}^{-1}$ .

Il est possible d'avoir un canal en béton ou en maçonnerie ou en terre mais dans le cas de Lavasomy on utilise des canaux trapézoïdaux en terre.



### b.1. Calcul du débit de crue du bassin versant

Dans le calcul hydraulique, on utilise souvent la méthode rationnelle pour un bassin de superficie inférieure à 4Km<sup>2</sup>. la formule utilisée est :

$$Q = 0,278ciA, [\text{m}^3.\text{s}^{-1}]$$

Où

**c est le coefficient de ruissellement du bassin versant**

Pour un terrain nu, c = 0,9 à 0,95 et pour un terrain végétal, c = 0,3

**i (t): intensité maximale de crue obtenue avec le temps de concentration du bassin,[mm.h<sup>-1</sup>]**

La valeur de i est obtenue à partir de l'équation de MONTANA  $i(t) = \frac{P_{24}}{24^b} t^{b-1}$

**P<sub>24</sub>** est la pluviométrie maximale journalière dans 24 heures d'une série d'observations, [mm]

**b** est un coefficient donné et estimé empiriquement sous plusieurs entités

**t** est calculé à partir de la formule de RICHARDS, pour un petit versant de superficie

inférieure à 4km<sup>2</sup>,  $t = 0,00663 \left( \frac{L}{\sqrt{I_{bv}}} \right)^{0,77}$ , [h]

avec **L** la longueur de plus long cheminement hydraulique, [km] et **I<sub>bv</sub>** la pente du bassin,  $I_{bv} = 0,95 \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{L}$ , [m/km], **Z<sub>max</sub>** et **Z<sub>min</sub>** sont les altitudes du haut et du bas du canal

**A : superficie du bassin versant, [km<sup>2</sup>]**

**Q le débit de crue, [m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>]**

Dans l'étude, les données source pour les calculs sont obtenues au niveau du service de la météorologie et d'autres sont mesurées durant les descentes. Les données d'entrées sont donc :

c=0,3 (terrain végétal) ;

P<sub>24</sub>= 98,8 mm, année 1996

L<sub>2</sub>≈512 m pour le premier canal

L<sub>1</sub>≈ 1031m pour le deuxième canal

Z<sub>max 2</sub>=1372 m et Z<sub>min 2</sub>= 1200m pour le premier canal





$Z_{\max 1} = 1200\text{m}$  et  $Z_{\min 1} = 789\text{m}$  pour le deuxième canal

$b=0,288$ , cas général pour Madagascar selon l'étude du bureau d'étude B.C.E.O.M.

La donnée de sortie est :

$$Q_1 = 7,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } Q_2 = 2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

### b.2. Dimensionnement de chaque canal

La figure suivante montre la forme d'un canal. Il est à noter que les méthodes de dimensionnement des deux canaux sont semblables.

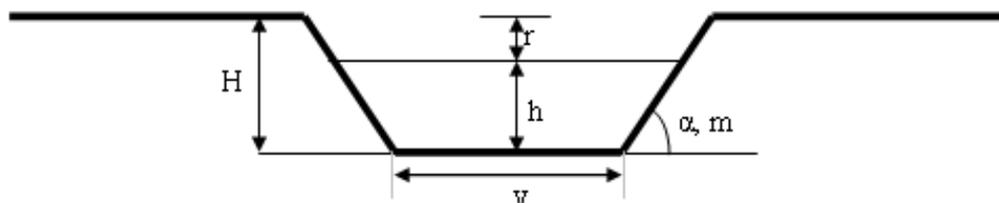


Figure 50: Vue latérale du canal

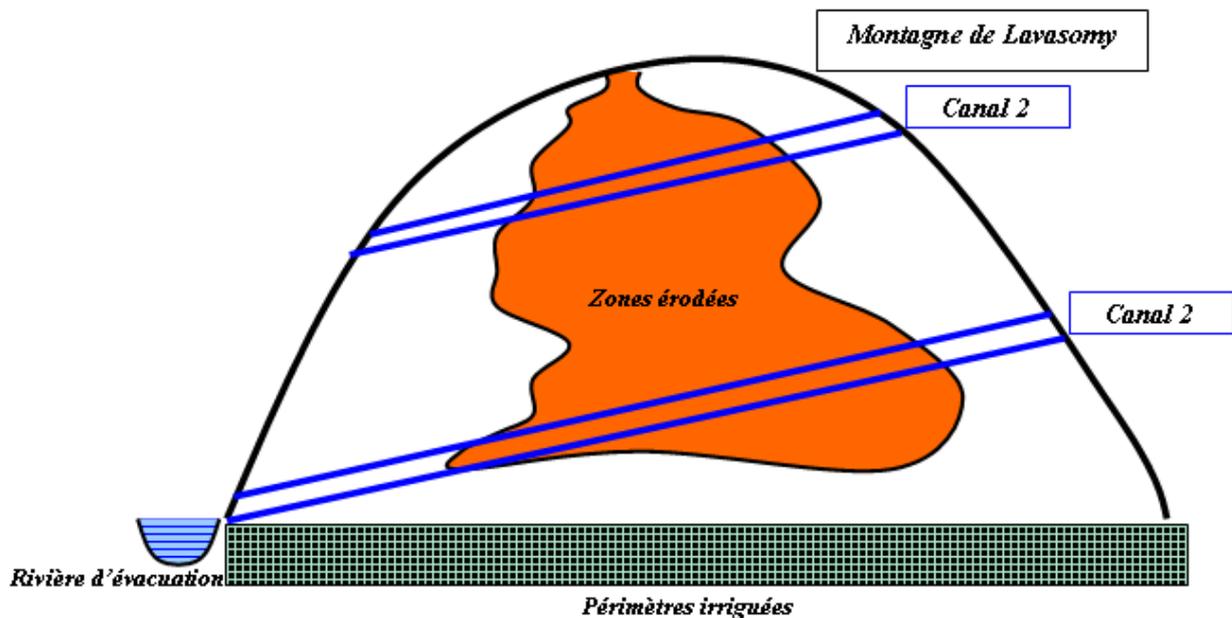


Figure 51: Vue transversale des canaux

Faire un dimensionnement de canal, c'est connaître la valeur de son hauteur  $h$  et la base  $v$ .



$m = \cotg \alpha$ ,  $[m/m]$  est appelé fruit du talus du canal, on prend la valeur de  $m=1/1$  en terre franche.

$r$ ,  $[m]$ , nommé la revanche du canal. La valeur de  $r$  doit approximativement égale à 20% de  $h$

Le dimensionnement des canaux se font par calage hydraulique à l'aide de la formule de MANNING STRICKLER.

$$Q = KS\sqrt[3]{R^2} \sqrt{I}$$

Où

**Q** le débit de crue ou débit nominal du canal,  $[m^3s^{-1}]$

**S** la section mouillée,  $[m^2]$ ,  $S = vh + mh^2$

**R** est appelé rayon hydraulique,  $[m]$ ,  $R = \frac{vh + mh^2}{v + 2h\sqrt{1+m^2}}$

**I** la pente du canal,  $[m/m]$ , on admet la valeur de **I** à **0,01/1** pour la norme de protection à l'érosion

**K** le coefficient de MANNING STRICKLER prend la valeur comprise entre 30 et 45 pour un canal en terre, on adoptera  $K=40$  dans la suite de l'étude.

### Méthode calcul

On fixe la valeur de  $v$  et on varie approximativement la valeur de  $h$ . Par exemple on fixe la valeur de  $v$  à 3,5m pour le canal 1 et 1m celle du canal 2.

Soit  $q = \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{|Q - Q_c|}{Q_c}$ ,  $[\%]$ , où  $Q_c$  la valeur du débit approximé,  $q$  doit inférieure à 5%

Pour avoir une valeur commune et vérifie la condition du profil économique, la valeur du rayon

hydraulique doit être  $R \approx \frac{h}{2}$

### Dimensionnement des deux canaux

$Q_1$	$v_1$	$h_1$	$v_1 h_1 + m h_1^2$	$v_1 + 2h_1(1+m)^{(1/2)}$	$R_1$	$Q_{c1}$	$q_1$
7.80	3,50	0,720	3,038	5,536	0,549	8,131	4,240
		0,721	3,048	5,539	0,549	8,150	4,487
		0,723	3,053	5,542	0,550	8,169	4,735
		0,724	3,058	5,545	0,551	8,189	4,983

**Tableau 11: Dimensionnement canal 1**



$Q_2$	$v_2$	$h_2$	$b_2h_2+mh_2^2$	$b_2+2h_2(1+m)^{(1/2)}$	$R_2$	$Q_{c2}$	$q_2$
2,4	1	0,655	1,084	2,852	0,380	2,268	5,511
		0,656	1,086	2,835	0,380	2,274	5,238
		0,657	1,089	2,858	0,381	2,281	4,964

**Tableau 12: Dimensionnement canal 2**

### Résultats

- Canal1 : Base  $v = 3,5m$  ; Hauteur  $H = h+r=h+(0,2h)=0,724+0,2*0,724=0,8688m$  soit **H=86,88cm** ; Largeur :  $l = (1\ 374^2*0,01^2)$  soit  **$l \approx 1\ 374.000m$**
- Canal2 : Base  $v=1m$  ; Hauteur  $H = h+r=h+(0,2h)=0,657+0,2*0,724=0,788m$  soit **H=78,80cm** ; Largeur :  $l = (405^2*0,01^2)$  soit  **$l \approx 405.000m$**
- Evacuation d'eau : à ces deux canaux, ils nécessitent un canal pour évacuation d'eau qui s'évacue du bord de la montagne

#### *b.3. Entretien des canaux*

Le bon fonctionnement du système de canalisation passe par la propreté et le bon état des sorties de canal. Une inspection s'impose au printemps, à l'automne et après de violents orages. La correction d'éventuels problèmes d'envasement, d'accumulation de débris, d'érosion, de tassement et de désalignement ne peut présenter aucun retard.

#### *b.4. Impacts négatifs*

Deux types d'impacts négatifs devraient ici être renseignés pour l'implantation du canal :

☞ **augmentation de la pression intergranulaire et tassement du sol** : La pression intergranulaire caractérise la pression qui agit aux points de contact entre les particules de sol. Plus  $P_i$  est élevée, plus le matériel se compacte.

☞ **affaissement des sols tourbeux** : deux causes majeures pour ce type d'impact:

- l'oxydation de la matière organique: transformation du carbone organique en  $CO_2$  entraînant la minéralisation accélérée.
- la rétraction : accroissement de la pression intergranulaire; en plus, accroissement de la succion et donc des contraintes capillaires.

## **9.2. EVALUATION DU PRIX DE REHABILITATION**

Dans ce paragraphe, on évalue une estimation de prix pour la réhabilitation du lavaka des deux variantes proposées dans le paragraphe précédent. Les paramètres mis en évidence dans le calcul sont : la surface érodée, les désignations quantité des travaux et les mains d'œuvres. La



surface érodée est approximativement donnée sous programme et le bouton de commande sous VBA donne la figure suivant.

Figure 52: Surfaces érodées dans la région de Soavina

➤ **Prix estimatif pour le type plantation**

DESIGNATION	Unité	QUANTITE	Prix Unitaires (Ar)	MONTANT (Ar)
Si plantation de mimosa	m <sup>2</sup>	250	140,0	35 000,0
Si plantation de vétiver	m <sup>2</sup>	250	1 120,0	280 000,0
Main d'œuvre			10,0	2 500,0

Tableau 13: Evaluation du prix de réhabilitation de la zone du Soavina

➤ **Prix estimatif pour le type canalisation**

DESIGNATION	Unité	QUANTITE	Prix Unitaires (Ar)	MONTANT (Ar)
Plantation (Vétiver) + Main d'œuvre	m <sup>2</sup>	35	1 120,0	39 550,0
Main d'œuvre / m <sup>3</sup> remblai				
Canal1	m <sup>3</sup>	4 178,0592	1 000,0	4 178 59,2
Canal2	m <sup>3</sup>	319,14	1 000,0	319 140,0

Tableau 14: Evaluation du prix de réhabilitation de la montagne de Lavasomy

Arrêté le présent devis à la somme de **Ar 814 049** si la plante utilisée dans la zone de Soavina est le Mimosa.

Arrêté le présent devis à la somme de **Ar 1 059 049** si la plante utilisée dans la zone de Soavina est le Vétiver.

On remarque que l'utilisation du Vétiver est plus chère que celle du Mimosa.



# CONCLUSION GENERALE

L'érosion réduit de plus en plus les terres cultivables à Madagascar. Le développement des lavaka est variable dans l'espace et dans le temps suite à la variabilité des paramètres physiques et naturels qui régissent l'accroissement des ravins. Dans ce présent mémoire, on a contribué d'étudier l'effet de l'extension du lavaka et de donner des recommandations sur le développement des lavaka dans le bassin d'Amoron'i Mania. Les cartes de détection du lavaka ont été établies à partir des canaux du landsat et traitées sous plusieurs applications du SIG et télédétection. Des descentes sur terrain nous ont permis de constater que la nature lithologique des différentes unités géologiques et superficielles identifiées comme relativement homogènes et la variation climatique dans la région sont des facteurs déterminants dans le développement des lavaka.

La détermination de la densité du ravinement a été faite par la numérisation des cartes du réseau hydrographique et géologique et par l'extraction à l'aide d'ERDAS, ArcView et d'ArcGis. Il ressort de cette quantification que la plus grande menace se trouve dans deux zones bien distinctes pour la région d'Amoron'i Mania. Les études hydrogéologiques de la région sont programmées sous Matlab. Les résultats sont ensuite transformés sous forme de bases de données utilisables dans ArcGis. VBA est un langage spécial pour l'application du SIG et la méthode prédictive est un modèle mathématique pour estimer un futur glissement de terrain. Matlab et VBA sont associés pour étudier la base de données concernant la zone d'étude.

Le SIG et la télédétection et les deux langages utilisés nous permettent d'établir une bonne décision pour la réhabilitation du lavaka et le coût estimatif de renouvellement. C'est ainsi qu'on a conçu que la plantation est la plus fiable pour rétablir une lavaka.

L'objectif de la mémoire est bien atteint. Il est possible d'améliorer ce mémoire car ce n'est qu'une contribution d'étude. Les solutions ainsi proposées sont pour le cas d'Amoron'i Mania seulement mais pour d'autres cas à Madagascar ou autre pays, il est possible d'en avoir d'autres selon la nature de la région.

**Rapport-Gratuit.com**

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] BESAIRIE Henri, « **Contribution à l'étude de l'érosion des sols à Madagascar** », Documentation du Bureau Géologique N° 46,1947
- [2] ERIC ROOSE et ZACHEE BOLI, « **Compte rendu du Colloque international à l'Homme et l'Erosion d'Organisé, réseau Cameroun**», Octobre 1991
- [3] M. ALDREGHERI, « **Projet de réhabilitation des petits périmètres irrigués. Ministère de la Production Agricole et de la Réforme Agraire, Antananarivo** », Décembre 1989
- [4] RABARIMANANA Mamy Harisoa, « **Analyse des facteurs de l'érosion en lavaka par télédétection et Système d'information Géographique: rôle du drainage le long des cours d'eau** », thèse de doctorat à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.
- [5] RABARIMANANA Mamy Herisoa, RAHARIJAONA Léa J., Jean CHOROWICZS « **Cartographie des lavaka par télédétection pour une meilleure gestion des espaces ruraux à Madagascar** », Août 1994.
- [6] RAKOTONDRAOMPIANA Solofo, RANDRIANARISON Tahina, COLLET C., RAKOTONIAINA Solofoarisoa, « **Analyse spatiale des propriétés physiques des zones d'érosion à l'aide de données géoréférencées, images de télédétection et données topographiques** », Août 1994.
- [7] RAMANARIVO Solofomampionona, « **Cours d'Hydrogéologie, Mines 3, E.S.P.A..** », Année Scolaire 2003/2004.
- [8] RASAMOELINA Naina, FABIEN Rémi Roger, « **Cours de Matlab, Mines 4, E.S.P.A.** », Année Scolaire 2004/2005.
- [9] RASOLOFONIAINA Jean Donné, « **Aménagement hydraulique agricole** », Juillet 2002.
- [10] RASOLOMANANA Eddy, RANDRIANJA Roger, RASAMOELINA Naina, « **Cours de Recherche Opérationnelle, Mines 5, E.S.P.A.** », Année Scolaire 2005/2006.

[11] ZAFILAHY Ying-Vah, « **Cours d'Elasticité-Plasticité, Mines 4, E.S.P.A.** », Année Scolaire 2004/2005.

[12] Programme Cadre de Développement Régional Amoron'i Mania, PCDR Amoron'i Mania, Août 2005.

[13] Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, « **Monographie de Madagascar** », Août 2003.

[14] <http://recherche.ign.fr/labos/cogit/telechargementCOGIT.php>.

[15] <http://www.esrifrance.fr>.

[16] <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f00.htm#Contents> alicia\_lyonelst.

[17] <http://www.forumsig.org>.

[18] <http://www.vbfrance.com/code.aspx>

# ANNEXES

*Rapport-gratuit.com*   
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

## Annexes I: VBA

### a. Types de développements utilisés en VBA

Développer dans la famille d'ArcObjects des applications ARCGIS tels que ArcMap, ArcCatalog...

Plusieurs types de développements sont possibles :

- Personnaliser l'environnement dans ArcMap ou ArcCatalog avec **VBA** (Visual Basic for Application), en développant des **macros** associés à un document ArcMap (\*.mxd) ou un modèle (\*.mxt).
- Créer des applications ou des contrôles, en développant en **VB, C++, Delphi...**, des DLL, des contrôles ActiveX ou des exécutables.
- Etendre le modèle ArcInfo grâce à Visio-UML et les outils CASE, avec les langages C++, Delphi ou tout autre langage supportant la technologie COM (Component Object Model).

**VBA** est aussi pour la personnalisation d'ArcGIS. Visual Basic for Application est à la fois un langage et un environnement de développement. C'est un langage interprété dont l'intérêt est d'être partagé également par d'autres applications (notamment bureautiques : Word, Access, Excel ...).

### b. Les codes utilisés

```
Dim pMxDoc As IMxDocument
Set pMxDoc = ThisDocument

'activation de l'interface IMxDocument et IDocument
TypeOf pMxDoc.ActiveView Is IMap

'Verification si la vue active est le mode données
Dim pLayer As ILayer
Set pLayer = pMxDoc.SelectedLayer

'Initialisation de pLayer avec la couche sélectionnée
pLayer Is Nothing

'Verifier si pLayer pointe sur rien
Dim pFLayer as IFeatureLayer
Set pFLayer = pMxDoc.FocusMap.Layer(0)

'Récupère la première couche de la focus map
Dim pFClass as IFeatureClass
```

```
Set pFClass = pFLayer.FeatureClass
```

**'Lecture de la classe d'entité associée à une couche**

```
Dim pFLayer As IFeatureLayer
```

```
Set pFLayer = pMxDoc.FocusMap.Layer(2)
```

```
Set pFClass = pFLayer.FeatureClass
```

**'Récupération d'une certaine colonne d'une couche dans une table et la classe d'entité associée**

```
Dim IField As Long
```

```
IField = pFClass.FindField("NOM_CHAMP")
```

**'Introduction d'un champ d'une table dans une carte active**

```
Dim pFeature As IFeature
```

```
Set pFeature = pFClass.GetFeature(4)
```

**'Introduction d'une entité les a affichées**

```
Dim pQueryFilter As IQueryFilter
```

```
Set pQueryFilter = New QueryFilter
```

**'Création d'un nouveau QueryFilter**

```
pQueryFilter.WhereClause = "SENS = 'Sens direct' ou SENS = 'Sens inverse'"
```

**'La propriété WhereClause permet de spécifier le critère**

```
Dim pFeatureSelection As IFeatureSelection
```

```
'QI entre IFeatureLayer et IFeatureSelection
```

```
Set pFeatureSelection = pFLayer
```

```
pFeatureSelection.SelectFeatures pQueryFilter _ esriSelectionResultNew, False
```

**'Execution de la requête sur la couche pFeatureSelection**

```
pMxDoc.ActiveView.Refresh 'Rafraichissement de la vue
```

```
Dim pTable As ITable
```

```
Set pTable = pFLayer
```

**'Création d'un nouveau TableHistogram**

```
Dim pTH As ITableHistogram
```

```
Set pTH = New TableHistogram
```

**'Pointer sur une donnée d'un champ pTH sur la table étudiée et sur le champ**

```
Set pTH.Table = pTable, pHist As IHistogram
```

```
pTH.Field = "TABLE"
```

```
Set pHist = pTH
```

**'On lit les valeurs et fréquences pour le champs "TABLE"**

## *Annexe II : Modèle prédictif*

### *1. Historique*

**1972:** Agterberg, F.P. et al., Prediction models for locating undiscovered copper deposits.

**1977-1980:** Chung C.F.,

Développement du SIMSAG (système graphique interactif), Terminal CDC 6400 + Tektronix 4014, nombre maximum de pixels : 100 x 100 (en pratique)

**1990:** Agterberg, F.P. and Bonham-Carter G.F. (eds.), GSC paper 89-9, Statistical Applications in the Earth Sciences

**1992 - 1997:** Spatial Data Analysis Laboratory. Développement du Système d'intégration de données spatiales SGI, Windows NT/95/98/3.1, nombre maximum de pixels : 4000 x 4000

### *2. Les cadres mathématiques*

#### **Théorie des probabilités**

##### ☛ **Probabilité conditionnelle conjointe**

Mesure de la "sûreté" de la proposition  $T_p$ : (p sera touché par un futur glissement de terrain de type **D**), en supposant que les facteurs causaux sont vrais, donne les **m** facteurs causes ( $v_k(p)=1 \dots m$ ) et sont assumés pour joindre la probabilité conditionnelle en p, constituent la fonction de probabilité conditionnelle conjointe  $f(F_p|c_1, c_2, \dots, c_m) = \mathbf{Prob}(F_p|c_1, c_2, \dots, c_m)$  représente le risque en p, en tenant compte de l'information au niveau du pixel pour  $p:(c_1, c_2, \dots, c_m)$

**F**: la superficie inconnue qui sera touchée par de futurs glissements de terrain

**Θ**: l'ensemble des pixels pour lesquels les valeurs sont  $(c_1, c_2, \dots, c_m)$

**Probabilité à priori** : représentant le risque en p si aucune information au niveau du pixel n'est disponible en p

où **A** représente l'ensemble de la région d'étude.

Le pixel p présente un risque :  $\mathbf{Prob}\{F_p|c_1, c_2, \dots, c_m\} \gg \mathbf{Prob}\{F_p\}$

Le pixel p ne présente aucun risque :  $\mathbf{Prob}\{F_p|c_1, c_2, \dots, c_m\} \ll \mathbf{Prob}\{F_p\}$

##### ☛ **Le rapport des vraisemblances**

Le rapport des vraisemblances en pest défini comme suit :

$$\lambda = \frac{\mathbf{Prob}\{c_1, c_2, \dots, c_m|F_p\}}{\mathbf{Prob}\{c_1, c_2, \dots, c_m|\text{not}F_p\}} = \frac{1 - \mathbf{Prob}\{F_p\}}{\mathbf{Prob}\{F_p\} - \mathbf{Prob}\{F_p|c_1, c_2, \dots, c_m\}}$$

### ☛ **Monotone functions of the likelihood ratio function**

- La fonction de pondération de l'information probante : *model par Peirce (1878) et Good (1950, 1960,1976)*

$$\mathbf{WoE}\{\mathbf{F}_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} = \log_e\lambda$$

- La fonction du facteur de certitude : *model par Shortliffe and Buchanan (1975:MYCIN), Heckerman (1986), Pearl(1988) et Chung and Fabbri (1990)*

$$\mathbf{CF}\{\mathbf{F}_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} = \lambda - 1 / \lambda - 1$$

- Comparaison des fonctions en deux pixels :

Soit  $(c_1, c_2, \dots, c_m)$  les  $m$  valeurs de pixel en p

Soit  $(c_1, c_2, \dots, c_m)$  les  $m$  valeurs de pixel en q

If  $\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p\} \leq \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_q\}$  Then  $\lambda(p) \leq \lambda(q)$

Le "risque" relatif pour les pixels est le même quelles que soient les mesures utilisées pour l'étude.

### 3. Estimation directe

$S_p$ : " $p$  a par le passé été touché par un glissement de terrain d'un type donné"

$\mathbf{Prob}\{S_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} = \text{taille de } S_p / \text{taille de } \Theta$

$\mathbf{Prob}\{S_p\} = \text{taille de } S_p / \text{taille de } A$

où  $S$  représente les zones touchées par des glissements passés.

$\mathbf{Prob}(F_p|c_1,c_2,\dots,c_m) = \mathbf{Prob}(S_p|c_1,c_2,\dots,c_m)$

$\lambda_D = \mathbf{Prob}\{c_1,c_2,\dots,c_m|S_p\} / \mathbf{Prob}\{c_1,c_2,\dots,c_m|\text{not}S_p\} = 1 - \mathbf{Prob}\{S_p\} / \mathbf{Prob}\{S_p\} *$

$\mathbf{Prob}\{S_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} / 1 - \mathbf{Prob}\{S_p|c_1,c_2,\dots,c_m\}$

$\mathbf{CF}_D\{F_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} = \lambda - 1 / \lambda - 1$

$\mathbf{WoE}_D\{F_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} = \log_e\lambda$

L'ordre est conservé. Les estimateurs sont simples à calculer et n'exigent aucune hypothèse mathématique. Ils aboutissent à un échec lamentable comme agents de prédiction en l'occurrence de futurs glissements. Ils ne devraient être calculés qu'à titre de repères pour le rendement des données spatiales utilisées comme facteurs causaux des glissements.

### 4. Estimation bayésienne

$\mathbf{Prob}\{F_p|c_1,c_2,\dots,c_m\} = \mathbf{Prob}\{F_p\} \mathbf{Prob}\{c_1,c_2,\dots,c_m|F_p\} / \mathbf{Prob}\{c_1,c_2,\dots,c_m\}$

Hypothèse de l'indépendance conditionnelle pour une  $F_p$  donnée

$$\mathbf{Prob}\{c_1, c_2, \dots, c_m | \mathbf{F}_p\} = \mathbf{Prob}\{c_1 | \mathbf{F}_p\} \mathbf{Prob}\{c_2 | \mathbf{F}_p\} \dots \mathbf{Prob}\{c_m | \mathbf{F}_p\}$$

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_1, c_2, \dots, c_m\} = (\mathbf{Prob}\{c_1 | \mathbf{F}_p\} \dots \mathbf{Prob}\{c_m | \mathbf{F}_p\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_1, c_2, \dots, c_m\})$$

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}\} (\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_1\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}\}) \dots (\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_m\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}\})$$

$$\mathbf{Prob}\{c_1, c_2, \dots, c_m\} = \text{taille de } \Theta / \text{taille de } \mathbf{A},$$

$$\mathbf{Prob}\{c_k\} = \text{taille de } \mathbf{A}_{kck} / \text{taille de } \mathbf{A},$$

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_k\} = \text{taille de } \mathbf{F} \cap \text{taille de } \mathbf{A}_{kck} / \text{taille de } \mathbf{A},$$

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p | c_k\} = \text{taille de } \mathbf{S} \cap \text{taille de } \mathbf{A}_{kck} / \text{taille de } \mathbf{A},$$

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p\} = \text{taille de } \mathbf{S} / \text{taille de } \mathbf{A}$$

Estimation bayésienne en chacun des pixels p:

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_1, c_2, \dots, c_m\} = (\mathbf{Prob}\{c_1 | \mathbf{S}_p\} \dots \mathbf{Prob}\{c_m | \mathbf{S}_p\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p | c_1, c_2, \dots, c_m\})$$

$$\mathbf{Prob}\{\mathbf{S}\} (\mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p | c_1\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p\}) \dots (\mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p | c_m\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p\})$$

Le rapport des vraisemblances devient :

$$\lambda = \lambda_1 \dots \lambda_m$$

$$\lambda_1 = \mathbf{Prob}\{c_1 | \mathbf{F}_p\} / \mathbf{Prob}\{c_1 | \text{not } \mathbf{F}_p\}$$

$$= \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_1\} (1 - \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p\}) (1 - \mathbf{Prob}\{\mathbf{F}_p | c_1\})$$

$$\lambda' = \lambda'_1 \dots \lambda'_m$$

$$\lambda'_k = \mathbf{Prob}\{c_k | \mathbf{S}_p\} / \mathbf{Prob}\{c_k | \text{not } \mathbf{S}_p\}$$

$$= \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p | c_k\} (1 - \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p\} / \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p\}) (1 - \mathbf{Prob}\{\mathbf{S}_p | c_k\})$$

$$\mathbf{CF}_2 = \{\mathbf{F}_p | c_1, c_2, \dots, c_m\} = (\lambda' - 1) / (\lambda' + 1)$$

$$\mathbf{WOE}_2 = \{\mathbf{F}_p | c_1, c_2, \dots, c_m\} = \log_e \lambda'$$

L'avantage de cet estimateur est qu'il ne dépend que des probabilités conditionnelles à deux variables en l'occurrence de glissements de terrain passés pour des valeurs de pixel données en chaque couche séparément. Le prix à payer pour cet avantage est cependant l'hypothèse de l'indépendance conditionnelle

## Annexe III : Matlab 7.0

### 1. Historique

MATLAB est une abréviation de *Matrix LABORatory*. Écrit à l'origine, en Fortran, par C. Moler.

IL était destiné à faciliter l'accès au logiciel matriciel développé dans les projets

C'est un environnement puissant, complet et facile à utiliser, destiné au calcul scientifique. Il apporte aux ingénieurs, chercheurs et à tout scientifique, un système interactif intégrant calcul numérique et visualisation. C'est un environnement performant, ouvert et programmable qui permet de remarquables gains de productivité et de créativité.

MATLAB possède son propre langage, intuitif et naturel, qui permet des gains de temps de CPU spectaculaires par rapport à des langages comme le C, le TurboPascal et le Fortran. Avec MATLAB, on peut faire des liaisons de façon dynamique à des programmes C ou Fortran, échanger des données avec d'autres applications (via la DDE : MATLAB serveur ou client) ou utiliser MATLAB comme moteur d'analyse et de visualisation.

Pour l'interface graphique, des représentations scientifiques et même artistiques des objets peuvent être créées sur l'écran en utilisant les expressions mathématiques. Les graphiques sur MATLAB sont simples et attirent l'attention des utilisateurs, vu les possibilités importantes offertes par ce logiciel.

### 2. Démarrage de MATLAB

Pour lancer l'exécution de MATLAB :

- sous Windows, il faut cliquer sur Démarrage, ensuite Programme, ensuite MATLAB,
- sous d'autres systèmes, se référer au manuel d'installation.

L'invite '>>' de MATLAB doit alors apparaître, à la suite duquel on entrera les commandes. La commande "*help*" permet de donner l'aide sur un problème donné.

### 3. Les Commandes utilisées

```
global % pour déclarer globalement des variables
conn=database('nom_base OCDB',''); %Connexion à la base
requete='SELECT nom_champ FROM donnée_champ WHERE champ=valeur';%Requête
SQL
 curseur = exec(conn,requete); %Déroulement sur la liste
 setdbprefs('DataReturnFormat','cellarray')
 curseur = fetch(curseur); %Accéder dans la valeur du table et pouvant les modifier
 fonction pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles) % Fonction pour créer un
 bouton.
```

# Table des matières

## REMERCIEMENTS

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

## SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Partie I : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES.....	4
Chap1. QUELQUES DEFINITIONS.....	5
1.1. L'EROSION.....	5
1.2. LE LAVAKA.....	6
1.3. LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.....	6
1.4. LA TELEDETECTION.....	6
1.5. LA BASE DE DONNEES :.....	6
1.6. LE SYSTEME DE GESTION DE BASE DE DONNEES.....	7
1.7. MODELE PREDITIF.....	7
Chap2. GENERALITES SUR L'EROSION.....	8
2.1. LE MECANISME.....	8
2.2. LA MANIFESTATION.....	8
2.2.1. L'attaque du sol.....	9
2.2.2. Le ruissellement.....	9
2.3. LES DIFFERENTS TYPES D'EROSIONS.....	11
2.3.1. L'érosion lente.....	12
2.3.2. L'érosion rapide.....	12
2.4. LES CAUSES ET CONSEQUENCES DE L'EROSION.....	13
2.4.1. Les causes.....	13
2.4.2. Les conséquences.....	14
2.5. L'EROSION A MADAGASCAR.....	14
2.5.1. Les phénomènes d'érosions accélérées : les lavaka.....	15
2.5.2. Dimensions du lavaka.....	16
2.5.3. Genèse et croissance du lavaka.....	16
2.5.4. Arrêt et croissance de lavaka.....	16
2.6. CONCLUSION.....	17
Chap3. GENERALITES SUR LE SIG ET LA TELEDETECTION.....	18
3.1. LES SIG.....	18
3.1.1. Objectifs et fonctionnalités du SIG.....	18
3.1.2. Les données utilisées en SIG.....	20
3.1.3. Importance du SIG.....	22
3.1.4. Domaines d'applications du SIG.....	23
3.1.5. Les logiciels utilisés en SIG.....	24
3.2. LA TELEDETECTION.....	25
3.2.1. Objectifs et fonctionnalités de la télédétection.....	25
3.2.2. Données utilisées.....	27
3.2.3. Importance.....	27

3.2.4. Domaines d'applications .....	28
3.2.5. Logiciels utilisés .....	30
3.3. LE SIG ET TELEDECTION 3D.....	30
3.3.1. Importances .....	30
3.3.2. Fonctionnalités .....	31
3.4. CONCLUSION .....	31
<i>Partie II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE .....</i>	<i>33</i>
Chap4. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	34
4.1. LOCALISATION DE LA ZONE .....	34
4.2. TYPOLOGIE SOUS-REGIONALE .....	36
4.3. MILIEU PHYSIQUE .....	36
4.3.1. Relief et paysage .....	36
4.3.2. Géologie .....	36
4.3.3. Climat .....	37
4.3.4. Hydrologie.....	40
4.3.5. Sols et végétations .....	41
4.4. MILIEU HUMAIN ET SOCIAL .....	43
4.4.1. Population et démographie .....	43
4.4.2. Mouvements migratoires .....	43
4.4.3. Services sociaux .....	44
4.5. ENVIRONNEMENT .....	45
4.5.1. Etat de l'environnement .....	45
4.5.2. Problèmes rencontrés .....	46
4.6. RESSOURCES MINIERES.....	46
4.6.1. Principales ressources du sous-sol dans la région .....	46
4.6.2. Exploitation et collecte des produits du sous-sol.....	47
4.7. CONTRAINTES ET IMPORTANCES DE LA ZONE .....	48
4.7.1. Contraintes.....	48
4.7.2. Importances .....	48
4.8. CONCLUSION .....	49
Chap5. PRESENTATION DU PROBLEME D'EROSION DANS LA ZONE D'ETUDE .....	50
5.1. PROBLEMATIQUES .....	50
5.2. L'EROSION DES SOLS : ORIGINES ET DIAGNOSTICS .....	51
5.2.1. Origines .....	51
5.2.2. Diagnostics .....	52
5.3. LES RISQUES : PROCESSUS ET DEGATS, IMPACT EN MILIEU AGRICOLE.....	53
5.4. LES ACTIONS D'AMELIORATIONS ENGAGEES .....	55
5.5. CONCLUSION .....	56
Chap6. LES PRINCIPALES CAUSES DU LAVAKA ET ETUDE HYDROGEOLOGIQUE .	57
6.1. ANALYSE DE LA CAUSE DU LAVAKA .....	57
6.1.1. Les eaux souterraines et de surfaces.....	57
6.1.2. Le glissement de terrain.....	57
6.1.3. Causes à retenir .....	59
6.2. ETUDES HYDROGEOLOGIQUES .....	60
6.2.1. Etudes hydrauliques .....	60
6.2.2. Etudes géologiques.....	63

<i>Partie III : UTILISATION DU SIG ET TELEDETECTION POUR LA RESOLUTION DU PROBLEME...</i>	63
Chap7. METHODOLOGIE DE RESOLUTION .....	66
7.1. RECONNAISSANCE ET CHOIX DE LA REGION A ETUDIER.....	68
7.2. RECHERCHE DES DONNEES ET INTEGRATION DE CES DONNEES SOUS LE SIG ET TELEDETECTION.....	68
7.2.1. Source de données .....	68
7.2.2. Choix du logiciel .....	68
7.2.3. Intégration des données pour l'étude hydrogéologique.....	69
7.2.4. Intégration des données sur les logiciels SIG et télédétection.....	73
7.3. VERIFICATION.....	74
7.4. APPLICATION DE LA SIG ET TELEDETECTION.....	74
7.5. DECISION FINALE.....	74
Chap8. APPLICATION ET RESOLUTION GRAPHIQUE .....	75
8.1. LE LOGICIEL UTILISE.....	75
8.1.1. Présentation d'ArcGis 9.1 .....	75
8.1.2. Fonctions et applications .....	76
8.1.3. Introduction du langage VBA .....	77
8.2. RESOLUTION.....	78
8.2.1. Extraction de l'image brute couvrant la région .....	79
8.2.2. Etapes de corrections.....	80
8.2.3. Intégration du troisième axe Z.....	81
8.2.4. Intégration des données pluviométrique et géologique .....	83
8.2.5. Résolution proprement dite en utilisant VBA .....	85
8.3. DECISIONS AINSI OBTENUES.....	87
Chap9. SOLUTIONS PROPOSEES ET EVALUATION DU PRIX DE REHABILITATION. 88	
9.1. LES SOLUTIONS PROPOSEES .....	88
9.1.1. Les recommandations.....	89
9.2. EVALUATION DU PRIX DE REHABILITATION .....	96
CONCLUSION GENERALE.....	99

## BIBLIOGRAPHIE

## ANNEXES

Table des matières

**Nom :** RAKOTONIRINA

**Prénom :** Mamy Nantenaina Pierrot

Lot Ex-COZEB Avaradrova AMBOHIMAHASOA (305) MADAGASCAR

**Tel.** +261 032 42 066 87, +261 033 07 988 44

**e-mail :** [mam\\_rakotonirina@yahoo.fr](mailto:mam_rakotonirina@yahoo.fr)

**Titre :** « CONTRIBUTION A L'ETUDE DU PROBLEME D'EROSION, CAS DU LAVAKA, EN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET TELEDETECTION DANS LA REGION D'AMORON'I MANIA. APPLICATION DU VBA ET MATLAB POUR LA RESOLUTION »

**Nombre de pages :** 100

**Nombre de tableaux :** 14

**Nombre de figures :** 52

### Résumé

*Ce mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de Mines a pour but de contribuer à l'étude de tous problèmes environnementaux, cas du lavaka, afin de déterminer les impacts d'érosion sur la vie humaine. L'étude a été traitée sous le SIG et la télédétection et les théories ont été programmées sous MATLAB et VBA.*

*Dans cet ouvrage, les causes à retenir pour l'événement de l'érosion sont bien notées. Ces causes sont reliées au climat via pluviométrie maximale ainsi qu'aux couvertures végétales et à la nature géologique de la région étudiée. On a donné des techniques de préventions contre l'érosion ainsi que de la stabilisation des lavaka situés dans deux zones menacées. La décision prise pour la résolution et l'évaluation du prix de réhabilitation est toute conçue à partir de l'association {ArcGis et les programmes effectués}. En tant que contribution, ce mémoire pouvant être amélioré.*

**Mots clés :** érosion, lavaka, SIG, télédétection, base de données, environnement, hydrogéologie.

### Abstract.

*This dissertation aims to solve all environmental problems, especially the « lavaka ». We determine the impacts of erosion. The survey has been treated with the GIS and the remote detection and the theories have been programmed with MATLAB and VBA.*

*The main origin of the erosion event is the climate via the maximal rain as well as the plant covers and the geology of the region. The prevention against the erosion and the stabilization technique of the lavaka in the threatened two zones were opted. The association {ArcGis and the programmes} has permitted to choose the planning of resolution and to calculate the rehabilitation price. As this work is contribution, it can be improved for the future.*

**Keys words:** erosion, lavaka, GIS, remote detection, data base, environment, hydrogeology.

### Directeurs de mémoire :

- Monsieur RANAIVOSON Léon Félix

- Monsieur RASOLOFOARIMANANA René