



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT MINES



-----000-----

Mémoire pour l'obtention de Diplôme d'Etudes Approfondies

Option : **GENIE MINERAL**

**ANALYSE SPATIALE PAR METHODES
MULTICRITERES ET SIG DE DONNEES
ENVIRONNEMENTALES MULTIDATES AUTOUR DU
LAC KINKONY, REGION BOINA**

par

ANDRIFALIANA Nampionona

Soutenu le 09 Octobre 2009 devant les membres de jury :

Membre du jury :

Président : Pr RANDRIANJA Roger, Chef de Département Mines à l'ESPA

Rapporteur : Pr RASOLOMANANA Eddy, Enseignant- Chercheur à l'ESPA

Examineurs : Pr RAMBOLAMANANA Gérard, Enseignant- Chercheur à la Faculté
des Sciences et l'IOGA

Pr RAZAFINDRAKOTO Marie Antoinette, Enseignant-
Chercheur à l'ESSA

Dr ROBISON Laurent, Chef de Département au CNRE

Date de soutenance : 09 Octobre 2009

REMERCIEMENTS

Premièrement, je remercie Dieu Tout Puissant, car sans sa bénédiction ce présent mémoire n'a pas pu voir le jour.

Ce mémoire est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes. Je voudrais exprimer ma profonde gratitude envers :

- Monsieur RAMANANTSIZEHENA Pascal, Professeur titulaire, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) de m'avoir accueilli comme étudiant chercheur au sein de son établissement et m'avoir autorisé à soutenir ce mémoire ;
- Monsieur RANDRIANJA Roger, Professeur, Chef de Département Mines à l'ESPA,, qui a accepté d'être le Président de jury de ce mémoire ;
- Monsieur RASOLOMANANA Eddy H., Professeur à l'ESPA, rapporteur de ce mémoire qui m'a partagé ses expériences et n'a pas hésité à me diriger dans mes travaux ;
- Monsieur RAMBOLAMANANA Gérard., Professeur à la faculté des Sciences et à l'IOGA, qui a accepté d'être un des examinateurs de ce mémoire ;
- Madame RAZAFINDRAKOTO Marie A., Professeur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, qui a accepté également d'être un des examinateurs de ce mémoire ;
- Monsieur ROBISON Laurent, Docteur et Chef de Département au CNRE, qui a accepté aussi d'être un des examinateurs de ce mémoire ;
- Tous les enseignants qui nous ont prodigué leurs connaissances durant la formation à l'ESPA.
- Tous les responsables des services et/ou organismes qui nous ont fourni des données et des compléments d'informations relatifs à ce sujet (ONE, MEM, CI, FTM,...)
- Tous mes collègues de promotion pour leur aide, leur générosité et leur encouragement dans la réalisation de ce travail

Je voudrais aussi remercier ma famille pour leur précieux soutien et encouragement tout au long de mes études, surtout mes parents. Et enfin, tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, je vous prie de croire à mes sincères sentiments de remerciements et de profonde gratitude.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

REMERCIEMENTS	ii
Annexe 2 : les outils disponibles.....	v
Annexe3 : MNT et données SRTM.....	v
Annexe4 : modèle des indices en ErdasImagine	v
Annexe5 : Paramètre de projection	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
1 Informations Socio-Economiques et Culturelles.....	2
1.1 Généralités.....	2
1.11 Localisation administrative	2
1.12 Le milieu physique	2
1.2 Informations démographiques.....	5
1.21 Composition et structure de la population.....	5
1.22 Organisation sociale	5
1.23 Mouvement migratoire et occupation de l'espace.....	5
1.3 Informations Socio-Culturelles	6
1.31 Education.....	6
1.32 Santé.....	6
1.331 Route et communication.....	6
1.34 Informations	6
1.35 Culture et croyances	7
1.36 Sécurité.....	7
1.37 Problèmes sociaux.....	7
1.4 Système de production	8
1.41 Agriculture	8
1.42 Elevage	9
1.43 Artisanat	9
1.44 La pêche.....	9
2 Acquisition des données.....	10
2.1 Principes physiques de la télédétection.....	10
2.11 Notion de rayonnement et spectre électromagnétique	10
2.12 Les satellites	12
2.121 Caractéristiques d'un satellite : l'orbite et sa fauchée1	12
2.122 Les capteurs utilisés	15
2.1.3 Les différents types de satellites.....	16
2.131 Landsat	17
2.132 Spot.....	17
2.1.3.3 Ikonos	18
2.1.3.4 Eros.....	18

2.135 QuickBird	19
2.14 Les capteurs multi bandes aéroportés.....	19
2.15 Les signatures spectrales	21
2.16 Les indices	22
2.161 Indices de végétation normalisés.....	22
2.162 Indice de brillance	23
2.163 Indice normalisé d'humidité.....	23
2.2 Traitement numérique des images.....	23
2.21 Prétraitement	24
2.211 Corrections radiométriques	24
2.212 Corrections géométriques.....	24
2.23 Filtrage spatial	25
2.231 Filtre passe-bas (lissage)	25
2.232 Filtre passe-haut (accentuation).....	25
2.233 Filtre passe-bande (différentiation)	25
2.234 Filtre directionnel	25
2.24 Transformations d'images.....	26
2.25 Composition colorée	26
2.3 Classification.....	26
2.31 Définition des Classes spectrales	26
2.32 Notion de la classification	27
2.321 Classification non supervisée (ou non dirigée)	28
2.322 Classification supervisée	28
2.323 Validation de la classification	29
2.3231 Les modes d'échantillonnage des sites de vérification	29
2.3232 L'estimateur Kappa	30
2.4 Analyse par composantes principales	30
3 traitement des données satellitaires autour du lac Kinkony	31
3.1 Méthode de classification d'occupation du sol	31
3.11 Signature spectral d'image Landsat	33
3.12 Occupation du sol.....	35
3.13 Validation de la classification	38
3.2 Evolution de la superficie Lac Kinkony entre 1949 et 2005	42
3.2.1 Histogramme de variation de la superficie entre 1949 et 2005	42
3.3 Composition coloré d'image en couleur naturel bande TM 321	43
3.4 Indice de végétation NDVI et indice de Brillance autour du Lac	46
3.6 Modélisation de la simulation de la carte de risque d'érosion	48
3.6.1 Carte de friabilité.....	49
3.6.2 carte des pentes.....	50
3.6.4 Carte d'indice de brillance	53
3.6.5 Carte de risque d'érosion autour du Lac Kinkony	54
CONCLUSION	56
BIBLIOGRAPHIE	57

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS

ESPA : Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo
ESSA : Ecole Supérieur des Sciences Agronomiques
CNRE : Centre National de Recherches sur l'Environnement
ONE : Office Nationale d'Environnement
CI : Conservation Internationale
FTM : Foibe Taontsaritanin'i Madagasikara
IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Ambohidepona
MNT : Modèle Numérique de terrain
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
TM: Thematic Mapper
MSS: Multi Spectral Scanner
ETM: Enhanced Thematic Mapper
EROS: Earth Resources Observation Systems
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
INH : Indice normalisé d'humidité
IB : Indice de brillance
PRI: Proche Infrarouge
MRI: Moyen Infrarouge

LISTE DES ANNEXES

Annexe1 : Grille landsat
Annexe 2 : les outils disponibles
Annexe3 : MNT et données SRTM
Annexe4 : modèle des indices en ErdasImagine
Annexe5 : Paramètre de projection

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source carte topo 100 FTM)	4
Figure 2 : Absorption, réflexion et transmission (Bonn et Rochon,1993)	10
Figure 3 : Le spectre électromagnétique (source : MC & CM GIRARD 1989)	11
Figure 4 : Orbite géostationnaire.....	12
Figure 5 : Orbite quasi-polaire	13
Figure 6 : Passe montante et passe descente	13
Figure 7 : La fauchée d'un satellite	14
Figure 8 : Les capteurs en télédétection	15
Figure 9 : Signatures spectrales de végétations arborées	22
Figure 10 : les classes spectrales	27
Figure 11 : Classification d'image	27
Figure 12 : classification supervisé	29
Figure 13 : exemple de matrice de confusion	30
Figure 14: Synoptique du traitement d'images	32
Figure 15 : Signature spectrale d'occupation de sol.....	34
Figure 16 : Occupation du sol 1989	35
Figure 17 : Occupation du sol 2003	35
Figure 18 : Occupation du sol 2005	36
Figure 19 : Evolution forestière Madagascar 2005	36
Figure 20 : Histogramme de la variation de la superficie du Lac Kinkony	42
Figure 21 : Couleurs naturelles – Landsat 5 TM Band 321- 1989	43
Figure 22: couleurs naturels – Landsat5 TM Band 321- 2000.....	44
Figure 23 : couleurs naturels – Landsat5 TM Band 321- 2003.....	45
Figure 24 : couleurs naturels – Landsat5 TM Band 321- 2005.....	45
Figure 25 : indice de végétation Lac Kinkony.	46
Figure 26 : Indice de brillance année 2000	47
Figure 27 : Indice de brillance année 2005	47
Figure 28 : carte géologie du lac Kinkony en format GRID	50
Figure 29 : carte de pente	51
Figure 30 : Indice de végétation.....	52
Figure 31 : Indice de brillance.....	53
Figure 30 : Carte du potentiel d'érosion. Erosion potential map.	54
Figure 31 : diagramme de pixel.....	54
Figure 32 : Carte du potentiel d'érosion classifiées.	55
Figure 33 : grille d'image landsat à Madagascar	60
Figure 34: carte des données STRM du delta de Mahavavy Kinkony (Shuttle Radar Topography Mission)	63
Figure 35 : MNT au format GRID	63
Figure 36 : MNT au format vectoriel : le TIN	65
Figure 37: courbe de niveau équidistance de 10m	66
Figure 38 : carte de pente de la modèle MNT.....	66
Figure 39: la carte d'Exposition	67
Figure 40: La carte d'ombrage avec l'azimut fixé à 315° et l'altitude à 45°	68
Figure 41: Indice de végétation Normalisé	69
Figure 42: Indice de brillance.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeur du spectre électromagnétique	11
Tableau 2 : Caractéristiques techniques des capteurs satellitaires et aéroportés	20
Tableau 3 : Liste d'occupation du sol autour de Lac Kinkony	32
Tableau 4 : Evolution des couvertures forestières en 1990, 2000 et 2005.....	37
Tableau 5 : Matrice de confusion 1989	39
Tableau 6 : Matrice de confusion 2003	40
Tableau 7 : Matrice de confusion 2005	41
Tableau 8 : évolution de la superficie du Lac Kinkony	42
Tableau 9 : Classes de la friabilité des matériaux et indices attribués.	49
Tableau 10 : Classes des pentes et indices attribués. Slope classes and corresponding indices.	51
Tableau 11 : vulnérabilité d'indice de végétation.	52
Tableau 12 : vulnérabilité d'indice de brillance.....	53
Tableau 13 : paramètre de projection	71

INTRODUCTION

Le complexe de zone humide Mahavavy-Kinkony est inclus dans les Districts de Mitsinjo et de Namakia, ex-Province de Mahajanga. Ses coordonnées géographiques tournent autour de 45°56' à 45°28' de longitude Est et de 15°46' à 16°12' de latitude Sud, avec une altitude allant de 0 à 50m pour une superficie totale de 258 900 ha, il fait partie du biome de l'Ouest malgache.

Le Lac Kinkony est le deuxième lac de Madagascar après le Lac Alaotra. C'est un lac de barrage naturel, piégés par de vastes éboulis et alluvions. Il est situé sur le centre de la zone humide du delta Mahavavy-Kinkony. Ce lac prend un rôle important sur l'écosystème et la conservation de la zone humide et surtout aux besoins des populations locales. C'est un site important pour les oiseaux migrateurs et pour quelques espèces de poissons endémiques.

Cette étude a permis de présenter les données biophysiques multidates (composition colorée d'image satellite Landsat, MNT, classification d'image...) et d'analyser la dynamique du milieu depuis 1990 à ce jour. La méthodologie mise en œuvre pour la réalisation de cette étude repose sur :

- Une documentation et une collecte des données
- Un traitement des images satellites Landsat disponibles
- Une étude du risque d'érosion
- Une analyse et une interprétation des résultats obtenus

Cette étude est alors divisée en quatre parties :

- la première partie est consacrée sur les contextes de la zone humide delta Mahavavy
- la deuxième partie décrit la méthodologie
- la troisième partie concerne traitement d'image et interprétation
- et enfin, discussion et conclusion

PARTIE I
GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE

1 Informations Socio-Economiques et Culturelles

1.1 Généralités

1.1.1 Localisation administrative

Le Lac Kinkony est situé au Nord-Ouest de Madagascar dans le District de Mitsinjo. La zone d'intervention est composée de plusieurs Fokontany contournant le lac :

- Manisakomby sur la rive Est, Commune d' Antseza
- Marofandroboka, Commune de Mitsinjo
- Antongomena Betsina et Analalava à l'extrême Ouest, Commune de Mitsinjo

La partie Sud-Est du lac dispose du statut de Réserve de chasse, établi par Arrêté n°0126 SEHAEF/DIR/FOR du 13 Janvier 1972.

1.1.2 Le milieu physique

La région du Lac Kinkony a un relief faible dont le pourtour a une altitude variant de 8 à 50m. La rive Nord du lac, à l'Ouest de Marofandroboka est dominée par un plateau calcaire, le Sud est formé par un plateau gréseux. Les rives Est et Ouest ont un relief très faible et bordé de petits marais et de rizières en de nombreux endroits. Le sol est du type sablo-argileux

Le fleuve Mahavavy alimente toute la région du Lac Kinkony de façon permanente. Des petits lacs temporaires se forment lors des périodes de crue.

Le climat est de type tropical sub-humide chaude avec une saison sèche d'avril à novembre et une saison pluvieuse de décembre à mars. La précipitation moyenne annuelle est de 1400mm à 1450mm, les mois de plus grande pluviosité sont janvier et février. La température moyenne annuelle est de 26,1°C.

1.5 Géomorphologie sur la basse vallée de la Mahavavy

Les terrains sont très variés, qui bordent les plaines, ont contribué à donner à la vallée son aspect actuel. Les couches géologiques de Mahavavy présentent une structure monoclinale régulière avec un pendage faible de 1 à 2 degré. Elles sont de nature très diverse et surtout de dureté très différente. Cependant à un endroit ou à un autre la plupart d'entre elles sont terminées par un abrupt ou cuesta bien marqué, haut d'une cinquantaine de mètres environ, et tourné vers le Sud. Les cuestas sont donc alignées plus ou moins régulièrement de l'Est vers l'Ouest.

Du Sud vers le Nord, on rencontre successivement :

- La côte des grès sénoniens. Ces grès très hétérogènes et relativement tendres constituent une formation le plus souvent très meuble et découpée par l'érosion. Ils forment cependant relief vers Antsiketraka au Nord du Katondro, et au Nord du Masarivo ;
- Le calcaire maestrichtien forme une cuesta remarquablement nette depuis le Kinkony jusqu'à la Betsiboka.
- Le calcaire éocène forme près de Mitsinjo une cuesta. Elle s'estompe notablement vers l'Est.

Tous les lacs se rencontreront au pied de ces cuestas.

Les plaines de la Mahavavy sont le résultat d'un remblaiement assez récent (géologiquement parlant). La quasi-totalité de la plaine actuelle était alors sous l'eau. La mer pénétrait profondément à l'intérieur des terres et l'on devait avoir un vaste golfe dont le Kinkony actuel ne représente qu'une petite partie.

La Mahavavy qui débouche dans ce golfe va le remblayer peu à peu. Les alluvions vont se déposer d'abord dans la partie centrale en isolant de nombreuses pièces d'eau au pied de différentes cuestas.

Peu à peu le dépôt des alluvions a dépassé le niveau de Mitsinjo et le delta a pu se créer. Le kinkony s'est ainsi trouvé fermé par le dépôt d'alluvions entre le calcaire maestrichtien et les buttes de grès.

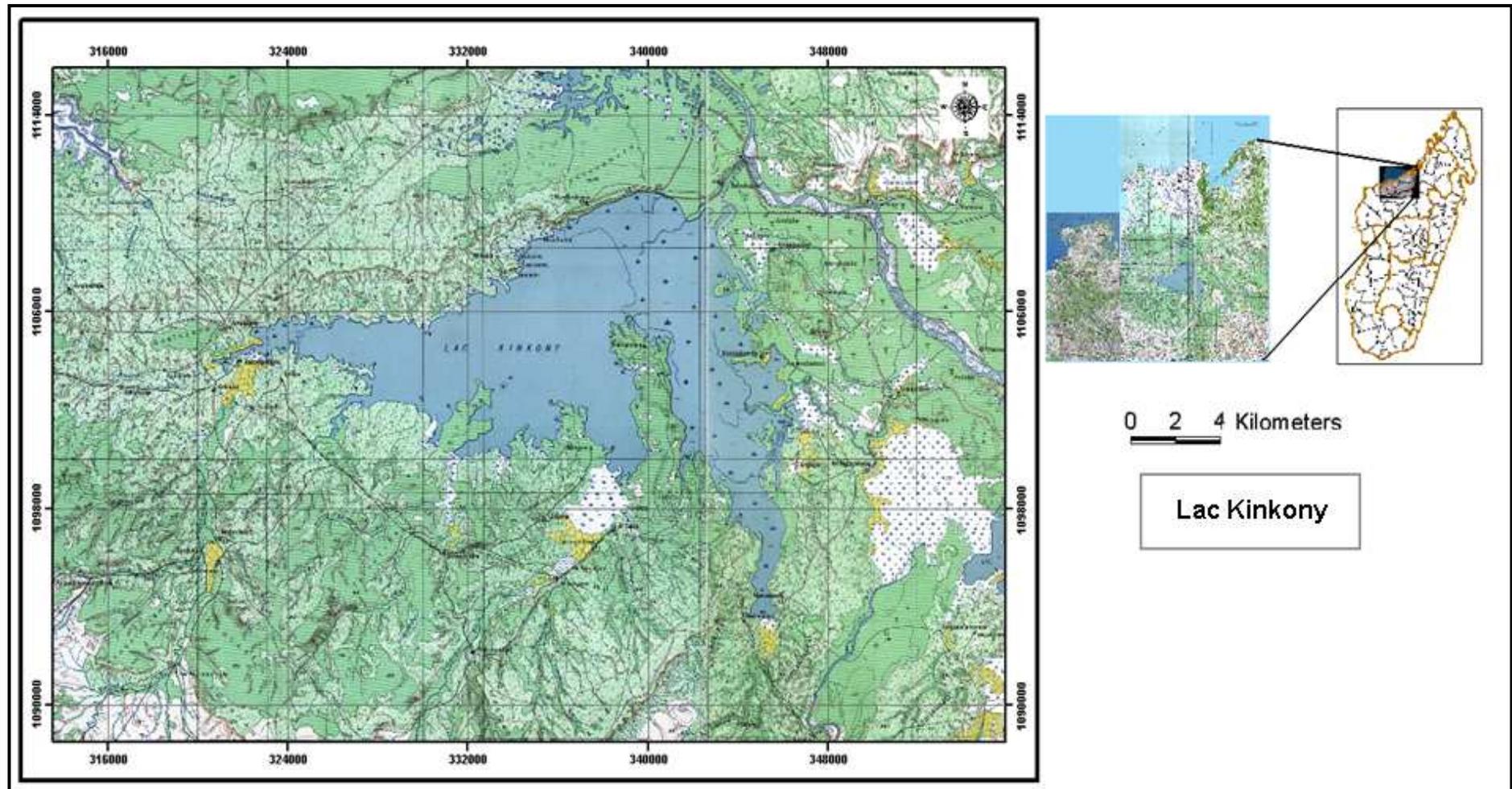


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source carte topo 100 FTM)

1.2 Informations démographiques

1.21 Composition et structure de la population

- Plusieurs groupes ethniques s'installent aux alentours du Lac Kinkony à savoir Sakalava, puis viennent les Antesaka, Antandroy, Betsileo et Merina. L'ossature est composée des autochtones Sakalava, puis viennent les Antesaka, tandis que les autres ethnies sont peu nombreuses. Les autochtones comptent environ 50 %. La grande concentration des migrants se trouve à Marofandroboka et leur principale activité reste la pêche pendant la saison sèche (Conservation des ZICO zones humides, 2000).

- Les jeunes de moins de 20 ans représentent environ les 60 % de la population habitant les villages situés aux alentours du Lac Kinkony. Chaque Fokontany n'a pas de données statistique exactes de leur population.

On a estimé que Manisakomby compte environ 400 habitants, Marofandroboka dans les 500 habitants, tandis qu'Antongomena Betsina avec Analalava compte environ 300 habitants. La densité de la population est de 10 à 20 habitants/km² (Conservation des ZICO zones humides, 2000).

1.22 Organisation sociale

Les chefs traditionnelles dirigent la communauté avec les présidents de fokontany qui représente les élus des collectivités décentralisé, les conseillers et comités locaux de sécurités. Pour les travaux communaux, toute la population active y participe.

La construction de la place du marché et des espaces de loisir est le fruit de l'effort de chaque fokontany.

L'entraide entre les villageois existe aussi lors des cérémonies funéraires et d'autres activités exceptionnelles comme la reconstruction des salles de classes détruite par un passage de cyclone (Monographie Mahajanga, 2004).

1.23 Mouvement migratoire et occupation de l'espace

- La population autochtone est renforcée en permanence par les flux de migration en provenance des hautes terres centrale et du Sud-est.

- A Masiakomby, les rizicultures qui sont en majorité autochtones, se concentrent dans le pourtour du lac à la fin de la saison de pluie lorsque le niveau d'eau diminue, pour entamer toutes les étapes des travaux dans les rizières. Parmi les riziculteurs, certains possèdent des zébus qu'ils laissent en liberté au pâturage tandis qu'à Marofandroboka, ce sont les pêcheurs

migrants qui s'installent dans les campements temporaires au bord du lac et les autochtones se trouvent plus éloignés du lac dans leurs villages

1.3 Informations Socio-Culturelles

1.31 Education

A Manisakomby les salles de classes sont en voie de reconstruction mais les travaux traînent faute de motivation des paysans.

A Analalava, l'école a été fermée car les parents n'ont pu payer le salaire de l'instituteur.

A Marofandroboka, deux instituteurs se chargent de l'éducation de 103 élèves. L'insuffisance de matériels scolaires tels que tableaux noirs, tables et bancs, constitue un problème majeur et ce qui est actuellement disponible est assez rudimentaire et vétuste.

Dans le domaine de sport, chaque village a un terrain de football. Les jeunes s'y entraînent et organisent des matchs amicaux entre les villages environnants.

1.32 Santé

Antongomena est doté d'un centre d'accouchement mais la sage-femme n'est pas très assidue à son poste et en plus, les populations locales sont obligées d'acheter les médicaments.

La maladie fréquemment rencontrées dans la région est la diarrhée, la grippe et la variole.

1.33 Route et communication

Les pistes qui relient Mitsinjo avec les autres localités sont saisonnières. Les moyens de locomotion sont les pirogues et les chars à bœufs.

Quelquefois, la société sucrière SIRAMA de Namakia assure la réhabilitation des pistes car elle fait des exploitations forestières aux alentours de Mitsinjo.

1.34 Informations

Les gens du village n'ont que les postes de transistor comme seul moyen d'information, mais les coûts des piles électriques ne sont pas toujours à la portée de leur bourse.

1.35 Culture et croyances

Chaque ethnie a sa propre culture et croyances, mais les migrants respectent peu celle des autochtones.

Le culte des ancêtres et l'adoration des fétiches sont les plus pratiqués. Les adeptes du christianisme ne sont pas assez nombreux.

Le « Fitampoha » pour les Sakalava est célébré chaque année et beaucoup de bœufs sont abattus pendant toutes les festivités. Le mardi et le jeudi sont des jours « fady » pour le travail dans les rivières, et avant la moisson ils faisaient des « joro » pour remercier les ancêtres.

En ce qui concerne le rapport culture-croyances et homme-nature, les autochtones conservent leur tradition, respectent les interdits des ancêtres et préservent la nature mais après l'arrivée des migrants il y a beaucoup de transgression des interdits. Cela a engendré d'après eux, les naufrages et les diminutions de la production de la pêche au sein du lac.

L'interdiction de la traversée du lac en pirogue à voile, le port des parapluies et des objets en or est tabou pour le Lac Kinkony. Selon la croyance, s'est l'origine des grosses vagues au sein du lac qui sont très dangereuse, causant des accidents mortels (Conservation des ZICO zones humides, 2000).

1.36 Sécurité

Les *fokonolona* se chargent de la sécurité de leur village contre les vols de bovidés dans l'ensemble peu fréquents, sauf à Analalava qui est un village à proximité de la route reliant Mitsinjo-Soalala-Besalampy, facile d'accès pour les malfaiteurs.

1.37 Problèmes sociaux

Pendant la période des crues, les élèves ont du mal se rendre à l'école car il n'y a pas de pirogue qui permet d'assurer leur transport. Face à ce problème les parents ont préféré garder leurs enfants au moins pour les aider dans leurs travaux quotidiens.

Pour tous les Fokontany entourant le Lac Kinkony, des différends se posent quelquefois entre les autochtones et les migrants ainsi qu'avec les braconniers qui capturent les oiseaux

d'eau au moyen de filet pour les vendre, soit à Namakia, soit à Mahajanga. Les litiges fonciers concernant les rizicultures entre les migrants et la population locale sont rares.

D'après les locaux, leurs Fokontany sont délaissés par la commune, aucune subvention n'est offerte malgré le fait que les taxes sur les marchés dans les Fokontany sont encaissées par la Commune (Monographie Mahajanga, 2004).

1.4 Système de production

1.41 Agriculture

- **Système d'exploitation**

L'agriculture est du type traditionnel dans la région de Kinkony. La majorité des cultivateurs sont les autochtones qui possèdent des terres, et si les migrants veulent cultiver, ils doivent louer ou emprunter des parcelles.

Les terrains ne sont pas titrés ni cadastrés mais limités par des repères (végétation, pierres). L'appropriation foncière provient de l'héritage familial et chaque ménage travaille ce qui lui appartient. Pour les familles qui ont beaucoup de terroirs cultivables, elles louent certaines parcelles à d'autres personnes. Dans le cas du métayage, les semences proviennent des propriétaires et la production est partagée en deux parties égales lors de la récolte. Les membres de chaque ménage peuvent exploiter leurs terroirs selon leur possibilité ou suivant la disponibilité en eau.

Pendant la période d'étiage, certains travaillent dans les rizières sur décrue, tandis que d'autres font des cultures vivrières (maïs, patates douces, bananes).

- **Problèmes**

- l'absence de canaux d'irrigation entraîne insuffisance d'eau pour l'agriculture
- l'insuffisance de matériels agricoles limite la production agricole
- l'absence d'encadrement technique empêche l'amélioration des techniques culturales.
- le problème de débouché pour les produits agricoles engendre l'incapacité d'investissement, le revenu familial étant très faible

- **Menaces sur les zones humides et les espèces à conserver**

Le développement des rizières entraîne la diminution de la superficie et le niveau d'eau du lac au cours des années, et menace la survie de la biodiversité de ces zones humides (Conservation des ZICO zones humides, 2000).

1.42 Elevage

Ce sont les Sakalava qui sont les éleveurs de bovins, et certains d'entre eux possèdent même plus de 100 têtes de bœufs. Les migrants comme les Antesaka élèvent des porcs. L'élevage de volailles est pratiqué par la plupart des villageois.

L'élevage de caprins et de porcins est tabou pour les Sakalava. L'élevage de volailles est pratiqué par la plupart des villageois.

1.43 Artisanat

Ce secteur est peu important et on a remarqué la vannerie et la forge.

En ce qui concerne la vannerie, chaque ménage fabrique les objets qui sont destinés soit à leur foyer pour usage domestique, soit au commerce quand il y a des gens qui en commandent.

Les produits fabriqués sont habituellement les nattes, les paniers et les chapeaux à partir du *Bismarckia nobilis*. L'accès à ces ressources est libre, chacun peut en collecter selon ses besoins.

L'action des feux de pâturage non contrôlés constitue une menace pour ces plantes. Cela conduit à la déforestation et à l'érosion et aboutit à l'envasement du lac (Conservation des ZICO zones humides, 2000).

1.44 La pêche

• L'importance économique du Lac Kinkony est liée à la pêche. Les Betsileo et les Antesaka sont les grands amateurs de la pêche dans la région du Lac Kinkony. Ils établissent des campements saisonniers au bord du lac pendant la saison sèche.

Les hommes partent à la pêche au moyen de filets avec leurs pirogues chaque matin, et retournent vers la fin de la matinée, tandis que les femmes restent au village pour s'occuper du fumage et du séchage des poissons.

- Un pêcheur peut obtenir jusqu'à cinq kilos de poissons au maximum si la pêche est bonne. Entant donné le nombre des pêcheurs qui augmentent, certains réduisent la dimension des mailles de filets pour capturer les petits poissons.

- Le Lac Kinkony est soumis à une surpêche. Il pourrait y avoir un risque d'épuisement des ressources piscicoles si on ne prend pas des mesures strictes (Conservation des ZICO zones humides, 2000).

PARTIE II
METHODOLOGIE

2 Acquisition des données

2.1 Principes physiques de la télédétection

2.1.1 Notion de rayonnement et spectre électromagnétique

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu est un émetteur de rayonnement électromagnétique. Le rayonnement émis par ce corps qui arrive sur une surface est **réfléchi**, **absorbé** ou **transmis** par réfraction suivant le type de surface rencontrée. La somme de ces trois types de rayonnement est égale au **rayonnement incident** (cf. : figure 2).

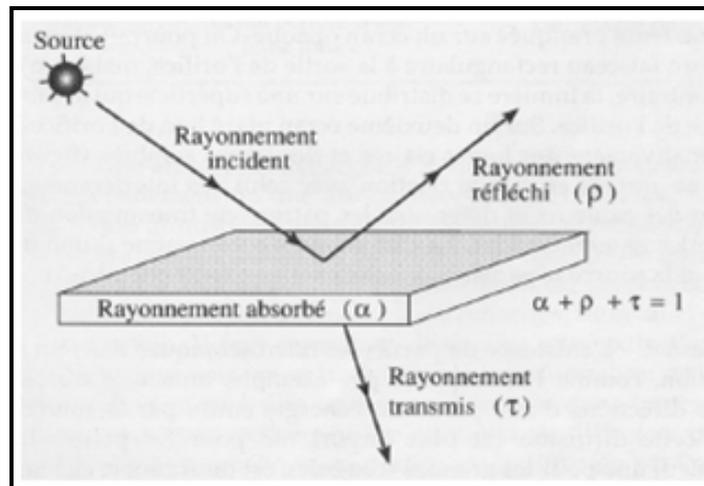


Figure 2 : Absorption, réflexion et transmission (source : GIRARD, M.C. et C.M., 1999)

Le rayonnement électromagnétique est de nature vibratoire et il peut se définir comme la superposition de radiations monochromiques indépendantes où chaque radiation se caractérise par sa longueur d'onde, c'est-à-dire la distance que parcourt la lumière pendant une vibration. Le rayonnement électromagnétique se définit comme un spectre continu allant des rayons cosmiques (10-13 nm) aux ondes radioélectriques (1013 nm).

L'œil humain ne peut voir qu'une plage limitée du spectre. Les satellites, en revanche, peuvent enregistrer le visible, l'infrarouge, ainsi qu'une large plage d'autres longueurs d'ondes. La figure 3 suivante montre les différents domaines du spectre électromagnétique et les capteurs pouvant être utilisés en fonction de ces derniers.

Domaines spectraux	Longueurs d'onde	Appareils de télédétection	
<i>Ultra violet</i>	290 nm (*) 390 nm	Scanneur ultra violet	
Visible	450 nm } violet	Photographies noir et blanc, couleur	Photographies multi spectrales
	490 nm } bleu		
	580 nm } vert		
	600 nm } jaune		
	620 nm } orange		
	700 nm } rouge		
Proche	900 nm	Infrarouge noir et blanc	Couleur
	1 000 nm		
Moyen réflectif	1 500 nm	} →	} Scanneur infrarouge et Thermographie infrarouge
	2 400 nm		
Moyen	3 000 nm		
	5 500 nm		
Thermique	8 000 nm		
	14 000 nm		
Micro-ondes ou hyper-fréquences	K { 0,75 cm	} →	Radar S.I.A.R. Scanneur H.F. Radiomètre H.F.
	X { 2,4 cm		
	C { 3,75 cm		
	S { 7,5 cm		
	L { 15 cm		
	UHF { 30 cm		
P { 100 cm			
	136 cm		

Figure 3 : Le spectre électromagnétique (source : GIRARD, M.C. et C.M., 1999)

Cependant l’observation de la Terre depuis l’espace n’est pas possible sur toute l’étendue du spectre électromagnétique car la propagation des rayonnements est perturbée par la traversée de l’atmosphère (phénomènes d’absorption et de diffusion).

Les zones de spectre de moindre absorption constituent les fenêtres de transmission atmosphérique utilisables par la télédétection passive comme le détaille le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Valeur du spectre électromagnétique

Bandes	Fenêtres	Rayonnement dominant
Visible	400 à 700 nm	Solaire réfléchi
Proche infrarouge	700 à 1100 nm	Solaire réfléchi
Infrarouge moyen	Vers 3000 et 5000 nm	Terrestre
Infrarouge lointain	8500 et 13000nm	

2.12 Les satellites

2.121 Caractéristiques d'un satellite : l'orbite et sa fauchée1

La trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre est appelée **orbite**. L'orbite d'un satellite est choisie en fonction de la capacité des capteurs qu'il transporte et des objectifs de sa mission. Le choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au-dessus de la surface de la Terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la Terre. Certains satellites ont une altitude très élevée et regardent toujours la même région de la surface de la Terre.

Ils ont une **orbite géostationnaire** dans le plan équatorial de la Terre (voir figure 3 ci-dessous). Ces satellites angulaires ont une altitude d'environ 36 000 kilomètres et se déplacent à une vitesse qui correspond à celle de la Terre, donnant ainsi l'impression qu'ils sont stationnaires. Cette configuration orbitale permet au satellite d'observer et d'amasser continuellement de l'information sur une région spécifique. Les satellites de communication et d'observation des conditions météorologiques sont situés sur de telles orbites. L'altitude élevée de certains satellites météorologiques leur permet d'observer les nuages et les conditions qui couvrent un hémisphère complet de la Terre.

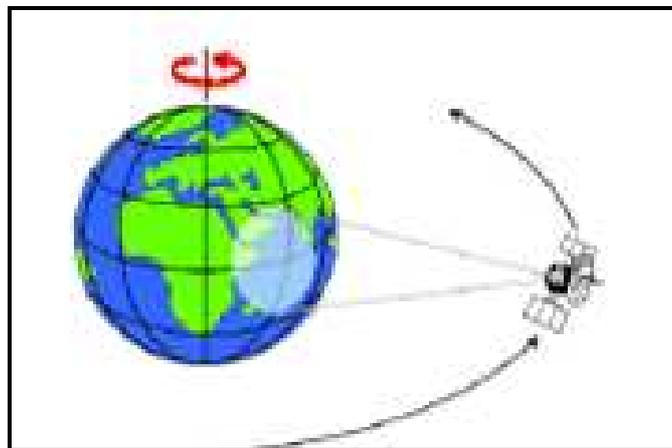


Figure 4 : Orbite géostationnaire (source : Institut français de l'environnement, 2005)

D'autres plates-formes spatiales suivent une orbite légèrement inclinée par rapport à l'axe des pôles. Cette configuration, combinée à la rotation de la Terre (Ouest-Est), fait qu'au cours d'une certaine période, les satellites ont observé la presque totalité de la surface de la Terre.

Ce type d'orbite est appelé orbite quasi polaire (voir figure 4 ci-dessous) à cause de l'inclinaison de l'orbite par rapport à une ligne passant par les pôles Nord et Sud de la Terre.

La plupart des satellites sur orbite quasi-polaires ont aussi une orbite **héliosynchrone** ; c'est-à-dire qu'ils observent toujours chaque région du globe à la même **heure locale solaire**. Pour une latitude donnée, la position du Soleil dans le ciel au moment où le satellite survole une certaine région au cours d'une saison donnée sera donc toujours la même. Cette caractéristique orbitale assure des conditions d'illumination solaire similaires, lorsqu'on recueille des données pour une saison particulière sur plusieurs années ou pour une région particulière sur plusieurs jours. Ceci est un facteur important lorsqu'on compare deux images successives ou lorsqu'on produit une mosaïque avec des images adjacentes, puisque les images n'ont pas à être corrigées pour tenir compte de l'illumination solaire.

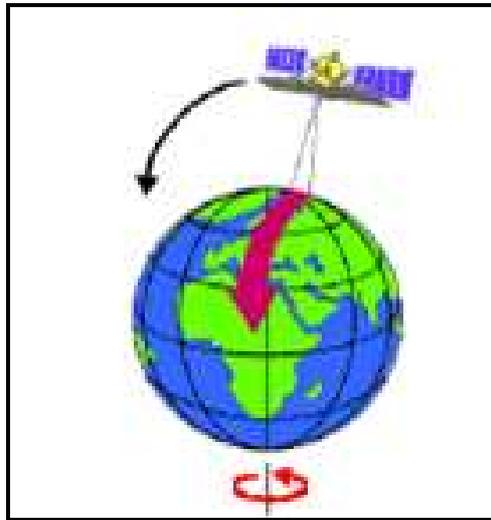


Figure 5 : Orbite quasi-polaire

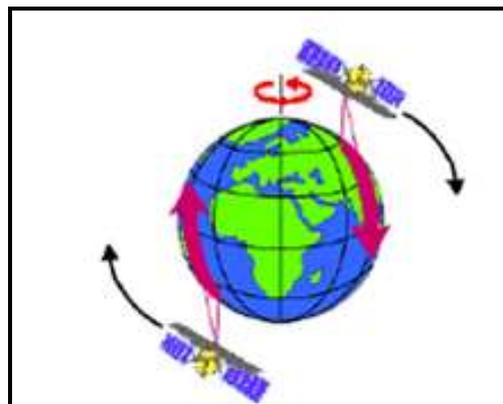


Figure 6 : Passe montante et passe descendante

De nos jours, la plupart des plates-formes satellitaires est placée sur orbite quasi-polaire. Elles se déplacent donc vers le nord d'un côté de la Terre et vers le sud dans l'autre moitié de leur orbite. Ces deux types de passage du satellite se nomment respectivement orbite ascendante et orbite descendante (voir figure 6 ci-dessus). Si l'orbite est aussi héliosynchrone, l'orbite ascendante du satellite se fait du côté ombragé de la Terre, tandis que

l'orbite descendante se fait du côté éclairé par le Soleil. Les capteurs qui enregistrent l'énergie solaire réfléchi par la Terre ne recueillent donc de l'information qu'au cours de leur orbite descendante, lorsque le Soleil illumine la Terre. Les capteurs actifs qui possèdent leur propre source d'illumination ou les capteurs passifs qui enregistrent l'énergie émise par la planète (l'énergie infrarouge thermique par exemple) peuvent amasser des données autant lors des orbites ascendantes que descendantes de leurs satellites.

Lorsqu'un satellite est en orbite autour de la Terre, le capteur "observe" une certaine partie de la surface.

Cette surface porte le nom de **couloir-couvert** ou **fauchée** (voir figure 7 ci-dessous). Les capteurs sur plate-forme spatiale ont une fauchée dont la largeur varie généralement entre une dizaine et plusieurs centaines ou même plusieurs milliers de kilomètres. Pour les satellites à orbite quasi-polaire, le satellite se déplace selon une trajectoire nord-sud.

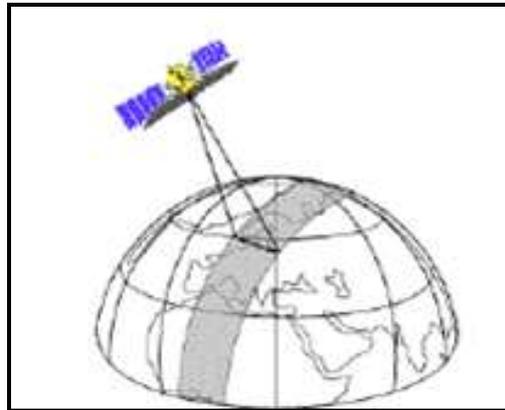


Figure 7 : La fauchée d'un satellite

Cependant, vue de la Terre, la trajectoire du satellite semble avoir une composante vers l'ouest à cause de la rotation de la Terre. Ce mouvement apparent du satellite permet à la fauchée du capteur d'observer une nouvelle région à chacun des passages consécutifs du satellite. L'orbite du satellite et la rotation de la Terre travaillent donc de concert, permettant une couverture complète de la surface de la planète après un cycle orbital complet.

Les points sur la surface de la Terre qui se trouvent directement en dessous de la trajectoire du satellite sont appelés les points **nadir**. Le **cycle de passage** du satellite correspond à la période de temps nécessaire pour que le satellite revienne au-dessus d'un point nadir pris au hasard. Le satellite aura alors effectué un cycle orbital complet. La période de temps nécessaire pour compléter un cycle orbital complet varie d'un satellite à l'autre. La durée du cycle orbital ne doit pas être confondue avec la période de revisite. Avec les capteurs orientables, les instruments peuvent observer une surface avant et après les passages de l'orbite au-dessus de la cible, ce qui permet une période de revisite beaucoup plus courte que

le cycle orbital. La période de passage au nadir est un facteur important pour plusieurs applications de la télédétection, spécialement lorsque des images fréquentes sont nécessaires (par exemple : pour surveiller la dispersion lors d'un déversement d'hydrocarbures ou pour mesurer l'ampleur d'une inondation). Les satellites à orbite quasi-polaire ont une couverture plus fréquente des régions de latitude élevée par rapport à la couverture des zones équatoriales. Cette plus grande couverture est due à l'élargissement, vers les pôles, de la zone de chevauchement entre deux fauchées adjacentes.

2.122 Les capteurs utilisés

Les capteurs spécialisés dans la réception de longueurs d'ondes réfléchies ou émises par des objets cibles sont tous désignés par le terme de **capteurs passifs** (voir figure 8). Le principal inconvénient de ce type de capteur est d'être inopérant si le ciel est sombre ou nuageux. Pour pallier à cet inconvénient un autre type de capteur a été mis au point : les **capteurs actifs** qui mesurent la quantité réfléchie d'un rayonnement qu'ils ont émis. Le capteur actif le plus couramment employé en télédétection est le radar.

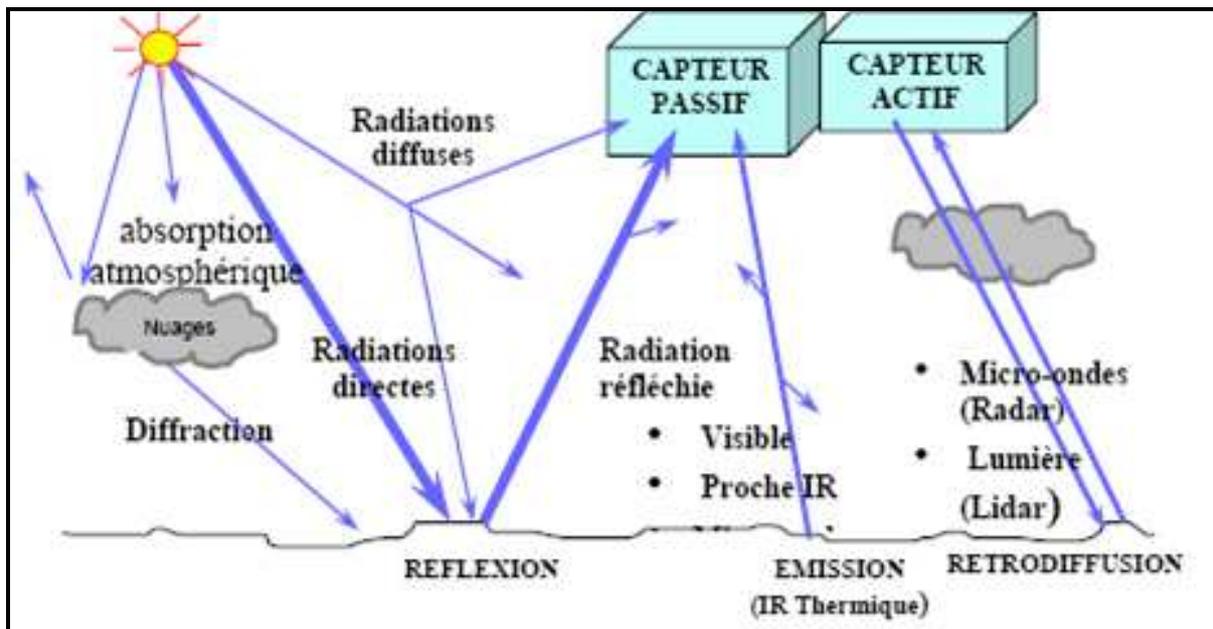


Figure 8 : Les capteurs en télédétection (source : GIRARD, M.C. et C.M., 1999)

Il existe plusieurs types de satellites d'observation suivant les domaines d'application (météorologie, océanographie,...) et suivant les différents systèmes d'acquisition d'images. Les données fournies par les satellites d'observation varient selon le type de **capteurs du satellite** qui mesurent les radiations électromagnétiques réfléchies par les corps qui composent la surface terrestre.

- Pour les **ondes électromagnétiques du visible et de l'infrarouge proche**, les capteurs utilisés sont optiques (émulsions photographiques, détecteurs multi spectraux et hyper spectraux), c'est-à-dire qu'ils reçoivent la réflexion de la lumière provenant de la surface terrestre et n'émettent aucun signal.

- Pour l'**infrarouge thermique**, des détecteurs thermiques sont utilisés.

- Dans le cas du **radar**, l'instrument émet un signal vers le sol et détecte l'écho de celui-ci, c'est-à-dire qu'il mesure l'onde qui se reflète sur la surface terrestre.

La **résolution spatiale** est la mesure de la plus petite séparation angulaire ou linéaire entre deux objets, habituellement exprimée en radians ou en mètres. En d'autres termes, c'est la superficie de la surface terrestre représentée par un pixel. On distingue les capteurs à haute résolution et les capteurs à basse résolution. Les satellites en orbite géostationnaire comme METEOSAT ou GOES fournissent des images sur de très grandes zones et à basse résolution et, en général, les satellites en orbite héliosynchrone comme Landsat ou SPOT fournissent des images à haute résolution sur de plus petites zones.

La qualité des données produites est fonction de deux paramètres :

- la **qualité géométrique** qui dépend des performances du capteur et de la stabilité de l'orbite du satellite.

- la **qualité radiométrique** qui dépend de la fiabilité des instruments et des détecteurs, des bandes spectrales utilisées, des contrôles effectués (détection et correction d'anomalies).

La **résolution temporelle** est la répétitivité de l'observation d'un capteur sur un même territoire. La capacité de fournir des images d'une même zone à différentes dates constitue l'un des attraits des satellites d'observation.

Enfin l'acquisition d'une même scène se fait suivant deux modes principaux :

- le **mode panchromatique** où une seule image est produite à partir de toutes les longueurs d'ondes du spectre visible et souvent d'une partie du proche infrarouge traduite en niveau de gris,

- ou le **mode multi spectral** où plusieurs images sont prises simultanément chacune dans une région différente du spectre électromagnétique.

2.1.3 Les différents types de satellites

Ce chapitre présente brièvement les différents satellites et la télédétection aéroportée. En fin de chapitre, un tableau récapitulatif présente les caractéristiques techniques des différents capteurs embarqués sur les satellites et aéronefs (résolution spatiale, bandes spectrales, stéréoscopie, résolution temporelle des satellites).

2.131 Landsat

Le premier satellite civil d'observation de la Terre a été Landsat en 1972. Il embarquait un capteur MSS (Multi Spectral Scanner) dont les pixels mesuraient environ 80 mètres de côté. Depuis, six autres satellites Landsat ont été envoyés en orbite. La seconde génération de satellites Landsat fait son apparition en 1982 avec l'envoi de Landsat 4, qui embarqua un Thematic Mapper (TM) en plus du MSS.

Les images Landsat MSS (Multi Spectral Scanner) et TM (Thematic Mapper) présentent l'avantage d'être acquises dans le monde entier et sur une période continue de plus de 16 ans.

Les capteurs TM détectent la radiation réfléctée à la surface de la terre dans sept bandes spectrales dans les longueurs d'ondes du visible et de l'infrarouge proche, moyen et thermique. La résolution des images

TM (30 mètres) fournit suffisamment de détails pour permettre une gamme importante d'applications tout en gardant une scène suffisamment grande de 180 km de côté. A partir de Landsat 7, le capteur devient

ETM+ (Enhanced Thematic Mapper). Ses huit bandes spectrales sont semblables à celles de TM, sauf que la bande thermique 6 a une résolution améliorée de 60 m (contre 120 m dans TM). Il y a aussi une bande panchromatique complémentaire à la résolution de 15 m.

2.132 Spot

La principale caractéristique du système de SPOT est la capacité de programmer les satellites selon les besoins du client. Un satellite SPOT peut revisiter des sites tous les deux ou trois jours en moyenne (la fréquence dépend de la latitude). La constellation des 4 satellites SPOT peut atteindre chaque partie de la Terre en un jour donné.

La charge utile de chaque satellite Spot est constituée de deux instruments optiques identiques pouvant effectuer des observations obliques, jusqu'à +/- 27 degrés de la verticale du satellite, d'enregistreurs de données et d'un système de transmission des images vers des stations de réception au sol.

Chaque instrument peut indifféremment acquérir des images en mode panchromatique (P) ou multi spectral (XS) de façon indépendante ou simultanée. Pour l'acquisition simultanée de couples d'images stéréoscopiques, le satellite Spot 5 emporte en plus un instrument HRS (Haute Résolution Stéréoscopique).

2.1.3.3 Ikonos

Le lancement d'Ikonos le 24 septembre 1999 n'était pas juste le lancement du premier satellite très haute résolution commercial mais aussi le lancement d'une nouvelle ère dans le monde de la télédétection.

Ikonos peut générer des images panchromatiques d'une résolution de 1 m et des images multi bandes d'une résolution de 4 m. De plus, sa visée hors nadir, allant jusqu'à 60° selon n'importe quel azimut, lui permet une meilleure fréquence d'imagerie et de plus grandes capacités stéréoscopiques.

• Panchromatique

La résolution des données panchromatiques permet aux utilisateurs de distinguer des éléments de terrain de l'ordre du mètre. La précision et l'interprétabilité des images font qu'il est idéal pour la cartographie et l'analyse.

• Multi spectral

Ikonos rassemble aussi des données multi spectrales à 4 bandes de 4 mètres de résolution excellentes pour la révision de carte et la mise à jour de SIG (planification, choix de site, développement et contrôle environnemental).

• Pan-Sharpning (= fusion des canaux)

Space Imaging Europe exécute aussi une technique appelée "Pan-Sharpning" qui combine le contenu spatial des données panchromatiques de 1 mètre avec le contenu spectral des données multi spectrales de 4 mètres.

2.1.3.4 Eros

Les satellites EROS (*Earth Resources Observation Systems*) sont extrêmement performants, bon marché, légers et maniables.

EROS A est le premier d'une série de satellites placés en orbite. Grâce à une résolution de 1,8 mètre, EROS fournit des images utiles à de nombreuses applications de sécurité nationale, de planification urbaine et infrastructurelle... Son poids léger (260 kg) et sa conception permettent à ce satellite de tourner jusqu'à 45 degrés dans n'importe quelle direction, fournissant la capacité d'acquérir des images de secteurs différents pendant le même passage. Sa maniabilité permet également une prise d'images en stéréo sur la même orbite.

Il est prévu qu'au moins six satellites EROS B soient lancés au cours des cinq prochaines années.

EROS-B, proposera une résolution de 0,82 m et une fauchée de 16 km. La constellation de satellites offrira une couverture planétaire ainsi que la possibilité d'acquisitions journalières afin de permettre l'observation et le suivi de phénomènes évoluant rapidement.

2.135 QuickBird

A l'origine programmé comme un système d'imagerie ayant une résolution de 1 mètre, les projets ont été ensuite modifiés par Digital Globe pour augmenter la résolution en ajustant l'orbite dans laquelle le satellite évolue. En conséquence, la résolution panchromatique passe de 80 centimètres à 61 centimètres et les résolutions multi spectrales de 4 à 2,44 mètres.

La conception de QuickBird lui permet de fonctionner correctement à faible altitude et il possède assez d'énergie pour ne pas devoir écourter sa mission. Cela signifie que QuickBird est le satellite commercial qui possède la résolution la plus pointue au monde.

Les données peuvent servir à la cartographie, la planification agricole et urbaine, la recherche météorologique et la surveillance militaire. Grâce à ce satellite les bâtiments, les voitures et même de grands arbres individuels peuvent être reconnus.

2.14 Les capteurs multi bandes aéroportés

Basée sur le même principe que la télédétection satellitale mais à bord d'un avion, les capteurs aéroportés sont des capteurs multi bandes qui peuvent avoir de 3 à 230 canaux séparés dans différentes parties du spectre électromagnétique. En plus d'une très grande résolution spectrale, la résolution spatiale de tels capteurs peut être très fine (en dessous du mètre).

Le problème essentiel avec ce type de données est la pauvreté de la géométrie puisque les données peuvent être affectées par la variation dans l'altitude de l'avion ou la dérive le long de la ligne de vol. Le développement des GPS permet d'améliorer ces défauts de géométrie : une précision géométrique de l'ordre de 5 à 25 mètres peut ainsi être obtenue mais les opérations de correction sont fastidieuses.

Les applications suivantes utilisant les données de capteurs multi spectraux aéroportés ont ainsi pu être réalisées au Canada (LEE et LUNETTA, 1995) :

- Classification de la végétation
- Cartographie de l'occupation ou de l'utilisation du sol
- Suivi de la qualité de l'eau
- Cartographie des zones humides
- Mise à jour des cartes

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des capteurs satellitaires et aéroportés (source : Institut français de l'environnement, 2005)

CAPTEUR	RESOLUTION SPATIALE	RESOLUTION SPECTRALE	REPETITIVITE
LANDSAT 5 : date de lancement 1982 et 1984 ; altitude 705km orbite Quasi-polaire héliosynchrone			
TM	30x30 m	1 : 450 à 520 nm (bleu)	16 jours
	30x30m	2 : 530 à 610 nm (vert)	
	30x30 m	3 : 620 à 690 nm (rouge)	
	30x30 m	4 : 780 à 910 nm (IR proche)	
	30x30 m	5 : 1570 à 1780 nm (IR moyen)	
	120x120 m	6 : 10 400 à 12 600 nm (IR thermique)	
	30x30 m	7 : 2100 à 2350 nm (IR moyen)	
LANDSAT 7 : date de lancement 1999 ; altitude 705km ; orbite Quasi polaire héliosynchrone			
EMT+	30x30 m	1 : 450 à 520 nm (bleu)	16 jours
	30x30m	2 : 530 à 610 nm (vert)	
	30x30 m	3 : 620 à 690 nm (rouge)	
	30x30 m	4 : 780 à 910 nm (IR proche)	
	30x30 m	5 : 1570 à 1780 nm (IR moyen)	
	60x60 m	6 : 10 400 à 12 600 nm (IR thermique)	
	30 x30 m	7 : 2100 à 2350 nm (IR moyen)	
	15x15 m	8 : 500 à 900 nm (panchromatique)	
SPOT 5 : date lancement 2002 ; orbite quasi-polaire héliosynchrone			
2 HRG	10 x 10 m	B1 : 500 à 590 nm	1 à 4 jours
	10 x 10 m	B2 : 610 à 680 nm	
	10 x 10 m	B3 : 790 à 890 nm	
	20 x 20 m	MIR : 1580 à 1750 nm	
	5 x 5 m	P : 510 à 730 nm	
HRS	10 x10 m	Panchromatique	
Végétation 2	1000 m	B0 : 430 à 470 nm	
		B2 : 610 à 680 nm	
		B3 : 790 à 890 nm	
		MIR : 1580 à 1750 nm	
IKONOS : date de lancement 1999			
PAN	0,8 x 0,8 m	450-900 nm	
MSS	3,2 x 3,2 m	450-520 nm	
	3,2 x 3,2 m	520-600 nm	
	3,2 x 3,2 m	630-690 nm	
	3,2 x 3,2 m	760-900 nm	
QUICKBIRD : date de lancement 2001			
PAN	0,61 à 0,72 m	450-900 nm	1 à 3 jours
	2,44 à 2,88 m	450-520 nm	
		520-600 nm	
		630-690 nm	
		760-900 nm	
DONNEES AERIENNES DAEDALUS			
	Résolution spatiale	Bande 1 – 420-450 nm.	

	fonction de l'altitude de vol de l'aéronef	Bande 2 – 450-520 nm. Bande 3 – 520-600 nm. Bande 4 – 605-625 nm. Bande 5 – 630-690 nm. Bande 6 – 695-750 nm. Bande 7 – 760-900 nm. Bande 8 – 910-1050 nm. Bande 9 – 1550-1750 nm. Bande 10 - 2080-2350 nm. Bande 11 - 8500-13000 nm. Bande 12 - Bande 11 x 0.5 ou x 2 Gain	
--	--	--	--

2.15 Les signatures spectrales

L'analyse du signal électromagnétique réfléchi ou émis par une surface permet d'en caractériser la composition. Dans le domaine spectral de la télédétection optique, l'émission est prépondérante dans l'infrarouge thermique (IRT) alors que le phénomène de réflexion est prédominant dans le visible. On s'intéresse alors aux albédos de différentes classes d'occupation du sol : les surfaces en eau, les surfaces minérales et les surfaces végétales.

La réflectance assez basse des surfaces en eau dans le domaine visible (en particulier dans le vert et rouge) est due principalement à l'absorption. Cependant, elle peut être modifiée par la présence de matière en suspension ou de matières organiques dissoutes, augmentant l'absorption du bleu. Par contre, la réflectance est quasi nulle dans l'infrarouge. Ces différents aspects permettent d'identifier les zones aquatiques à partir s'images optiques.

Les surfaces minérales naturelles ou artificielles ont des réponses caractéristiques, essentiellement fonction de :

- Leur nature,
- Leur teneur en eau,
- Leur teneur en minéraux
- Leur en minéraux
- Leur rugosité.

Pour les surfaces minérales artificielles, on retiendra notamment l'exemple des zones industrielles et commerciales qui présentent des réflectances très fortes dans le visible.

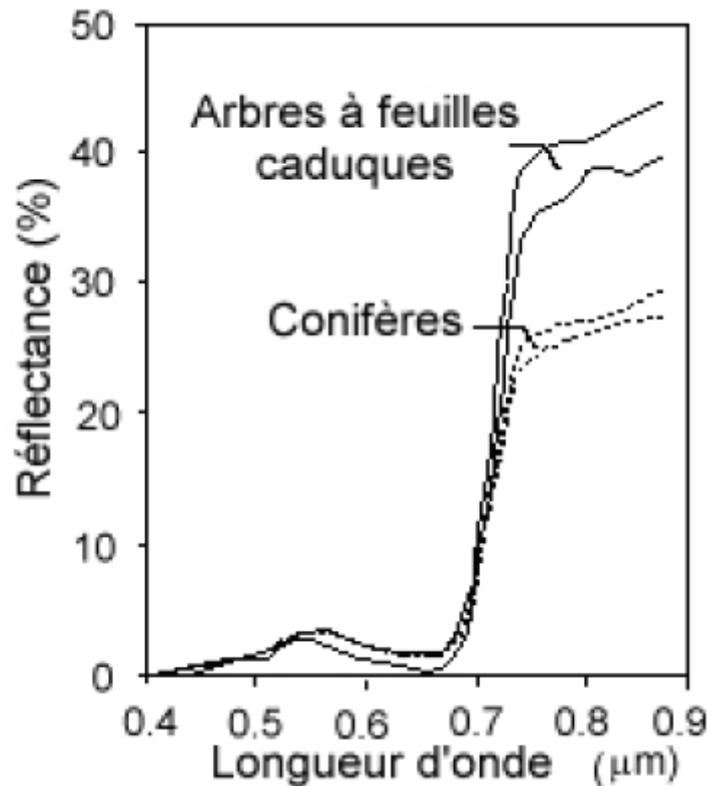


Figure 9 : Signatures spectrales de végétations arborées (Anno Flavien, 2004)

La végétation présente une signature spectrale mettant en évidence une opposition significative entre le visible et le proche infrarouge. Cette caractéristique provient de l'activité chlorophyllienne et de la présence d'eau dans les feuilles. Une des difficultés de la végétation est la variation au cours des saisons de sa signature : au maximum de la période végétative, l'écart entre le rouge et l'infrarouge est maximal ; alors qu'en cas de stress hydrique ou à la sénescence, l'inflexion très nette (généralement appelé red edge) de la signature dans le rouge tend à s'atténuer, et le passage du visible vers l'infrarouge se fait plus continûment.

2.16 Les indices

La connaissance et la prise en compte des différentes caractéristiques spectrales des objets permettent d'envisager des méthodes d'analyse basées sur l'emploi simultané de plusieurs canaux d'acquisition, sous forme de combinaison linéaire ou de rapports. Ces valeurs synthétisent l'intensité d'un phénomène trop complexe pour être décrit par des paramètres simples et connus.

2.161 Indices de végétation normalisés

L'indice de végétation normalisé classique (NDVI, Normalized Differential Végétation Index) est défini couramment par :

$$NDVI = \frac{Rouge - PIR}{Rouge + PIR}$$

Il utilise explicitement la grande différence entre les réflectances dans le rouge et le proche infrarouge. Cependant, cet indice n'est efficacement utilisable que pendant les périodes végétatives, lorsque l'activité chlorophyllienne est importante.

On peut également rencontrer un indice de construction similaire qui est moins sensible aux conditions atmosphériques que le précédent par l'utilisation du moyen infrarouge, rendant compte à la fois de l'activité chlorophyllienne et de l'état hydrique des plantes.

$$NDVI3 = \frac{MIR - PIR}{MIR + PIR}$$

2.162 Indice de brillance

Cet indice présente une sensibilité certaine à l'humidité des sols, l'augmentation de la teneur en eau s'accompagne d'une diminution de la pureté et de la luminance de la couleur.

$$IB = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2}}{n}$$

Avec X_i la valeur du pixel X dans la bande i .

2.163 Indice normalisé d'humidité

L'emploi de cet indice se justifie par l'observation que l'augmentation de la teneur en eau d'un sol induit une baisse de luminance plus forte dans les grandes longueurs d'ondes que dans les courtes.

$$INH = \frac{MIR - Vert}{MIR + Vert}$$

La composition colorées des indices INH, IB et NDVI+NDVI3 permet une bonne discrimination des unités hydro-pédologiques. Une telle image permet alors de procéder à une classification détaillée des sols nus.

2.2 Traitement numérique des images

De nos jours, la plupart des données de télédétection étant enregistrées en format numérique, presque toutes les interprétations et analyses d'images requièrent une partie de traitement numérique. Le traitement numérique des images peut recourir à divers procédés dont le formatage et la correction des données, le rehaussement numérique pour faciliter l'interprétation visuelle ou même la classification automatique des cibles et des structures entièrement par ordinateur.

Le traitement d'images numériques nécessite évidemment un système informatique (ou **système d'analyse d'images**) ainsi que l'équipement et les logiciels pour traiter les données. Plusieurs systèmes de logiciels commerciaux ont été développés spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection.

Les fonctions de traitement des images communément disponibles en analyse d'images en quatre catégories :

- Prétraitement
- Rehaussement de l'image
- Transformation de l'image
- Classification et analyse de l'image

2.21 Prétraitement

On appelle fonctions de **prétraitement** les opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en **corrections radiométriques** et en **corrections géométriques**.

2.211 Corrections radiométriques

Les corrections radiométriques comprennent entre autres, la correction des données à cause des irrégularités du capteur, des bruits dus au capteur ou à l'atmosphère, et de la conversion des données afin qu'elles puissent représenter précisément le rayonnement réfléchi ou émis mesuré par le capteur.

2.212 Corrections géométriques

Les corrections géométriques comprennent la correction pour les distorsions géométriques dues aux variations de la géométrie Terre-capteur, et la transformation des données en vraies coordonnées (par exemple en latitude et longitude) sur la surface de la Terre.

2.22 Rehaussement

Les fonctions de rehaussement ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour aider l'interprétation et l'analyse visuelles. Les fonctions de rehaussement permettent **l'étirement des contrastes** pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène, et le **filtrage spatial** pour rehausser (ou éliminer) les patrons spatiaux spécifiques sur une image.

2.23 Filtrage spatial

Pour améliorer la qualité visuelle de l'image, on doit éliminer les effets des bruits (parasites) en lui faisant subir un traitement appelé filtrage.

Le filtrage consiste à modifier la distribution fréquentielle des composantes d'un signal selon des spécifications données.

Le système linéaire utilisé est appelé filtre numérique.

Parmi ces systèmes, nous distinguons : les filtres passe-bas (lissage), filtres passe-haut (accentuation), filtres passe-bande (différenciation) et filtres directionnels.

2.231 Filtre passe-bas (lissage)

Ce filtre n'affecte pas les composantes de basse fréquence dans les données d'une image, mais doit atténuer les composantes de haute fréquence.

L'opération de lissage est souvent utilisée pour atténuer le bruit et les irrégularités de l'image. Elle peut être répétée plusieurs fois, ce qui crée un effet de flou. En pratique, il faut choisir un compromis entre l'atténuation du bruit et la conservation des détails et contours significatifs.

2.232 Filtre passe-haut (accentuation)

Le renforcement des contours et leur extraction s'obtiennent dans le domaine fréquentiel par l'application d'un filtre passe-haut.

Le filtre digital passe-haut a les caractéristiques inverses du filtre passe-bas. Ce filtre n'affecte pas les composantes de haute fréquence d'un signal, mais doit atténuer les composantes de basse fréquence.

2.233 Filtre passe-bande (différenciation)

Cette opération est une dérivée du filtre passe-bas. Elle consiste à éliminer la redondance d'information entre l'image originale et l'image obtenue par filtrage passe-bas. Seule la différence entre l'image source et l'image traitée est conservée.

2.234 Filtre directionnel

Dans certains cas, on cherche à faire apparaître des détails de l'image dans une direction bien déterminée. Pour cela, on utilise des filtres qui opèrent suivant des directions (horizontales, verticales et diagonales).

2.24 Transformations d'images

Les transformations d'images sont des opérations similaires à ceux de rehaussement de l'image. Cependant, alors que le rehaussement de l'image qui est normalement appliqué à une seule bande de données à la fois, la transformation de l'image combine le traitement des données de plusieurs bandes spectrales.

Des opérations arithmétiques (c'est-à-dire addition, soustraction, multiplication, division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en de "nouvelles" images qui montrent plus clairement certains éléments de la scène. Nous allons examiner certaines de ces opérations incluant les diverses méthodes de rapport de bande aussi appelé rapport spectral et un procédé appelé analyse des composantes principales qui est utilisée pour mieux représenter l'information en imagerie multi spectrale.

2.25 Composition colorée

L'affichage en fausses couleurs consiste à attribuer des couleurs fictives aux bandes spectrales. L'image résultante est dite composition colorée et se compose de trois plans de couleur rouge, vert et bleu. Dans une composition et comme pour toute image couleur, la formation de la couleur est basée sur les trois couleurs primaires Rouge, vert et bleu.

En mode dit synthèse trichromatique additive, on part du noir (absence de couleur), on ajoute dans des proportions variables les trois couleurs primaires pour former de la couleur. Par exemple, le blanc est formé par les trois couleurs R, V et B à intensités maximales (255).

D'une manière générale, sur une composition colorée, les sols nus apparaissent dans des teintes bleu clair, l'eau dans une teinte bleu foncé ou pratiquement noir, la végétation herbacée en rouge clair, les forêts feuillues en rouge foncé et les résineux dans des teintes rouge-noir. Il est important de signaler que ces remarques sont données à titre indicatif. Différents facteurs en particulier l'état d'humidité du sol et le tapis herbacé en forêts feuillues ou résineuses peuvent être à l'origine d'une forte modification de la réflectance du pixel.

2.3 Classification

2.31 Définition des Classes spectrales

Les **classes spectrales** sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur d'intensité dans les différentes bandes spectrales des données. L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Il est rare qu'une correspondance directe soit possible entre ces deux types de classes. Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois

sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'information intéressantes pour l'analyse. D'un autre côté, une classe d'information très large (par exemple la forêt) peut contenir plusieurs **sous-classes** spectrales avec des variations spectrales définies. En utilisant l'exemple de la forêt, les sous-classes spectrales peuvent être causées par des variations dans l'âge, l'espèce, la densité des arbres ou simplement par les effets d'ombrage ou des variations dans l'illumination. L'analyste a le rôle de déterminer de l'utilité des différentes classes spectrales et de valider leur correspondance à des classes d'informations utiles.

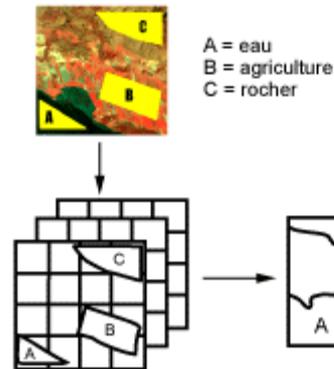


Figure 10 : les classes spectrales (source :Carleer A. & Wolff E., 2001)

2.32 Notion de la classification

Les opérations de **classification et d'analyse d'image** sont utilisées pour identifier et classifier numériquement des pixels sur une image. La classification est habituellement faite sur des banques de données multi spectrales, et ce procédé donne à chaque pixel d'une image une certaine classe ou thème basé sur les caractéristiques statistiques de la valeur de l'intensité du pixel. Il existe une variété d'approches prises pour faire une classification numérique. Nous allons brièvement décrire deux approches générales qui sont souvent utilisées, soit la classification **Supervisée** et la classification **non supervisée**.

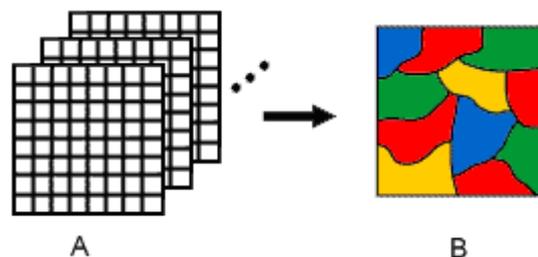


Figure 11 : Classification d'image (source :Carleer A. & Wolff E., 2001)

2.321 Classification non supervisée (ou non dirigée)

La classification non supervisée ou non dirigée détermine automatiquement les classes. Les algorithmes des centres mobiles, (nuées dynamiques appliquées au centre de gravité) et des distances adaptatives sont des méthodes itératives qui, à chaque itération calculent respectivement les centres de gravité ou les distances associées aux classes. Les fonctions discriminantes dépendent, soit des paramètres des densités de probabilité, soit d'un jeu de coefficients qui peuvent être évalués théoriquement par des études physiques, la classification est alors totalement non supervisée.

Elle peut être semi-supervisée quand certains paramètres sont fixés par l'utilisateur en fonction du type d'image et de scène, ou que certains objets sont reconnus par l'utilisateur qui peut ainsi initialiser le processus de recherche des classes pour certaines d'entre elles.

2.322 Classification supervisée

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un **ensemble de données-tests**. La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image.

L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe.

L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Plusieurs algorithmes différents sont possibles. Une fois que l'ordinateur a établi la signature spectrale de chaque classe à la classe avec laquelle il a le plus d'affinités. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent.

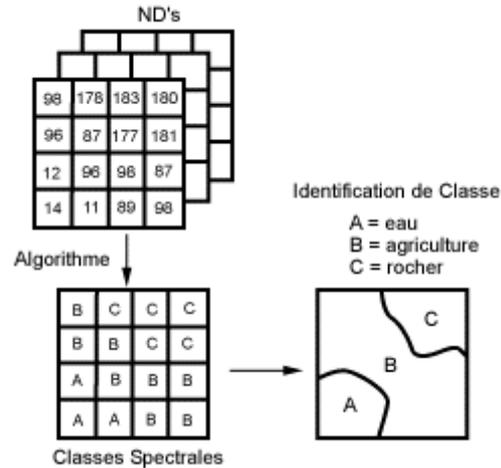


Figure 12 : classification supervisée (source :Carleer A. & Wolff E., 2001)

2.323 Validation de la classification

La dernière étape d'une classification d'image consiste à valider ou pas la classification en évaluant sa pertinence (vérification a posteriori). Pour cela on peut consulter le taux de pixels bien classés dans une matrice de confusion réalisée grâce à un fichier de référence représentant la réalité du terrain SITES DE VÉRIFICATION.

2.3231 Les modes d'échantillonnage des sites de vérification

L'échantillonnage aléatoire (au hasard)

Mode qui se prête bien à l'utilisation des méthodes statistiques conventionnelles mais qui n'est pas particulièrement pratique à mettre en œuvre dans la réalité.

L'échantillonnage stratifié

Premier zonage de l'espace en fonction d'une thématique, puis échantillonnage aléatoire ou systématique à l'intérieur de ces zones.

La matrice de confusion

On évalue l'exactitude d'une classification à l'aide d'une matrice de confusion en reportant les pixels connus par rapport aux pixels classés.

- En colonne : les données issues de la classification.
- En ligne : les données des sites de vérification.
- La diagonale : dénombre les pixels correctement classifiés.

VÉRIFICATION	" Réalité "	CLASSIFICATION										Total
		EAU	FORÊT	NEIGE	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
	EAU	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
	FORÊT	1	24	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	NEIGE	1	1	17	2	2	0	0	0	0	0	23
	C4	0	0	3	25	1	0	0	0	0	0	29
	C5	0	0	0	1	14	0	0	0	0	0	15
	C6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	9	25	21	28	17						100

Figure 13 : exemple de matrice de confusion (source : M. HAKDAOUI., 2005)

2.3232 L'estimateur Kappa

L'estimation de la précision de la classification se fait finalement à l'aide du coefficient de Kappa qui est une mesure de précision et qui exprime la réduction proportionnelle de l'erreur obtenue par une classification comparée à l'erreur obtenue par une classification complètement au hasard.

$$\frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

r est le nombre de lignes de la matrice de confusion

x_{ii} est le nombre de lignes de la matrice de confusion

x_{i+} et x_{+i} sont les totaux marginaux de la ligne i et la colonne i, respectivement

N est le nombre total de pixel observé

2.4 Analyse par composantes principales

C'est la technique d'accentuation des images numériques basée sur la transformée des valeurs de radiance spectrale des ensembles originaux de données d'image corrélées, en nouveaux ensembles de données non corrélées. Méthode d'analyse multivariable utilisée pour réduire le nombre des variables.

Explication:

L'ACP peut aussi être utilisé comme technique de pré-traitement avant une classification non supervisée. De ce fait, la classification de l'image est accélérée et la précision en est améliorée

PARTIE III
TRAITEMENT ET INTERPRETATION

3 traitement des données satellitaires autour du lac Kinkony

3.1 Méthode de classification d'occupation du sol

La méthode utilisée est la classification assistée ou dirigée.

Le principe de la classification assistée est de fournir au logiciel qui effectue la classification à partir de l'image satellite landsat, les échantillons de pixels représentant une région de référence homogènes.

Les données utilisées pour le traitement sont :

- Données vectorielles occupation du sol 1949 du FTM
- Image landsat TM5 1989, colonne 160, ligne 071, acquisition 11 avril 1989
- Image landsat7 ETM+, colonne 160, ligne 071, acquisition 06 septembre 1999
- Images landsat 7 ETM+ 2003, colonne 160, ligne 071, acquisition 10 avril 2003
- Images landsat 5 TM 2005, colonne 160, ligne 071, acquisition 23 avril 2005
- STRM, colonne 160, ligne 071, acquisition 2000

La vectorisation de l'image classifié permet de voir la différence de la superficie de chaque classe en multi-date.

Modélisation de la classification

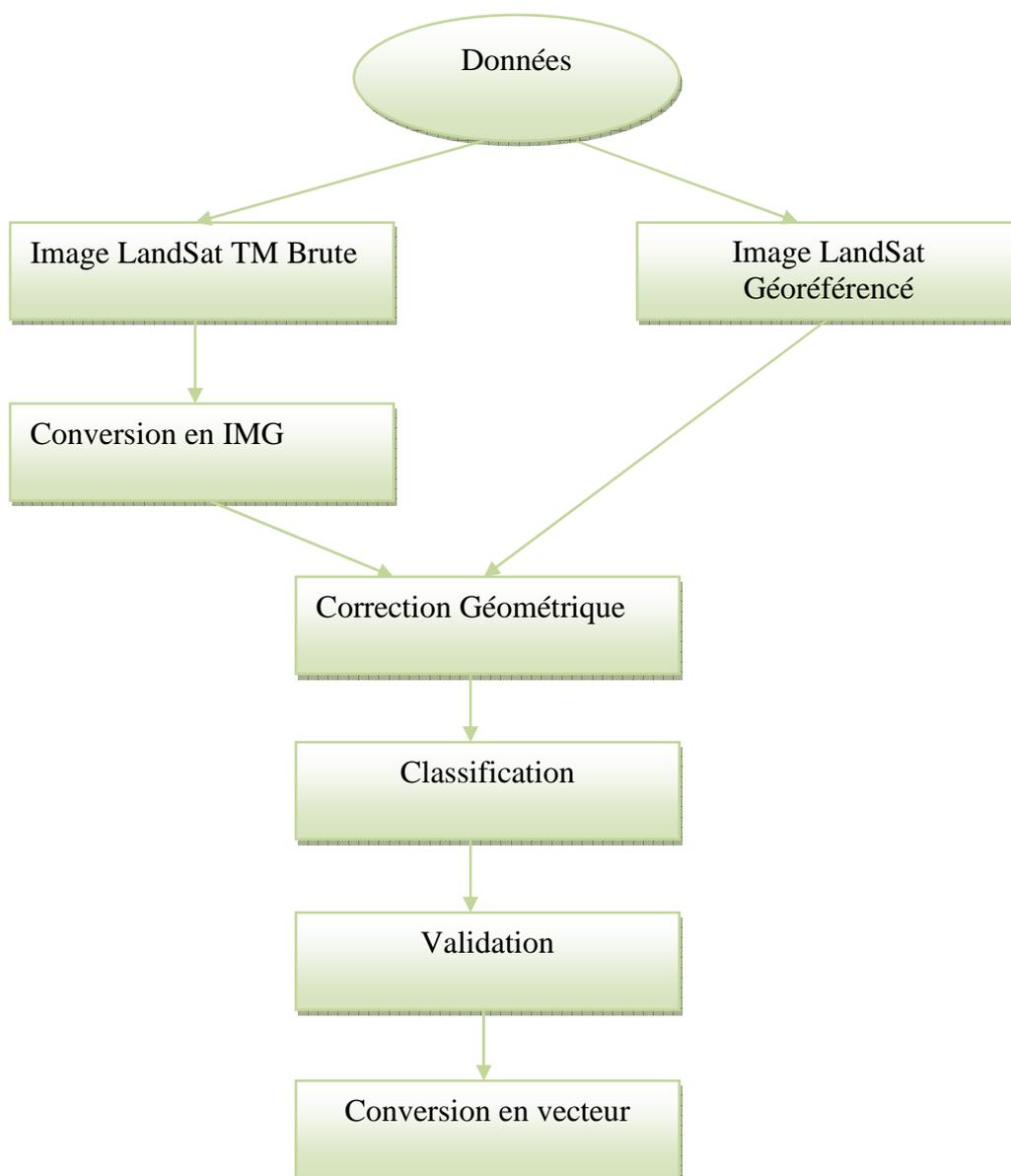


Figure 14: Synoptique du traitement d'images

Tableau 3 : Liste d'occupation du sol autour de Lac Kinkony

Classe	Type
Classe1	Sol nu
Classe2	Grande culture
Classe3	Marécage
Classe4	Forêt dense
Classe5	Forêt dégradé

Classe6	Mangrove
Classe7	Savane arboré
Classe8	Mosaïque de culture
Classe9	Plan d'eau

3.11 Signature spectral d'image Landsat

Ce sont les valeurs radiométriques des pixels de chaque classe qui permettent la caractérisation des différents objets de l'image. Pour les sols, ces valeurs sont fortes dans le visible et le proche infrarouge, et diminuent d'autant plus que le sol est humide.

Dans l'ensemble la signature spectrale des sols est une droite dont l'allure peut être influencée par la réflectance de l'eau ou celle de la végétation quand le pixel n'est pas pur.

D'une manière générale, le degré d'humidité du sol peut être considéré comme un indicateur de dégradation.

Les valeurs radiométriques de végétation sont plus faibles dans le visible que dans le proche infrarouge. De ce fait les courbes de réflectance spectrale des formations végétales de l'image ont toutes la même allure. Toutefois, dans le visible les valeurs radiométriques sont d'autant plus basses que la formation est dotée d'une réflectance chlorophyllienne forte : mangrove.

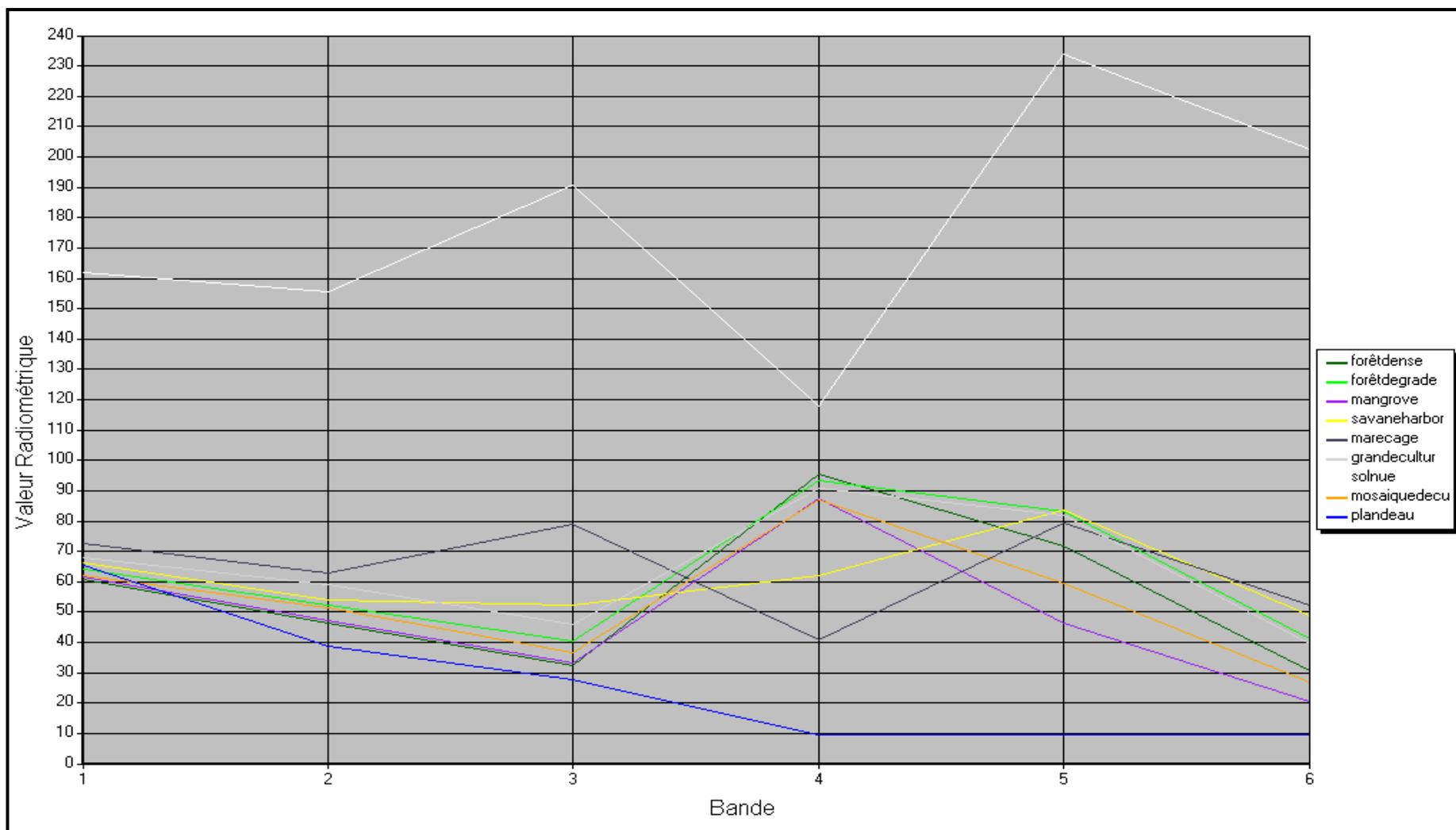


Figure 15 : Signature spectrale d'occupation de sol (source : occupation du sol 2005)

3.12 Occupation du sol

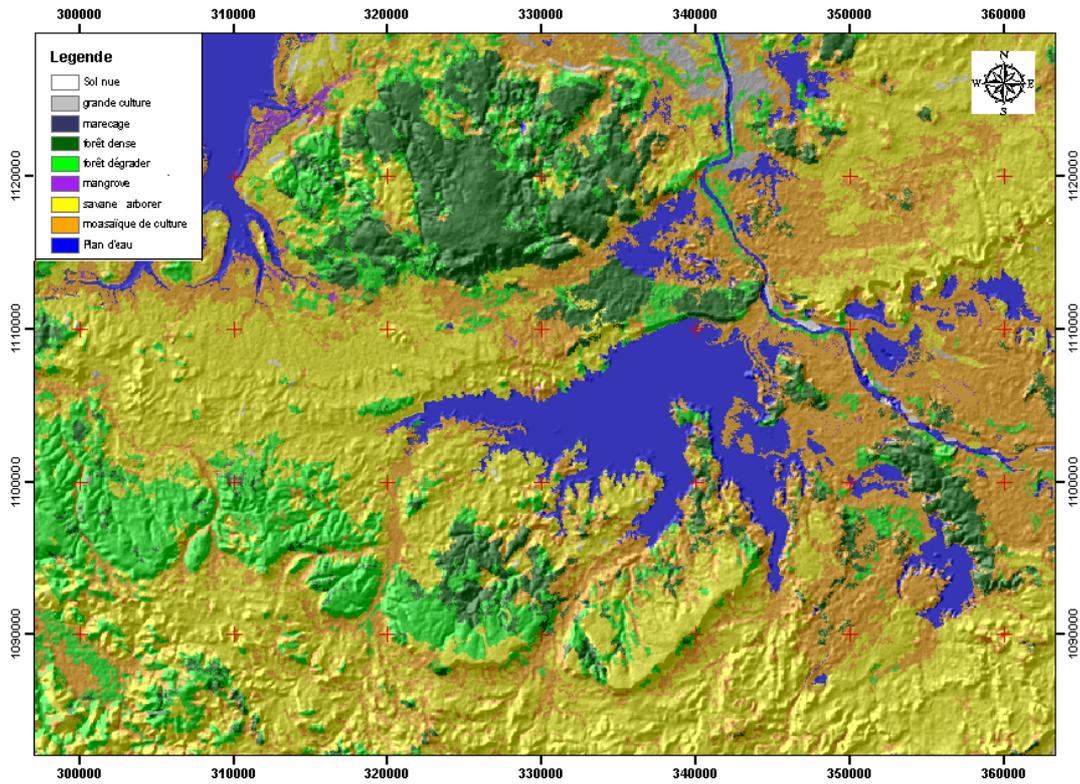


Figure 16 : Occupation du sol, 11 avril 1989

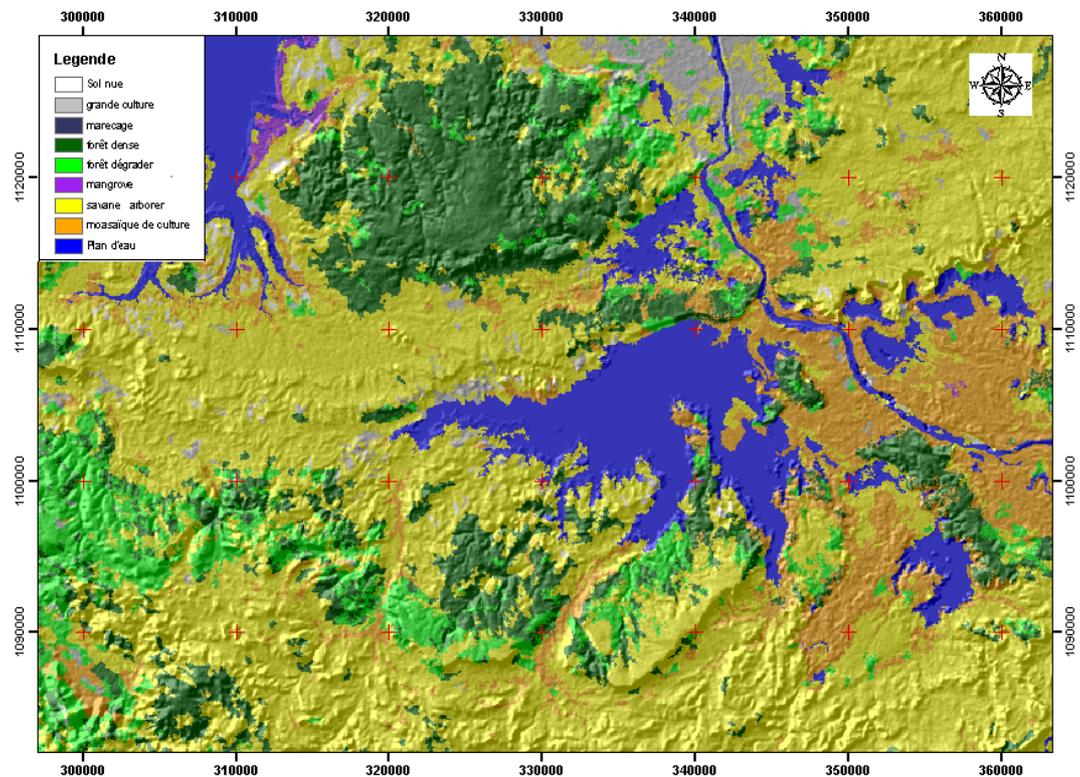


Figure 17 : Occupation du sol, 10 avril 2003

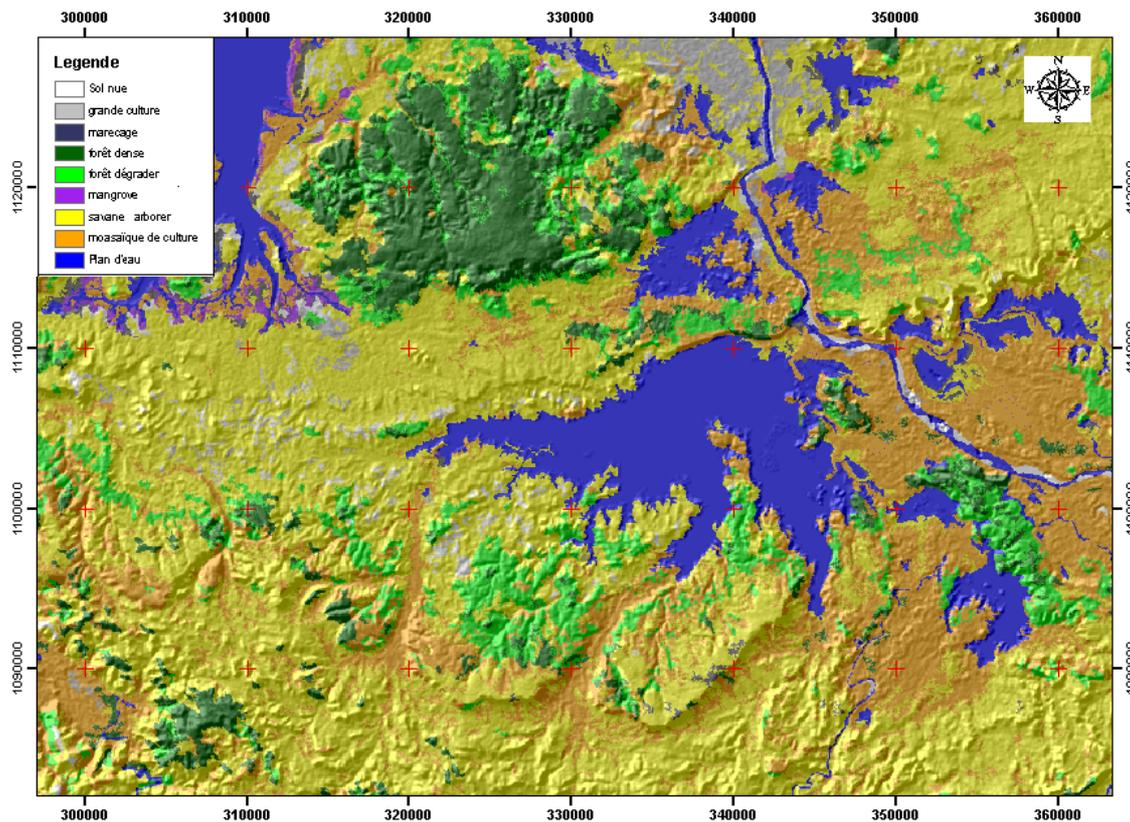


Figure 18 : Occupation du sol , 23 avril 2005

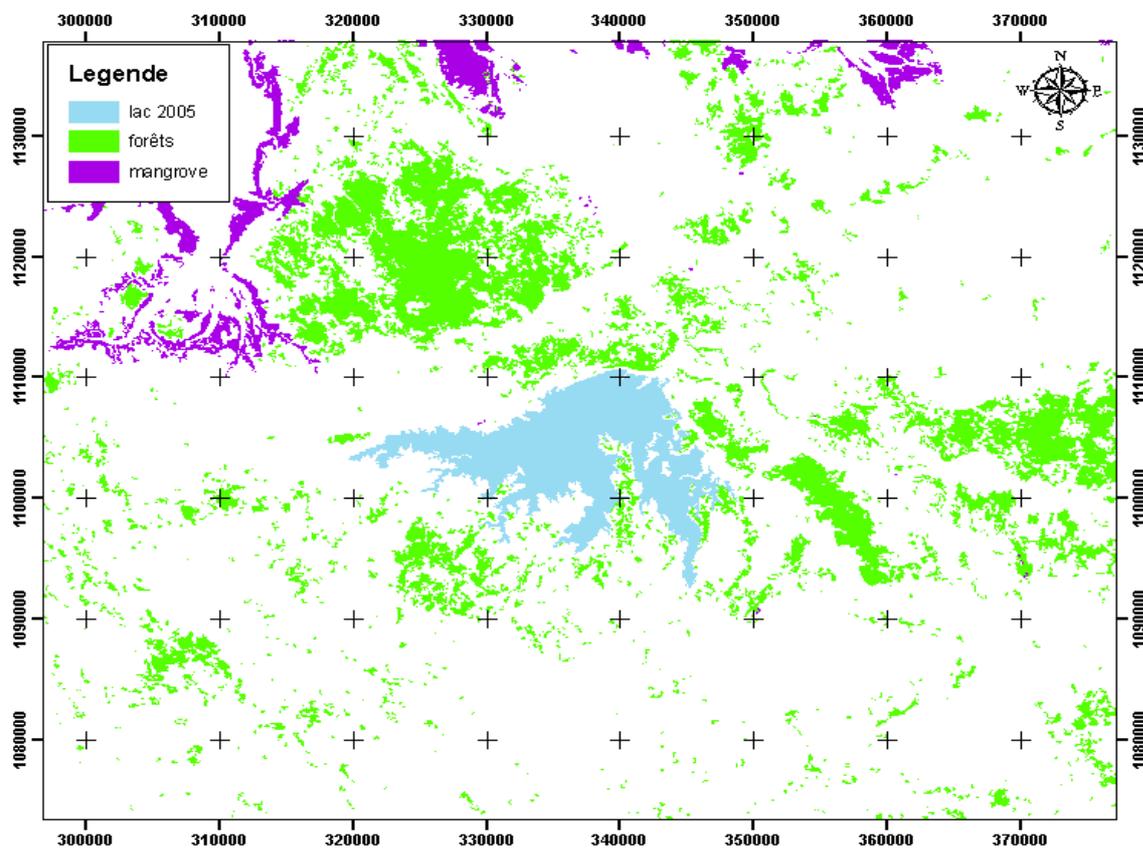


Figure 19 : Evolution forestière Madagascar 2005

La savane arborer est la plus dominante sur l'occupation du sol, on rencontre la culture mosaïque sur les talwegs et la plaine, par contre la grande culture se trouve sur la grande plaine. Les forêts sont trouvées sur les zones de protections et sur les cuestas. Il y a une diminution de la couverture forestière entre les différentes images classifiées surtout sur la partie Sud de lac Kinkony.

Avec la donnée de l'évolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar on a le valeur en % :

- Entre 1990 et 2000, le taux de dégradation des ressources forestières de la région Boeny a été de 0,91%, soit supérieur au taux national de 0,83%.
- Entre 2000 et 2005, le taux de dégradation a baisse à 0,4%.

Tableau 4 : Evolution des couvertures forestières en 1990, 2000 et 2005(*source : MEFT, USAID et CI, 2008*)

District	Couverture des forêts naturelles (hectares)			Taux de déforestation (% par an)	
	1990	2000	2005	1990-2000	2000-2005
Mitsinjo	78 200	72 665	70 856	0,71	0,37
Soalala	90 032	84 591	83 734	0,61	0,06

Cette dégradation est à cause de :

- La population utilise la forêt comme source de bois de chauffe, de charbon de bois et de bois de construction.
- Les forêts littorales disparaissent également au profit de l'agriculture, de la production de charbon et de l'approvisionnement en bois de chauffe.
- Pour l'exploitation des bois d'œuvre, les bois les plus utilisées sont le Palissandre et l'Arofy.
- Le bois de Mangrove est également transformé en bois ronds servant d'armature dans la construction. Des bûcherons et des marchands de bois de Mahajanga viennent dans les mangroves pour la collecte de bois et pour le charbon.
- Les feuilles et pétioles de Satrana, un palmier des zones calciques et des formations forestières secondaires, sont également très utilisés pour la construction des cases.

3.13 Validation de la classification

C'est l'estimation de la pertinence de la classification au travers de Matrices de confusion. Il s'agit, pour cela, de disposer de zones constituant des '*vérités terrains*' et de les comparer à la classification.

La classification réalisée à partir de données Landsat a ainsi permis d'aboutir à 85% en moyenne de pixels correctement classés. Soient 83,74 % en 1989, 83,67% en 2003 et 90,29% en 2005.

L'analyse des Matrices de confusion permet donc de valider les protocoles.

Tableau 5 : Matrice de confusion 1989

		Classification											
		Sol nu	marécage	mangrove	Savane arboré	Mosaïque de culture	Plan d'eau	Forêt dense	Forêt dégradé	Grande culture	totale	précision producteur	Erreur d'omission
Référence	sol nu	394	0	0	196	0	0	0	4	0	594	66,33%	33,67%
	marécage	0	774	2	0	203	1	0	0	0	980	78,98%	21,02%
	mangrove	0	13	6067	0	4444	0	60	13	0	10597	57,25%	42,75%
	Savane arboré	6	0	0	7937	601	4	3	267	3	8821	89,98%	10,02%
	Mosaïque de culture	0	25	350	184	23474	10	233	1078	22	25376	92,50%	7,50%
	Plan d'eau	0	0	0	0	77	13911	0	0	0	13988	99,45%	0,55%
	Forêt dense	0	0	0	0	356	0	33189	4201	0	37746	87,93%	12,07%
	Forêt dégradé	0	0	0	14	1591	0	2156	23883	42	27686	86,26%	13,74%
	Grande culture	0	0	0	0	364	0	2	230	2343	2939	79,72%	20,28%
	TOTAL	400	812	6419	8331	31110	13926	35643	29676	2410	128727		
Précision utilisateur	98,50%	95,32%	94,52%	95,27%	75,45%	99,89%	93,12%	80,48%	97,22%				
Erreur de commission	1,50%	4,68%	5,48%	4,73%	24,55%	0,11%	6,88%	19,52%	2,78%				
Précision globale		83,74%											

Tableau 6 : Matrice de confusion 2003

		Classification											
		Forêt dense	Plan d'eau	Sol nu	mangrove	marécage	Grande culture	Mosaïque de culture	Savane arboré	Forêt dégradé	total	Précision producteur	Erreur d'omission
référence	Forêt dense	14330	0	0	0	0	28	4	19	1570	15951	89,84%	10,16%
	Plan d'eau	0	5440	0	0	0	0	0	0	0	5440	100,00%	0,00%
	Sol nu	0	0	259	0	0	0	0	15	0	274	94,53%	5,47%
	mangrove	2	0	0	2360	0	1	4	0	0	2367	99,70%	0,30%
	marécage	0	32	0	0	934	0	0	63	0	1029	90,77%	9,23%
	Grande culture	4	0	0	0	0	4081	16	1233	240	5574	73,21%	26,79%
	Mosaïque de culture	31	0	0	2	0	159	919	2401	85	3597	25,55%	74,45%
	Savane arboré	9	0	0	2	17	232	22	17909	36	18227	98,26%	1,74%
	Forêt dégradé	555	0	0	0	0	208	15	203	3425	4406	77,73%	22,27%
	TOTAL	14931	5472	259	2364	951	4709	980	21843	5356	56865		
Précision utilisateur	95,97%	99,42%	100,00%	99,83%	98,21%	86,66%	93,78%	81,99%	63,95%				
Erreur de commission	4,03%	0,58%	0,00%	0,17%	1,79%	13,34%	6,22%	18,01%	36,05%				
Précision globale		83,65%											

Tableau 7 : Matrice de confusion 2005

		Classification											
		Forêt dense	Forêt dégradé	marécage	Grande culture	Plan d'eau	mosaïque de culture	Sol nu	mangrove	Savane arboré	Total	Précision Producteur	erreur de commission
Référence	Forêt dense	16626	958	0	0	1	0	0	0	0	17585	94,55%	5,45%
	Forêt dégradé	865	2192	0	73	3	1	0	2	1	3137	69,88%	30,12%
	marécage	0	0	1541	2	23	4	0	0	4	1574	97,90%	2,10%
	Grande culture	5	77	0	3600	1	96	0	0	96	3875	92,90%	7,10%
	Plan d'eau	0	0	0	0	29099	0	0	0	0	29099	100,00%	0,00%
	mosaïque de culture	4	21	7	227	10	3101	0	4	3101	6475	47,89%	52,11%
	Sol nu	0	0	0	0	0	6	624	0	6	636	98,11%	1,89%
	mangrove	4	4	0	1	1	0	0	2659	0	2669	99,63%	0,37%
	Savane arboré	0	0	0	0	0	0	0	0	10042	10042	98,74%	1,26%
	TOTAL	17504	3252	1548	3903	29138	3208	624	2665	13250	75092		
Précision utilisateur	94,98%	66,97%	92,17%	92,24%	99,87%	96,66%	98,11%	99,77%	79,31%				
Erreur de commission	5,02%	33,03%	7,83%	7,76%	0,13%	3,34%	1,89%	0,23%	20,69%				
Précision globale		90,29%											

3.2 Evolution de la superficie Lac Kinkony entre 1949 et 2005

Le dynamisme des lacs n'est pas directement visible par comparaison d'image entre les différentes dates, mais en comparant la superficie du lac entre les différentes dates à partir de l'image classifiée, on peut voir l'évolution du lac Kinkony.

Tableau 8 : évolution de la superficie du Lac Kinkony

Année	Superficie en m ²	Superficie en ha
Lac1949	148738640.00	14873.86
Lac1989	156730771.53	15673.07
Lac2003	156399829.93	15639.98
Lac2005	156979855.10	15697.98

3.2.1 Histogramme de variation de la superficie entre 1949 et 2005

- Augmentation de la superficie entre 1949 et 1989 : 7992131.53m² ou 799.21ha
- Diminution de la superficie entre 1989 et 2003 : 330941.6m² ou 33.09ha
- Augmentation de la superficie entre 2003 et 2005 : 580025.17m² 58.00ha

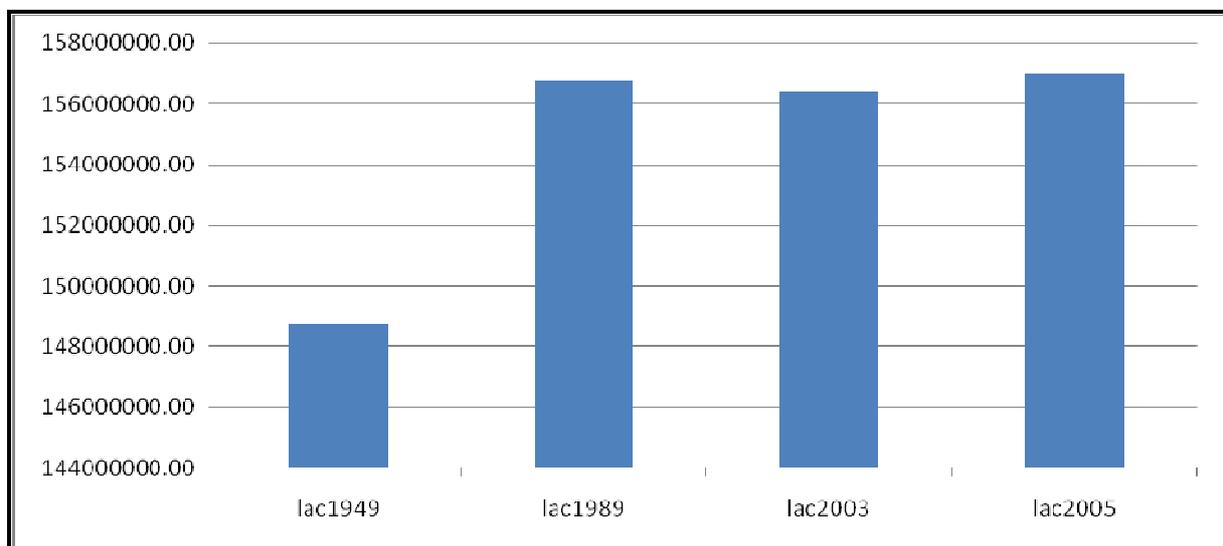


Figure 20 : Histogramme de la variation de la superficie du Lac Kinkony

L'augmentation de la superficie du lac entre 1949 et 1989 est à la cause de la disparition du phragmite ou « Bararata » du Lac Kinkony. Les vivants autour du Lac Kinkony ont un mode de culture de riz très particulier. Vers la fin de la période des crues, le riz est cultivé sur

les parties peu profondes des petites embouchures du lac. Dans la partie de Makary, ces petites embouchures sont occupées par les Bararata. Pour pouvoir y cultiver le riz, les paysans emploient des feux pour faire dégager l'espace (Conservation des ZICO, 2000).

Le Bararata qui est l'habitat spécifique de l'*Amauornis olivieri* se trouve alors très diminué. En plus, il y a l'utilisation quotidienne de la population locale (fabrication de natte et paniers) qui contribue aussi à la destruction mais peu significatif.

3.3 Composition coloré d'image en couleur naturel bande TM 321

L'observation des compositions colorées d'images de satellite en couleur naturelle permet d'identifier le changement de chaque image. La période de l'acquisition de l'image 1989, 2003 et 2005 est pendant la saison des pluies ; Seul l'image en 2000 est acquis pendant la saison sèche.

Avec l'image 1989, 2003 et 2005, on constate que les sédiments sont par la suite transportés par les rivières et le fleuve de Mahavavy jusqu'à la mer, s'entassent et se colmatent, entraînant l'envasement de ces zones. Cet envasement des zones humides conduit à l'encombrement et à la réduction de la superficie des plans d'eaux. Elle est particulièrement déviatrice sur les mangroves.

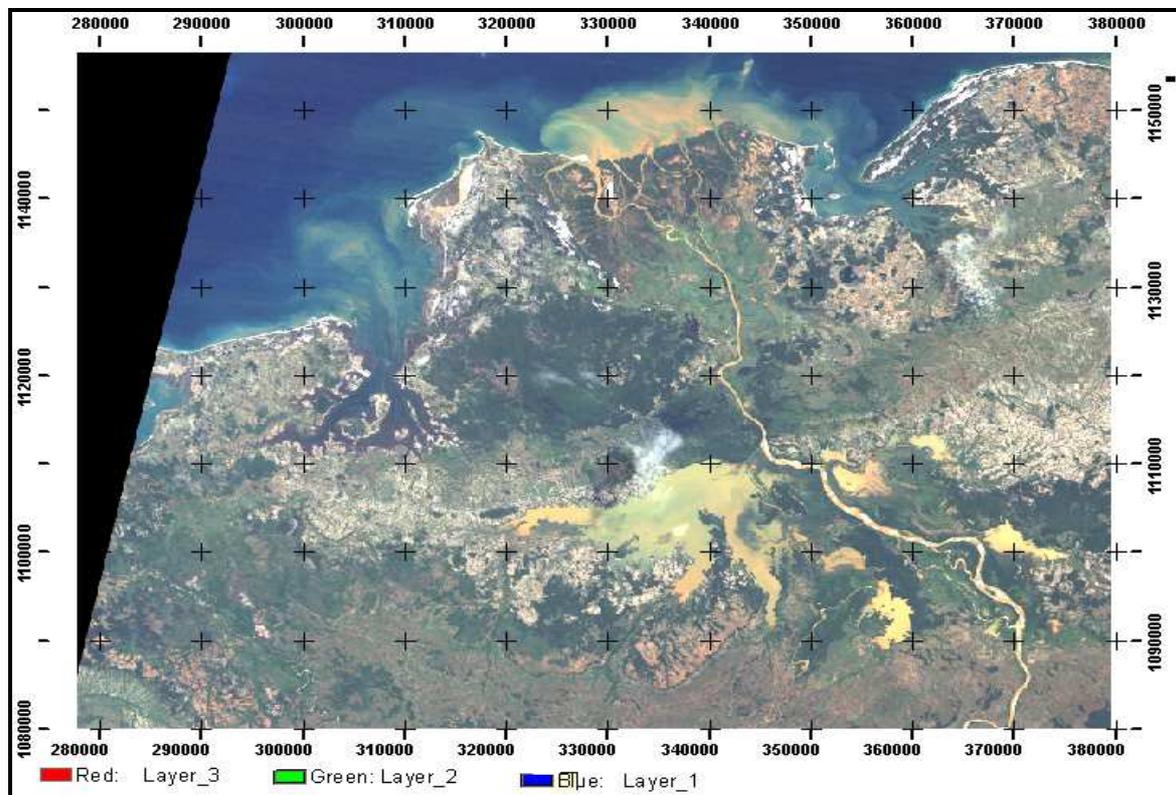


Figure 21 : Couleurs naturelles – Landsat 5 TM Band 321- 11 avril 1989

L'image satellite 1999 montre l'existence de l'érosion du sol sur les bassins versants autour de Lac Kinkony. Les lacs sont presque coloré rouges orangées.

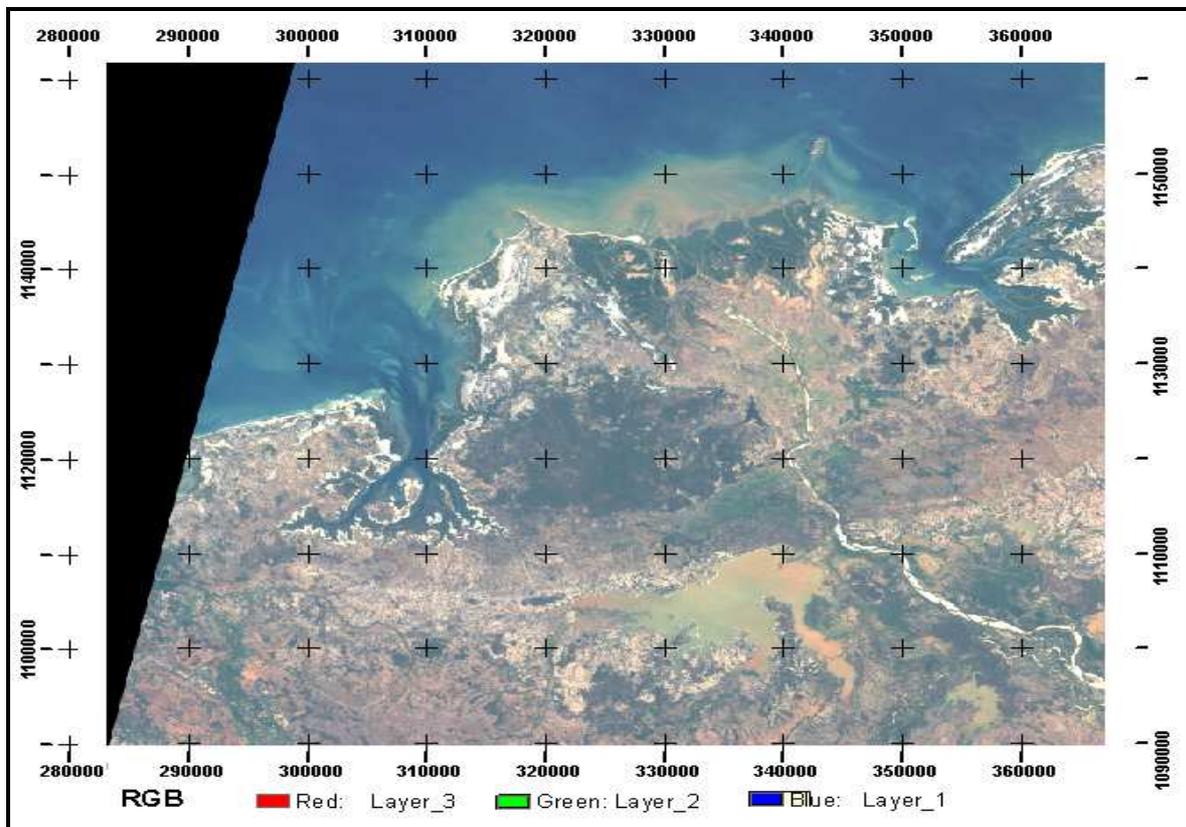


Figure 22: couleurs naturels – Landsat5 TM Band 321- 06 septembre 1999

Avec l'image 1999 pendant la saison sèche. Il y a un envasement des lacs et des mangroves à cause de l'érosion de bassins versants, ce là entraîne un changement de la qualité de l'eau. La couleur du lac presque en rose indique une diminution de la profondeur du lac.

Ce changement entraîne aussi la variation de la salinité et d'acidité de la qualité de l'eau, cela provoque la diminution des populations de poissons et d'oiseaux d'eau.

A la saison sèche le lac Kinkony se vident dans le fleuve Mahavavy.

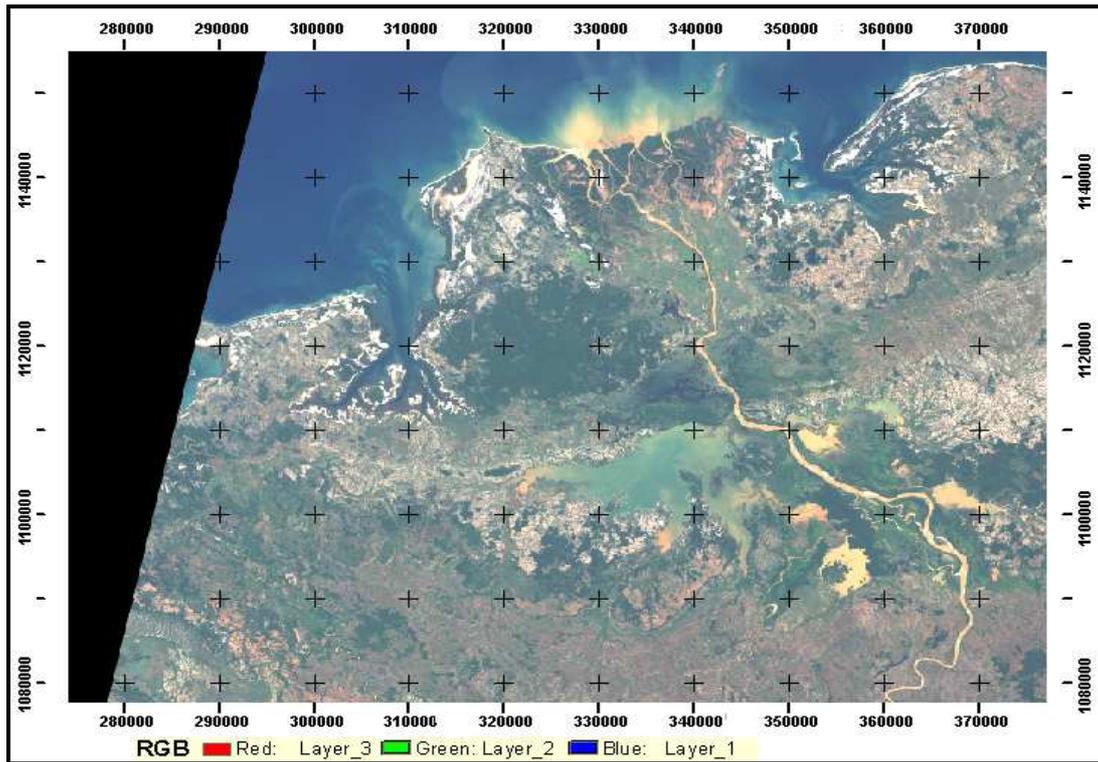


Figure 23 : couleurs naturels – Landsat5 TM Band 321- 10 avril 2003

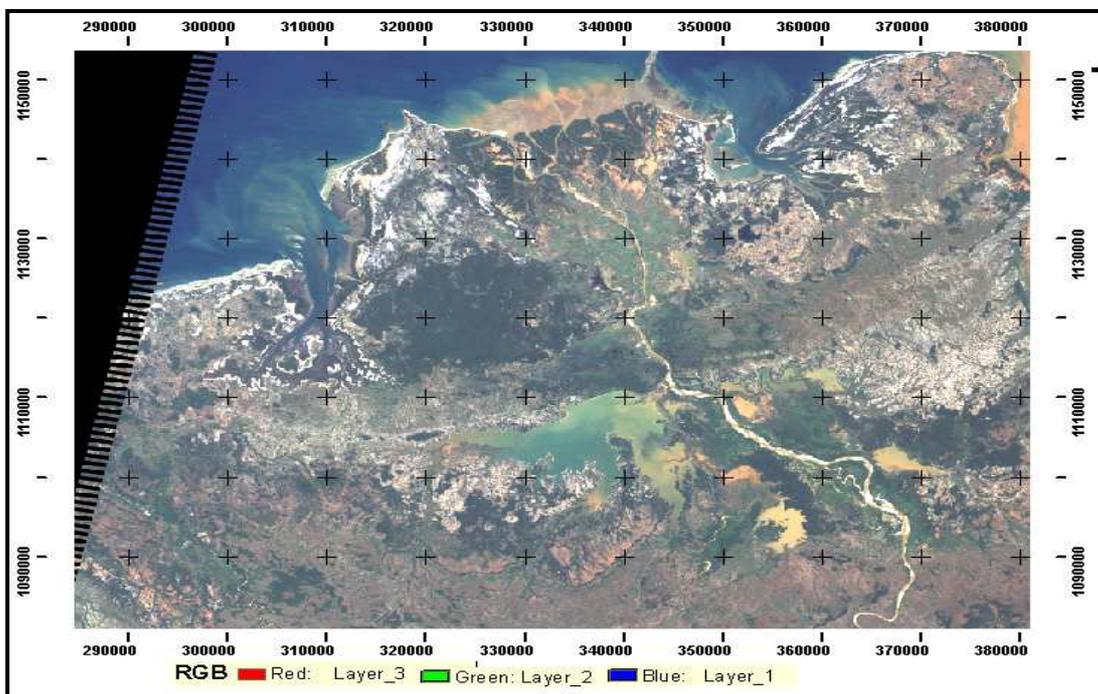


Figure 24 : couleurs naturels – Landsat5 TM Band 321-23 avril 2005

Les images 2003 et 2005 montrent le renouvellement de la qualité d'eau dans lac pendant la saison de pluie.

Le lac Kinkony et les autres lacs près de lac Kinkony sont plus ou moins reliés à la fleuve Mahavavy par des bras qui servent soit à les remplir soit à les vider. En saison des pluies les eaux du fleuve enflent et une partie de celle-ci vont remplir les différents lacs. A la saison sèche, le courant s'inverse dans ces bras et les lacs se vident dans la Mahavavy. Ils jouent en quelque sorte le rôle de régulateur.

3.4 Indice de végétation NDVI et indice de Brillance autour du Lac

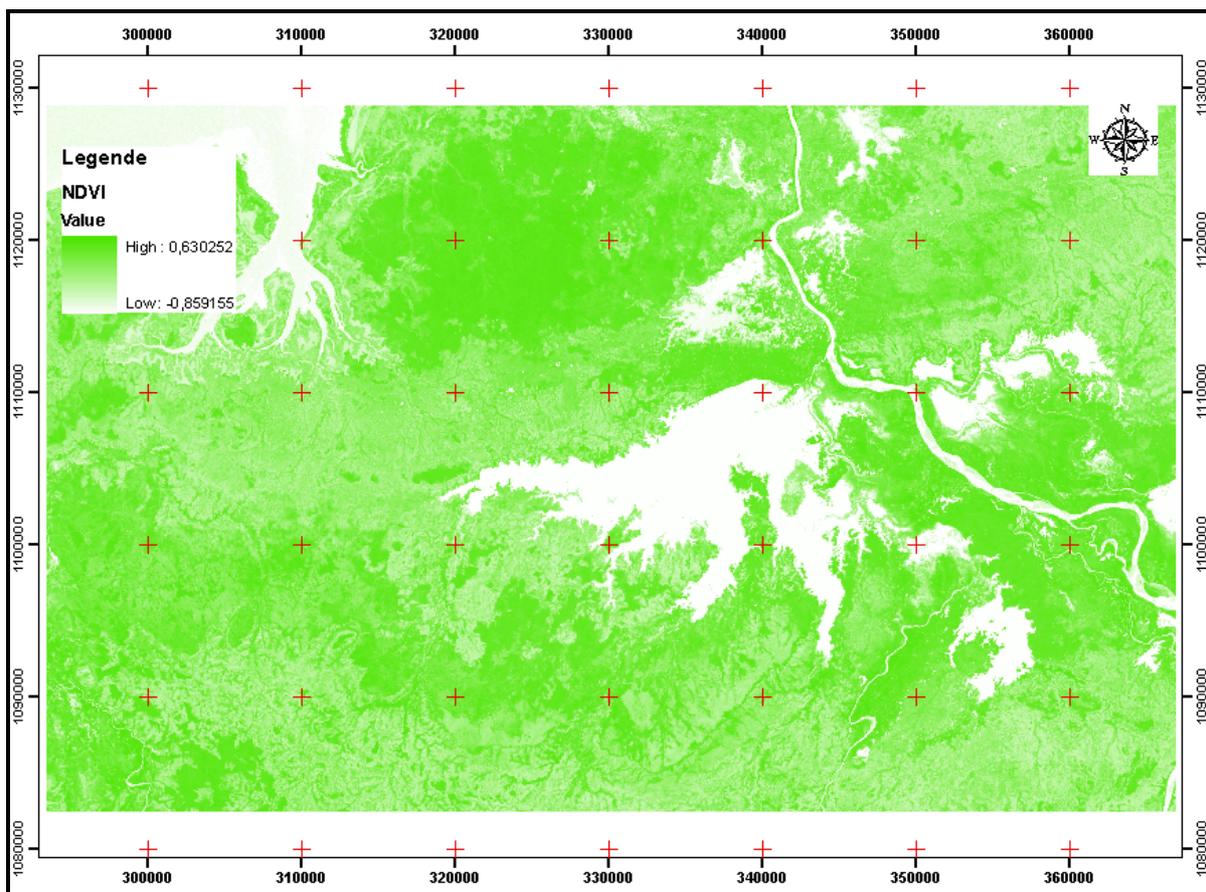


Figure 25 : indice de végétation Lac Kinkony.

On constate que l'image en couleur verte représente la présence de végétation. Il n'y a pas de différence entre l'indice de végétation en multidate.

Avec la comparaison de l'image d'indice de brillances 1989 et 2005, on constate que les zones sur le cercle rouge ayant une existence d'érosion au sol sur le bassin versants autour du Lac. Cette érosion due à des activités humaines. Les activités humaines dans cet endroit sont : de brousse, culture sur brûlis (tavy et hatsake), charbon de bois, bois de chauffe, bois d'aménagement.

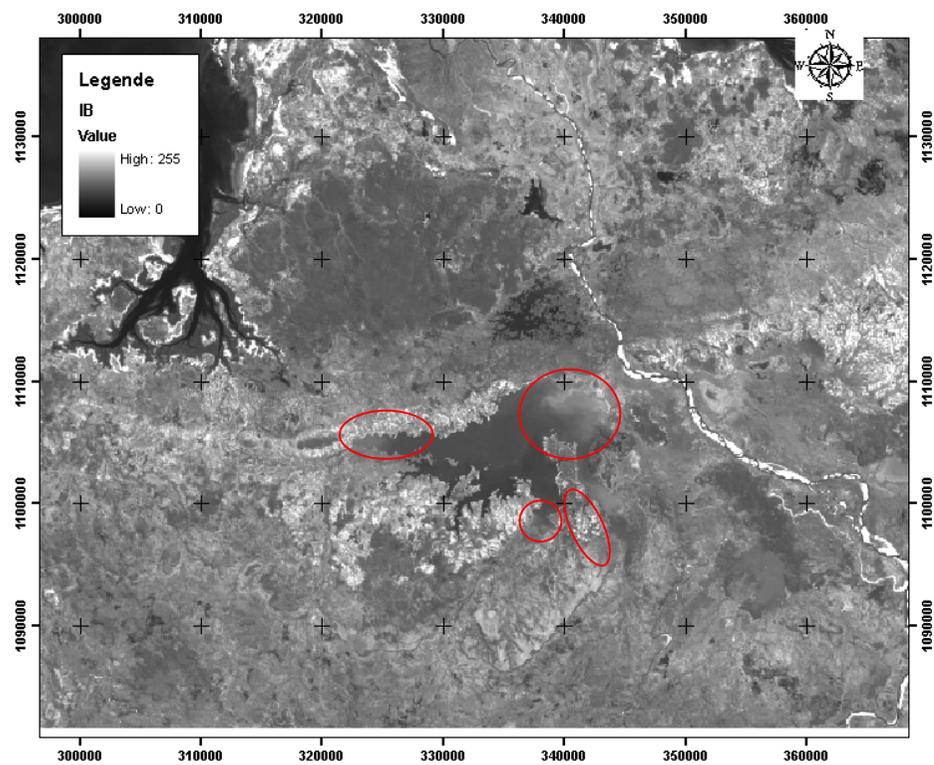


Figure 26 : Indice de brillance année 1989

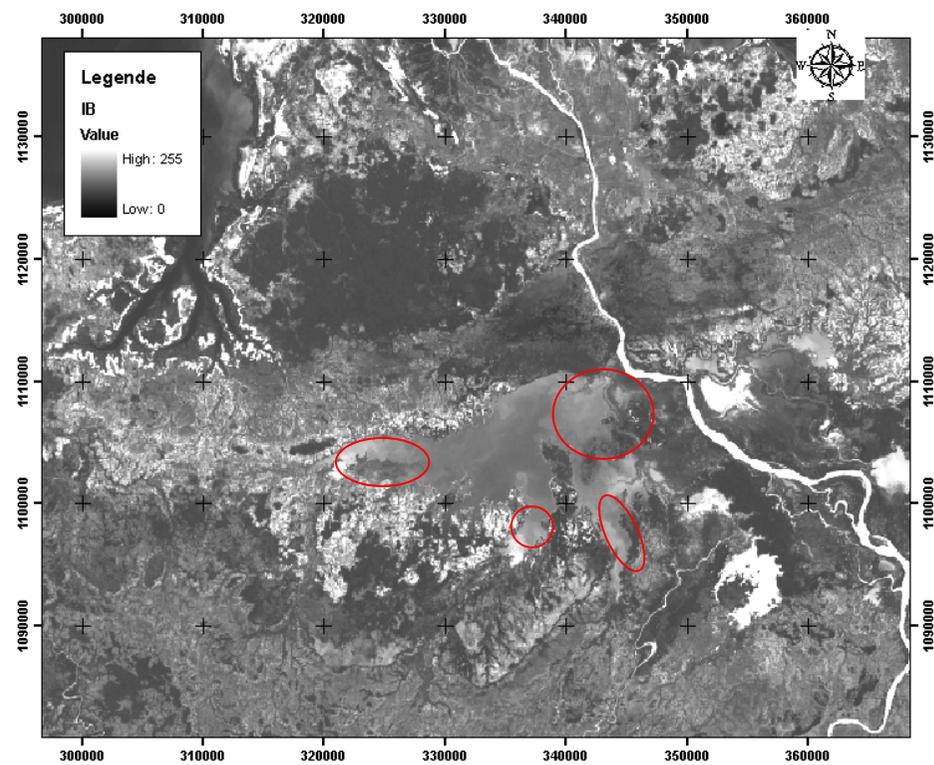


Figure 27 : Indice de brillance année 2005

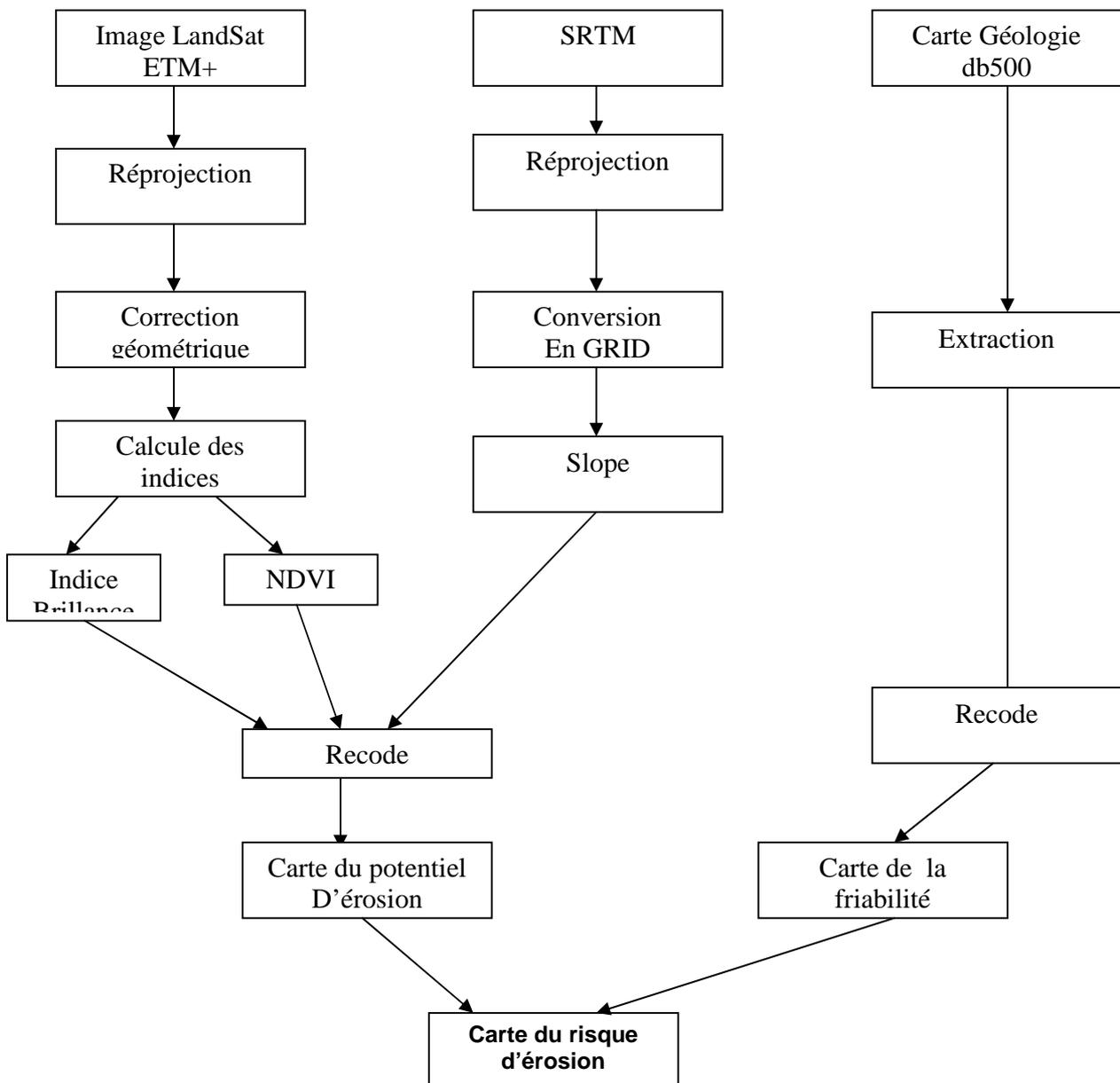
3.6 Modélisation de la simulation de la carte de risque d'érosion

La modélisation suivie au cours de cette étude repose sur des données satellitaires (LandSat5 TM, SRTM). Ces données sont ensuite intégrées et analysées dans un environnement SIG pour la restitution et la cartographie des zones exposées à l'érosion hydrique.

- une image Landsat5 TM, résolution 30m x 30m, date d'acquisition : 23 avril 2005.

-une image SRTM, résolution 90m x 90m.

-bd 500 géologie Madagascar.



3.6.1 Carte de friabilité

Avec notre connaissance du terrain et la description de la nature des roches sur la carte géologique, nous avons déterminé la friabilité des matériaux affleurant. On peut ainsi distinguer quatre classes de matériaux (cf tableau 9) : résistants, moyennement résistants, vulnérables et très vulnérables. À chaque classe est assigné un indice variant entre 1 et 10, 1 étant affecté aux matériaux moins exposés à l'érosion et 10 aux matériaux les plus exposés à l'érosion.

Tableau 9 : Classes de la friabilité des matériaux et indices attribués.

LITHOLOGIE	Friabilité des matériaux	Indice attribué	
Basaltes, Limburgites, Sakalavites	Matériaux résistants 	1	
Grès glauconieux, Grès à stratifications entrecroisés		2	
Calcaires, Dolomies ; Calcaires argileux, Marno-calcaires, Marnes sableuses, Argiles à gypse		3	
Dolomies, Calcaires argileux, Grès\ Dolomies, Calcaires dolomitiques		3	
Grès versicolores à stratifications entrecroisés, Grès argileux,		4	
Lumachelles		5	
Grès argileux stratifications entrecroisés,		5	
Marnes, Calcaires argileux, niveaux phosphatés		5	
Marnes, Marno-calcaires, Marnes crayeuses à huitres		6	
Marnes, Argiles, Calcaires, Dolomies		7	
Vases de mangrove		8	
Marnes, Argiles à gypse, Calcaires argileux		8	
Argiles ferrugineuses, Argiles sableuses,		9	
Alluvions, Sables		10	
Carapaces sableuses, Sables roux		Matériaux très vulnérables	10

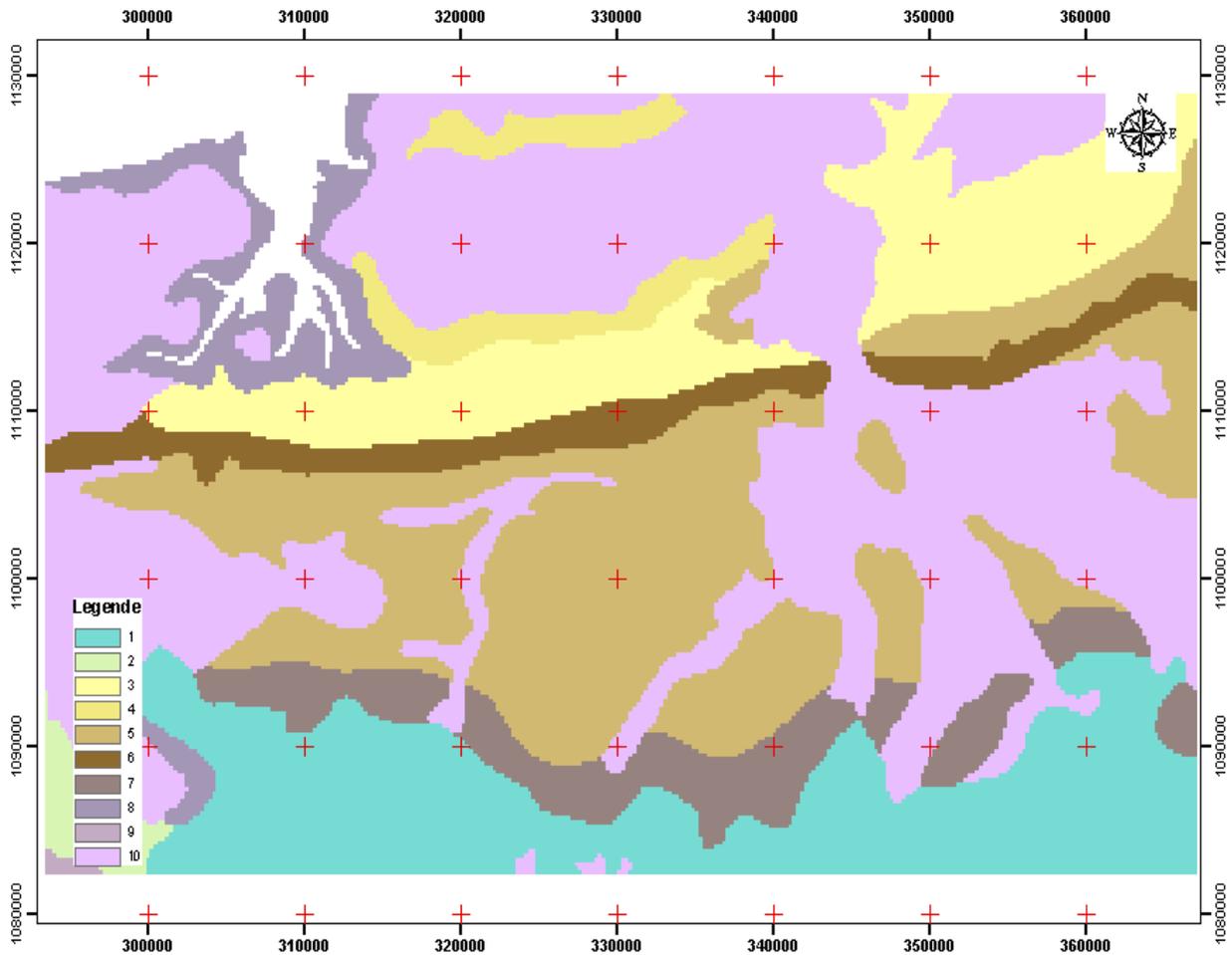


Figure 28 : carte géologie du lac Kinkony en format GRID

3.6.2 carte des pentes

À l'aide du logiciel Arc View et Erdas Imagine, on peut produire la carte des pentes, qui a été subdivisée en dix classes. Pour chaque classe de pente est assigné un indice variant entre 1 et 10.

Les classes de pentes sont définies à partir des mesures de pente reliées aux observations sur l'état de l'érosion sur le terrain pendant la saison pluvieuse.

Tableau 10 : Classes des pentes et indices attribués. Slope classes and corresponding indices.

Degré de pente (°)		Indice attribué
0-2	Risque à érosion hydrique faible	1
2-4		2
4-7		3
7-9		4
9-11		5
11-13		6
13-16		7
16-18		8
18-20		9
20-22	Risque à érosion hydrique élever	10

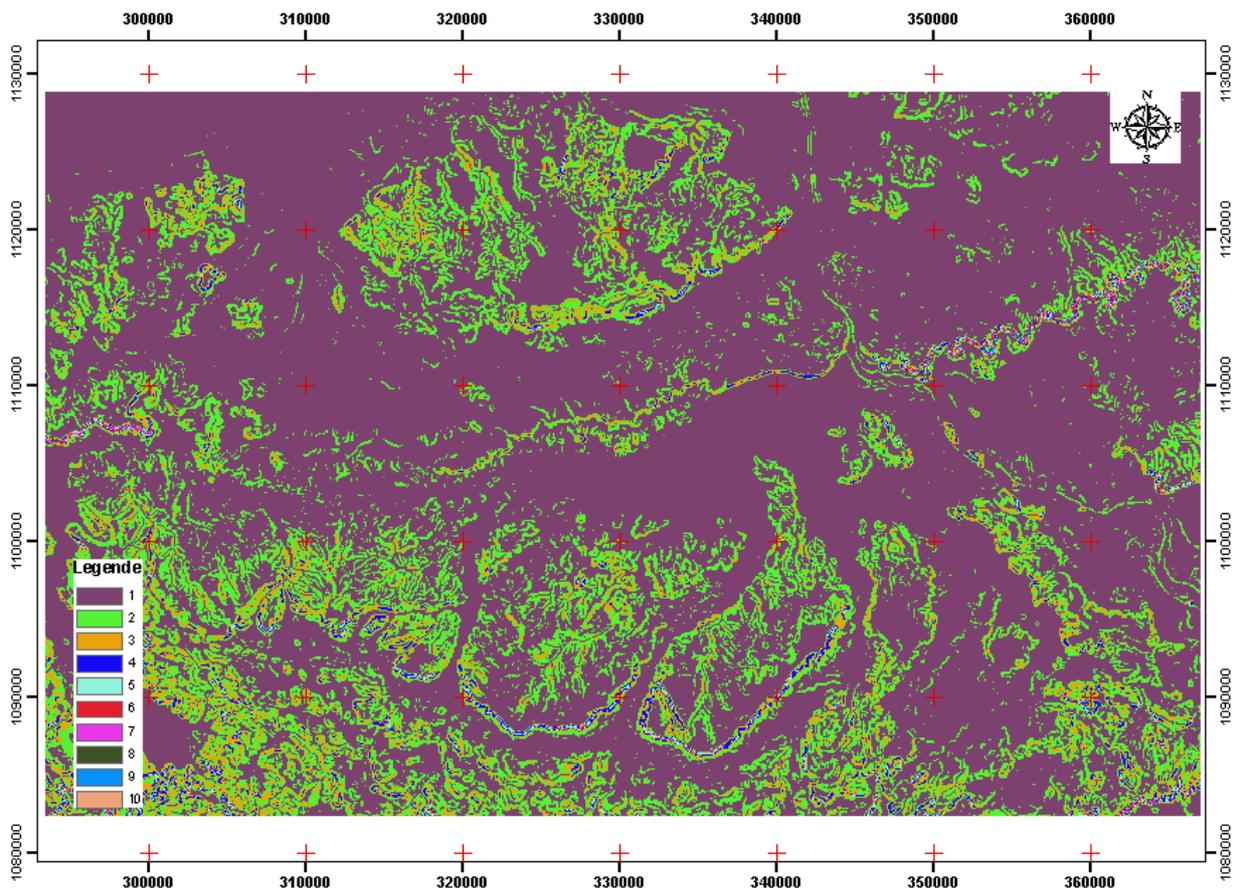


Figure 29 : carte de pente

3.6.3 Carte d'indice de végétation

La classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance, basée sur l'observation directe des catégories d'indice de végétation, a permis d'obtenir une carte d'indice des végétations. Dix classes sont ainsi identifiées : les Végétations denses au sol nu.

Chaque classe est assignée à une valeur entre 1 et 10, 1 étant affecté à la classe la moins vulnérable et 10 à la classe la plus vulnérable.

Tableau 11 : Vulnérabilité, indice des végétations.

Indice de vegetation	Indice attribué	Vulnérabilité
Végétation dense	1	Moins vulnérable
↓	↓	↓
Sol nu	10	Plus vulnérable

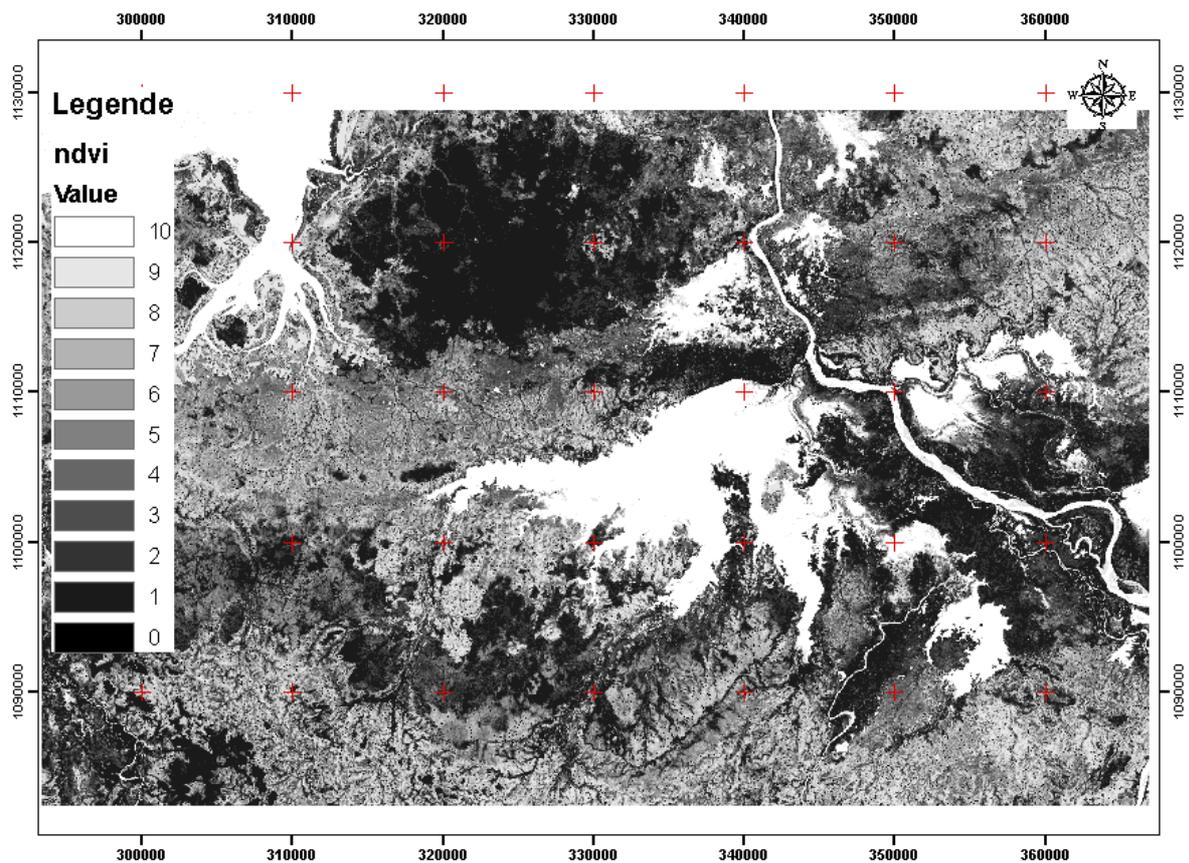


Figure 30 : Indice de végétation

3.6.4 Carte d'indice de brillance

La classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance, la plus haut de l'indice de brillance indique la zone sensible à l'érosion. Dix classes sont ainsi identifiées : la faible à l'érosion jusqu'à plus fort à l'érosion

Chaque classe est assignée à une valeur entre 1 et 10, 1 étant affecté à la classe la moins vulnérable et 10 à la classe la plus vulnérable.

Tableau 12 : vulnérabilité d'indice de brillance

Indice de brillance	Indice attribué	Vulnérabilité
Moins brillant	1	Moins vulnérable
↓	↓	↓
Plus brillant	10	Plus vulnérable

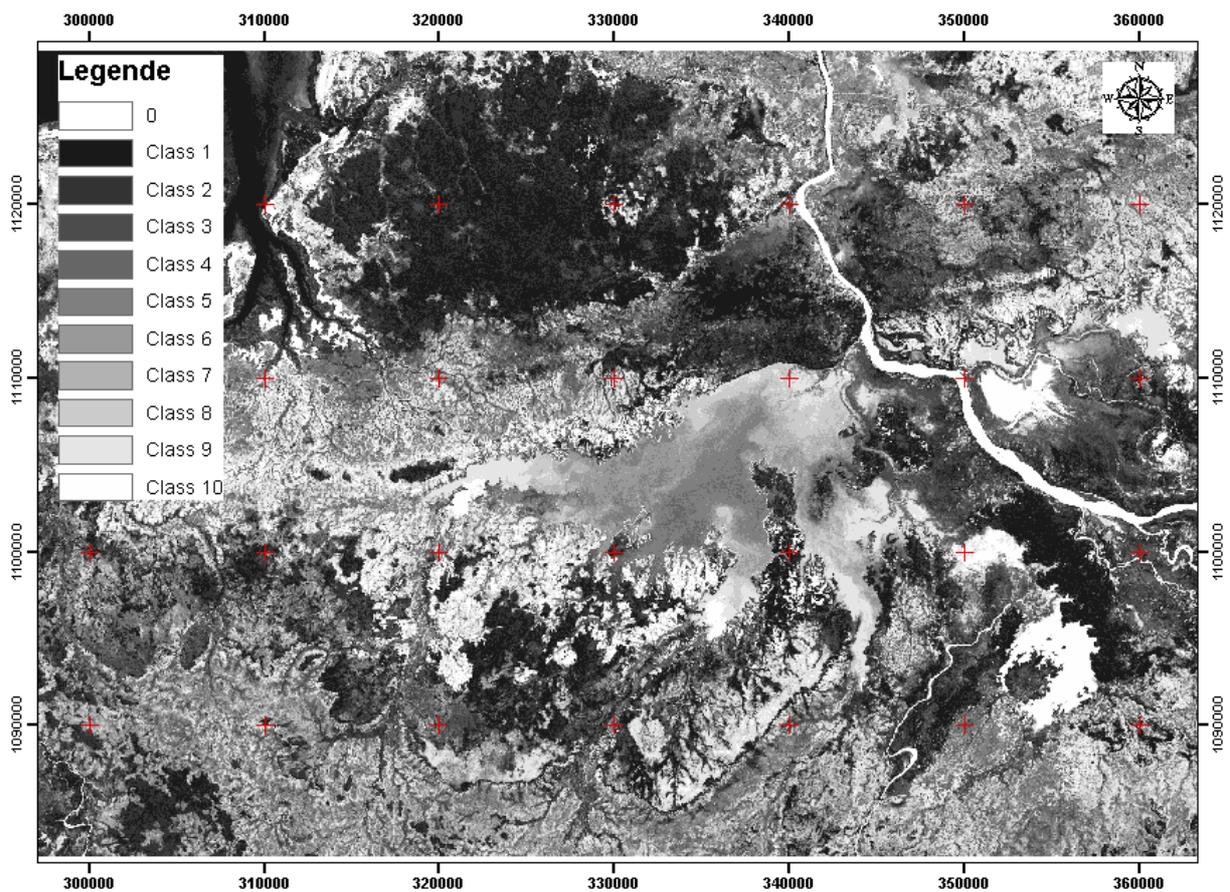


Figure 31 : Indice de brillance

3.6.5 Carte de risque d'érosion autour du Lac Kinkony

La combinaison de la carte risque d'érosion et la MNT permet de visualiser les zones le plus touchées, mais on classifie en 4 classes pour voir l'érosion faible, moyen, fort et très fort.

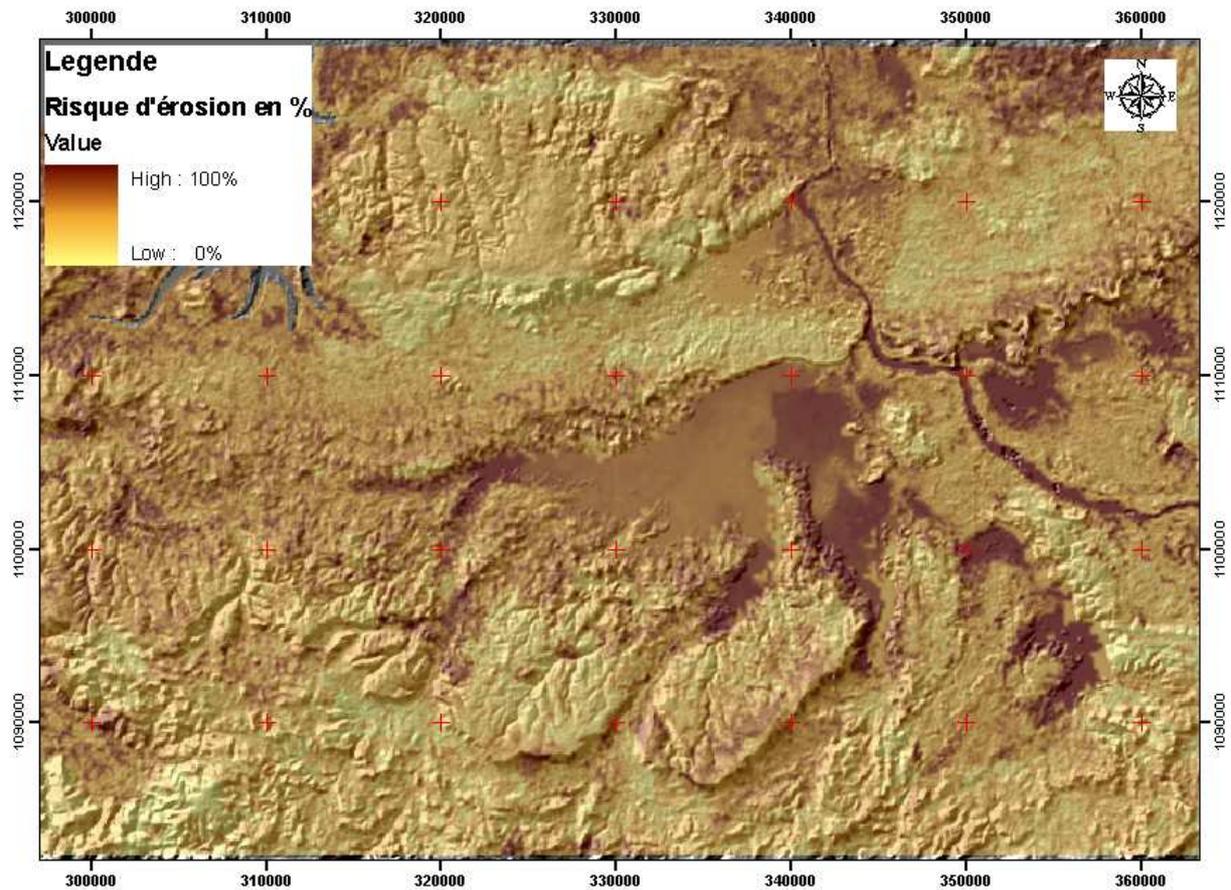


Figure 30 : Carte du potentiel d'érosion. Erosion potential map.

On classe la carte du potentiel d'érosion à partir de diagramme de pixel.

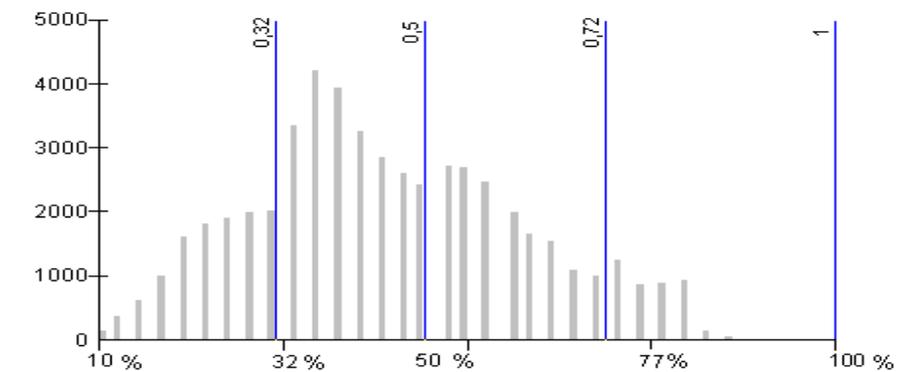


Figure 31 : diagramme de pixel

Quatre classes aussi de risque d'érosion sont délimitées : faible (10 % à 32%), moyen (32% à 50%), fort (50 % à 72%) et très fort (72 % à 100%).

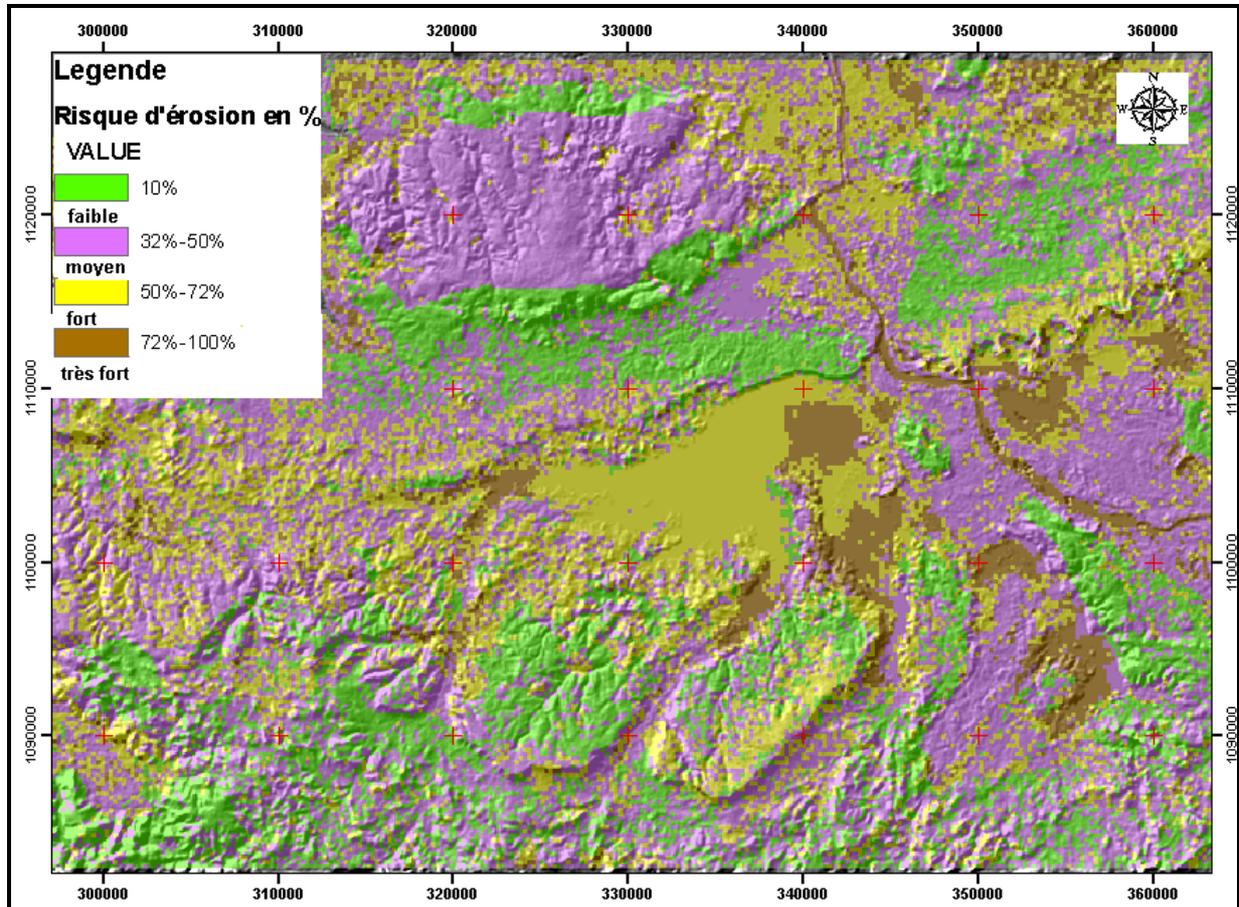


Figure 32 : Carte du potentiel d'érosion classifiée.

Les zones détectées à risque d'érosion très fort sont les zones en risque de sédimentation. Il y a une diminution de profondeur du lac dans ces zones.

L'érosion est à cause de la diminution de la couverture végétale et l'activité humaine (riziculture, culture sur brûlis,...).

Les zones à faibles risque d'érosion sont dans les zones qui ont une forte de couverture végétale.

Ce qui entraîne que la couverture végétale est un facteur important en aménagement des bassins versants du lac Kinkony. Elle assure une protection du sol contre l'effet de la pluie. La densité de la végétation a aussi un rôle important sur la réduction de ruissellement.

Pour les zones détectées à risque d'érosion ont besoin d'aménagement antiérosif tel que reboisement, restauration forestier ou protection du bassin versant.

CONCLUSION

Les résultats de ce travail montrent l'intérêt de l'utilisation de la technologie de la télédétection et des SIG dans l'analyse spatial et l'évaluation de la zone à risque d'érosion autour du lac Kinkony.

La classification d'occupation du sol permet de voir la diminution de la couverture forestière dans la partie Sud autour du lac et la variation de la superficie du lac en multitudes.

Les compositions colorées montrent l'échange d'alimentation en eau entre le lac Kinkony et le fleuve Mahavavy, il y a aussi la variation de changement de la qualité de l'eau et la profondeur.

La simulation de la carte indice d'érosion indique les zones les plus sensibles à la sédimentation.

L'étude a permis une amélioration des connaissances sur les données biophysiques sur les zones autour du lac Kinkony et du comportement de la population vis-à-vis autour du lac.

D'après l'étude, la zone autour du lac Kinkony a besoin de gestion efficace de ressources naturelles. La population locale a besoin d'appui en renforcement de capacité sur la gestion des ressources naturelles et de la protection des zones humides.

BIBLIOGRAPHIE

- ALARD, D.**, et al. Zones humides de la basse vallée de la Seine. 2002, IFREMER, 36 p.
- ALSUMARD M.**, 1999, Apport de la télédétection des SIG pour la connaissance du fonctionnement des zones humides : le caractère humide des parcelles dans le marais, DEA ENGEES, Strasbourg, 50 p.
- Anne-Marie BARBIER, 2006**, Elaboration de méthodologies innovantes de traitements des données satellitales dans un cadre agro-environnemental
- Anno Flavien**, 2004, Utilisation de données MODIS et SRTM pour le suivi de la végétation au Maroc, Mastère en foresterie rurale et tropicale.
- Albert Pierre**, 2005, Projet EURMET : Méthodologie de traitement des images SPOT 5. , CIRUS Cieu-CNES
- Anderson J. & Hardy E. & Roach J. & Witmer R.**, 1976, A land use and land cover classification system for use with remote sensor Data, Geological Survey- Washington
- BAILLY J.S., PUECH C., MASSE J.**, 2003. De l'image à très haute résolution spatiale aux indicateurs spatialisés : Application au suivi de l'hydromorphie du marais atlantique de Bourgneuf, Photointerprétation, 39/1 : 22-30 et 57-59
- BLAIR J. B., RABINE D. L., HOFTON M. A., 1999.** The Laser Vegetation Imaging Sensor: a medium altitude, digitization-only, airborne laser altimeter for mapping vegetation and topography. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54: 115-122.
- BLASCO, F., GIRARD, C.M.**, 1992, Végétation herbacée terrestre
- Brun Julien**, 2004, Etude du potentiel des indices de végétation de l'imagerie MODIS pour l'observation de l'évolution intra- et inter-annuelle de la couverture du sol, Université de Genève,
- Carleer A. & Wolff E.**, 2001, The VHR data region-based classification possibilities in the framework of control with remote sensing of European CAP., Université de Bruxelles
- Civco D-L. & Hurd J-D. & Wilson E-H. & Song M. & Zhang Z.**, 2002, A comparison of land use and land cover change detection methods, University of Connecticut
- Conservation des ZICO** , 2000, zones humides de haute priorité par l'amélioration des bases de la gestion communautaire des ressources naturelles
- Crase B. & Hempel C.**, 2005, Object bases land cover mapping for groote eyland: a tool for reconnaissance and land bases surveys, Australia

- Dedieu J-P. & KerKache R. & Bornicchia F. & Pella H.,** 1997, Apports des informations de texture en télédétection pour l'étude de l'occupation des sols, *Revue de Géographie Alpine*
- Donnay Jean-Paul,** 2000, Evaluation de la contribution de la bande spectrale MIR sur SPOT 4 pour la cartographie de la couverture : application au tracé de zones urbaines. Projet de recherche T4/DD/48 (Action de recherche T4), Université de Liège (ULG)
- MEFT, USAID et CI, 2008,** Evolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar 1990-2000-2005
- GIRARD, M.C. et C.M.,** 1999b, Traitement des données de télédétection, Chapitre Comportements spectraux, DUNOD, 2ème édition, pp 75-95
- Institut français de l'environnement, 2005,** Application de la télédétection à l'étude des zones humides
- JOBIN, E., TOURNADE, F.,** 1995, Vers un système d'information géographique pour la gestion des zones humides, CNASEA, Structures agricoles, 9 : 37-43
- KERGOMARD C., LAGANIER R.,** 2003. Apports et limites de la télédétection et des systèmes d'information géographique pour l'analyse des interactions zones humides - territoire : Exemple des zones humides de la région de Condé-sur-Escaut (Nord), Photo-interprétation (Sous presse).
- PIVETTE, E.,** 1997, Pertinence de l'imagerie SPOT pour l'analyse diachronique des zones humides de bas-fonds de vallée – Application à un bassin versant de Bretagne centrale (ruisseau du Moulin de laSalle), Université de Rennes 2
- TESSON, J.L.,** 1990, Les prairies humides naturelles : importance en France pour les oiseaux d'eau et perspectives d'évolution, *Bulletin de l'Office National de la Chasse*, 152 : 4-8
- M. HAKDAOUI. ,** 2005, Traitement de la donnée Landsat Sous ERDAS
- VOGT, T.,** 1993, Cartographie des zones humides dans la bande rhénane entre Strasbourg et Neuf-Brisach par traitement des données de télédétection Landsat TM, Laboratoire Environnement -Cartographie - Télédétection, ULP Strasbourg, PIREN Eau-Alsace, Ministère de l'Environnement.

Annexe 1 : Grille landsat

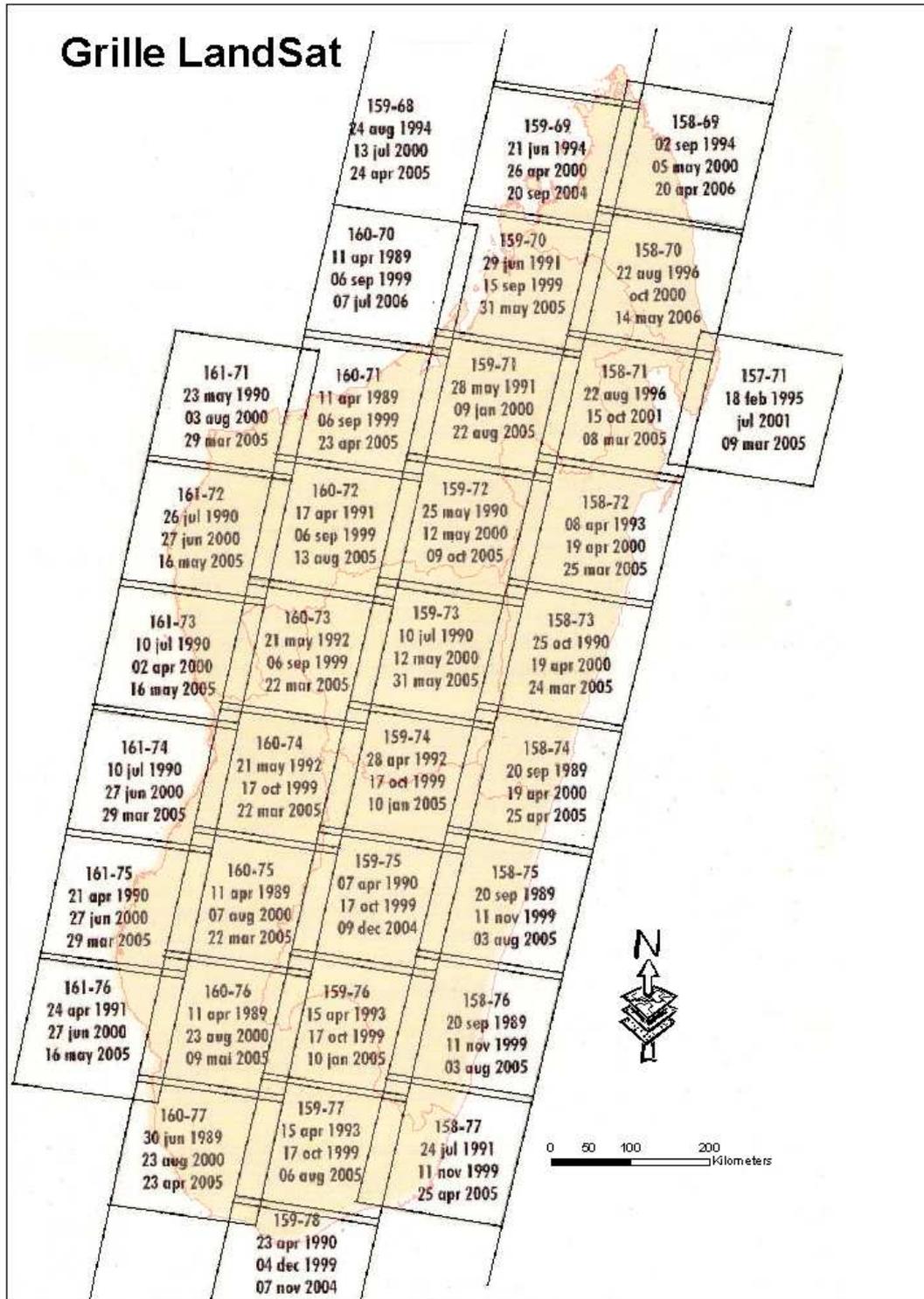


Figure 33 : grille d'image landsat à Madagascar

Annexe 2 : les outils disponibles

A été mis à ma disposition pour les besoins de la mission, un PC possédant les caractéristiques suivantes :

- Processeur : Intel Pentium 4 à 2GHz
- RAM : 2 Go.

Pour effectuer les travaux, les logiciels disponibles au sein du pôle Applications Spatiales étaient :

- **Erdas Imagine 8.4** (Leica©): logiciel de télédétection et de traitement d'images. Il a servi notamment pour les travaux de traitement d'images et de classification.
- **ArcView 3.3 / Arcgis 9.2** (Esri©): logiciel SIG utilisé pour les traitements sur les données vectorielles, modélisation de raster en forma GRID(avec l'extension 3D analyst et spatial analyst)
- **AlterSig-Convert** (Free Software Foundation©) : logiciel SIG utilisé pour la traduction universelle et la préparation des données SRTM.

Annexe 3 : MNT et données SRTM

Les Modèles Numérique de Terrain constituent des données nécessaires dans de nombreux domaines d'application recouvrant l'Aménagement, l'Environnement, l'Hydrologie, les Télécommunications, la Défense ou la Communication au sens large...

Pour les raisons de disponibilité, énoncées en introduction, mon choix s'est donc porté sur les données SRTM (**Shuttle Radar Topography Mission**). Cette mission fournit, en effet, des Modèles Numérique de Terrain gratuits et accessibles depuis Internet. Ceci représente, un atout non négligeable tant les MNT possèdent un rôle important en terme d'analyse spatiale et tant leur intégration au sein de système d'information géographique étend les possibilités d'analyses (analyse paysagère, compréhension de risques naturels...).

Présentation des données SRTM.

La mission SRTM fut réalisée par deux organismes états-unies : la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) et la NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency ; ex-NIMA : National Imagery and Mapping Agency*) du Ministère américain de la Défense.

Cette mission à but cartographique, démarra le 11 février 2000 par le lancement de la navette Endeavour (STS-99) dont le rôle était d'obtenir un relevé topographique et en 3D de la surface du globe.

Pour ce faire, la navette embarqua un imposant instrument d'observation de la Terre composé de deux antennes radar montées dans la soute et deux autres fixées sur un mât de 60 mètres déployés en orbite.

Cette mission utilisa pour la première fois l'interférométrie single pass. Dans cette technique, deux images sont prises en même temps, l'une à partir du shuttle lui-même et l'autre à partir d'un mât de 60 mètres.

Les données relatives à la mission possèdent les caractéristiques suivantes :

- altitude: 190-270 km
- inclinaison: 71 degrés
- durée de vie: 11/2/2000 - 22/2/2000 (11 jours).

Le radar a ainsi cartographié la Terre de 50 degrés sud à 60 degrés nord par rapport à l'équateur. Il a, de plus, mesuré les ondulations des paysages de sorte que la NASA a été capable de tracer les cartes de près de 80 % des terres émergées où vit près de 95 % de la population mondiale. Un millier d'îles ont également été cartographiées et plusieurs de ces îles ne l'avaient jamais été auparavant.

L'information géographique étant devenue une donnée stratégique forte importante dans le domaine de la défense, la diffusion des données SRTM fut dans un premier temps interdite. Par la suite, elles furent mises en libre accès après avoir subie une altération volontaire (passage d'une résolution 30 mètres à 90 mètres).

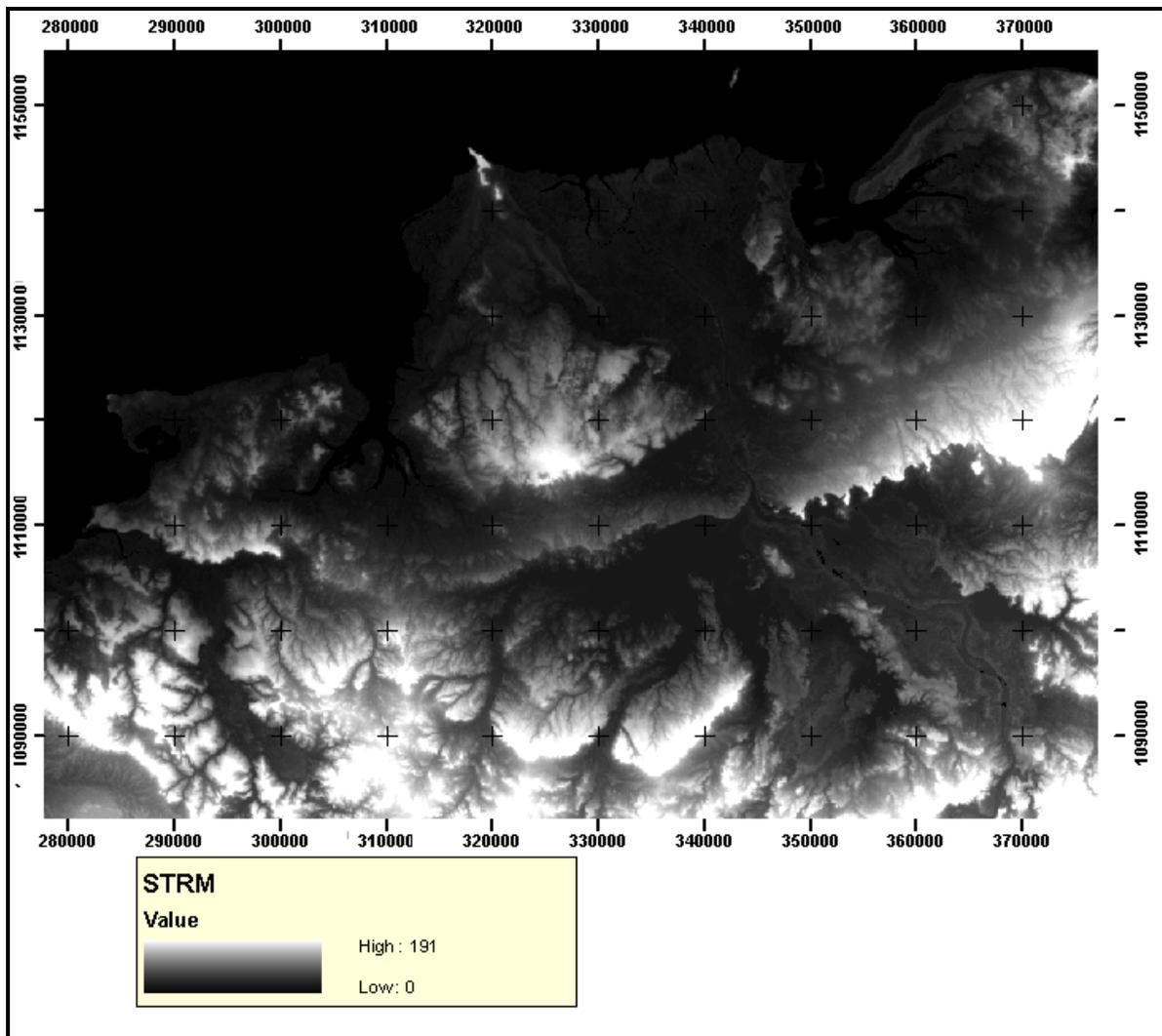


Figure 34: carte des données STRM du delta de Mahavavy Kinkony (Shuttle Radar Topography Mission)

Création du fichier GRID

Une première carte sous **ArcView** (3.3) est l'importation des données STRM sous format ASCII, grâce à la logiciel AlterSig (logiciel de traduction) qui permet de traduire en ASCII le format imagine.

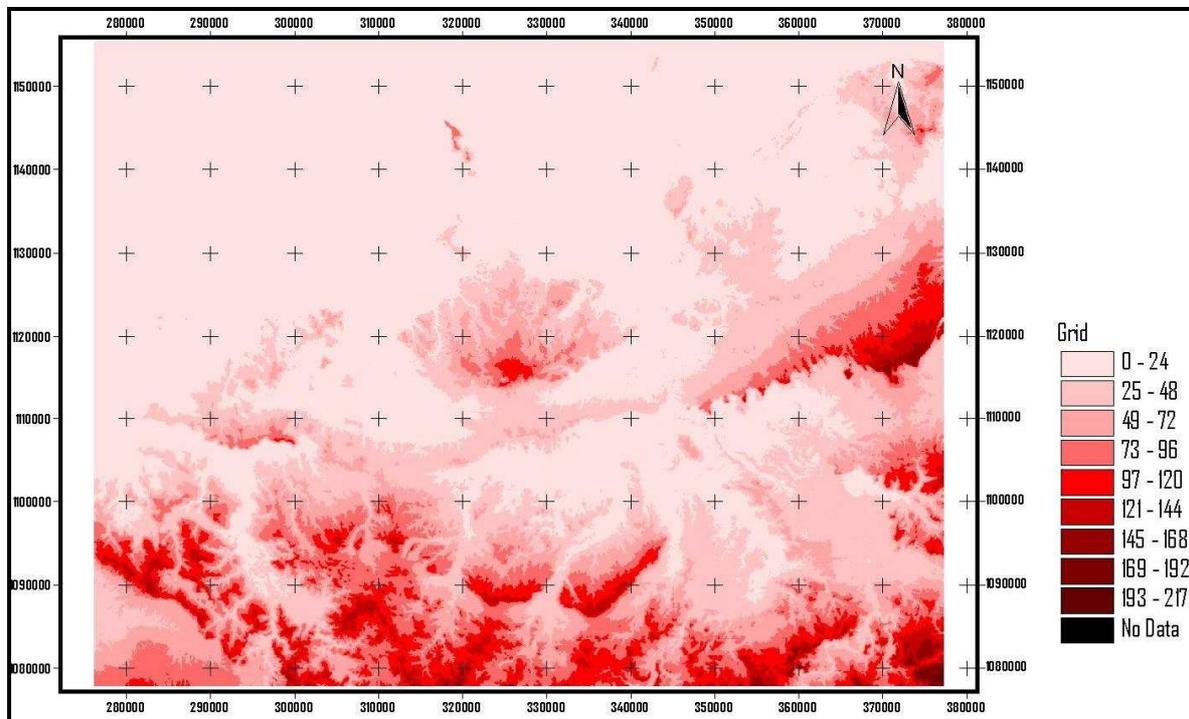


Figure 35 : MNT au format GRID

Les cartes dérivées des MNT

La première étape nécessaire à l'établissement des cartes de dérivation (TIN, courbes de niveaux...) a consisté à transformer le MNT obtenu en GRID, format très proche du format image (raster).

Toutefois, ce format de donnée ne peut être compris que par des systèmes d'informations géographiques ou des systèmes cartographiques. En effet, un GRID est un ensemble de cellules, comme une image raster est un ensemble de pixels. Chaque cellule du GRID est d'une taille

donnée et contient une valeur préalablement calculée. Cette valeur peut représenter l'altitude moyenne de la cellule, ou d'autres valeurs représentant un phénomène géographique tel que : la pente ; l'hygrométrie ; la densité de population...

La transformation a été réalisée sous ERDAS Imagine bien qu'il aurait également été possible de la réaliser sous ArcView. Cependant il s'est avéré que lors de la transformation en GRID, ce logiciel ne gérait pas les valeurs égales à '-9999'. L'ouverture du fichier GRID sous ArcView (3.3) a permis, quant à lui, d'attribuer une légende afin d'optimiser l'affichage des données topographiques.

Création du fichier TIN

Une première carte de dérivation peut être calculée sous **ArcView** (3.3) grâce à l'extension **3D Analyst**: les TIN (**T**riangular **I**rrregular **N**etwork). Cette dernière se base sur le fichier GRID précédemment créé.

Le format TIN est une représentation vectorielle de surfaces performante générée par une méthode de triangulation pouvant facilement être extraite de toutes données. Il permet de répondre à la plupart des applications en raison de son respect dans la précision des données. En conséquence, il est fréquemment utilisé pour l'affichage en 3 Dimensions de l'information topographique ou pour la création d'animation en 3 Dimensions.

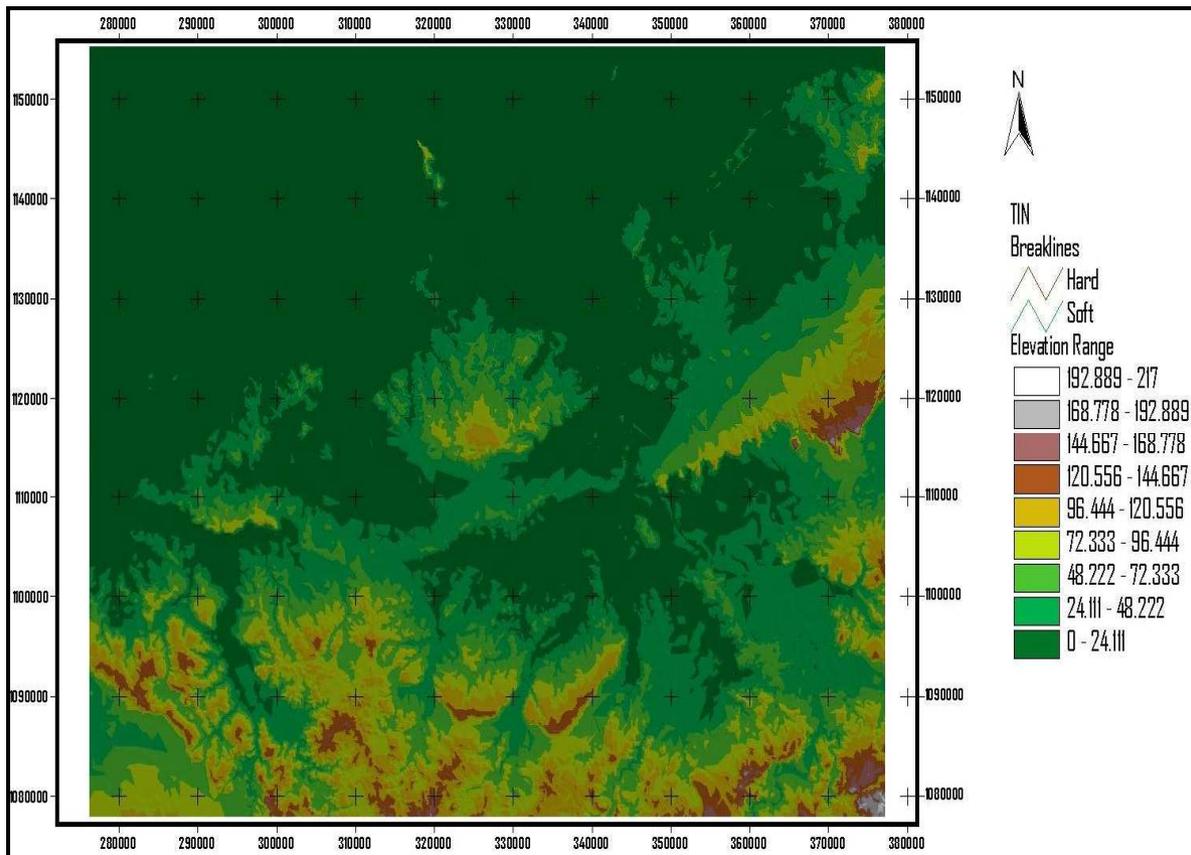


Figure 36 : MNT au format vectoriel : le TIN

Calculs des courbes de niveaux

Cette carte, dérivée elle même du GRID, a été réalisée sous **ArcView** (3.3) et a nécessité l'extension **Spatial Analyst**.

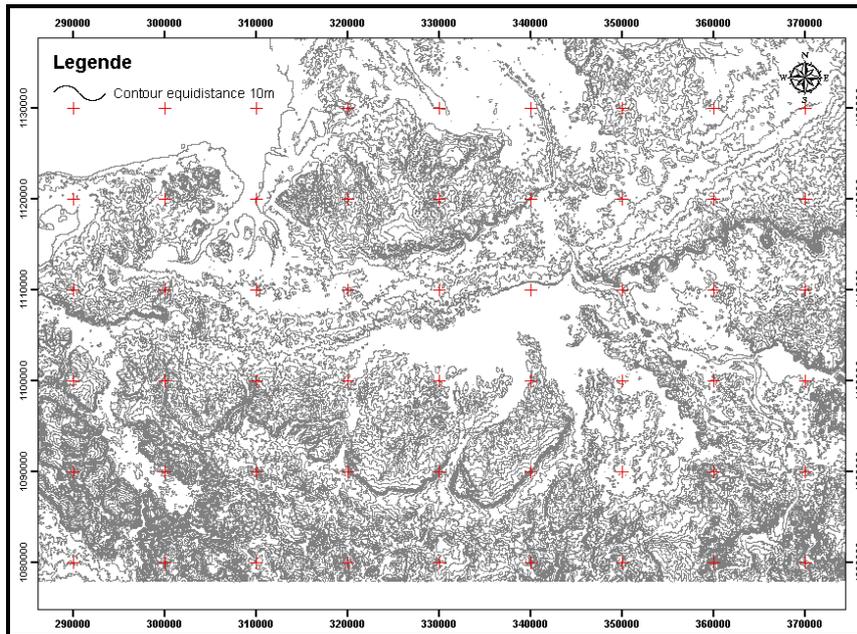


Figure 37: courbe de niveau équidistance de 10m

Création de la carte des pentes

Cette carte, dérivée elle même du GRID, a été réalisée sous **ArcView (3.3)** grâce à l'extension **Spatial Analyst**.

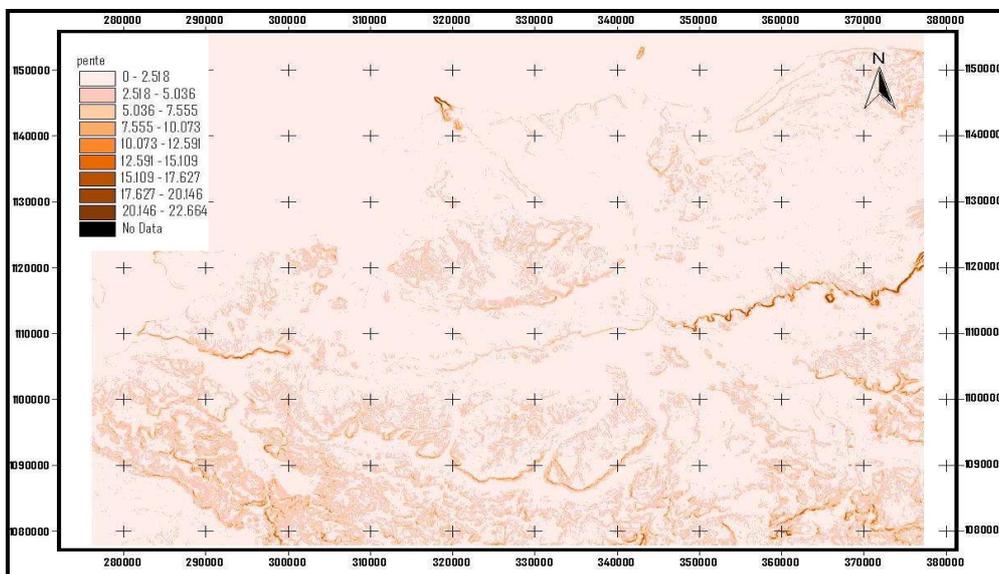


Figure 38 : carte de pente de la modèle MNT

Création de la carte d'Exposition pour déterminer la direction des écoulements en surface

Aux altitudes et aux pentes manquent les orientations pour caractériser le relief d'un territoire.

Ces dernières sont fournies par les cartes d'**exposition** créées sous

ArcView (3.3) grâce à l'extension **Spatial Analyst**. Pour la carte d'exposition, chaque facette du relief est représentée par une couleur correspondant à une orientation. La carte d'exposition montre que l'écoulement a une direction de Nord-Ouest.

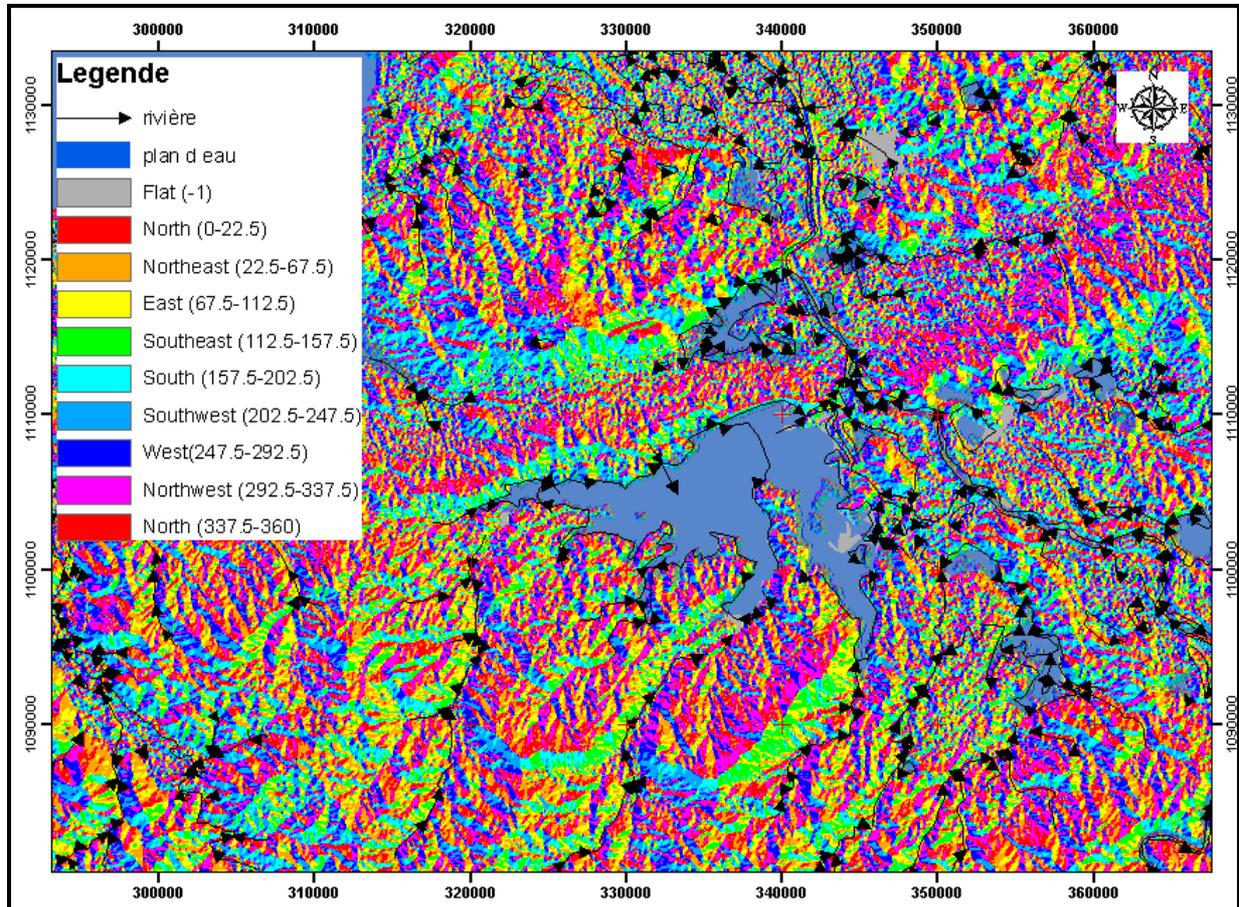


Figure 39: la carte d'Exposition

Création de la carte d'Ombrage

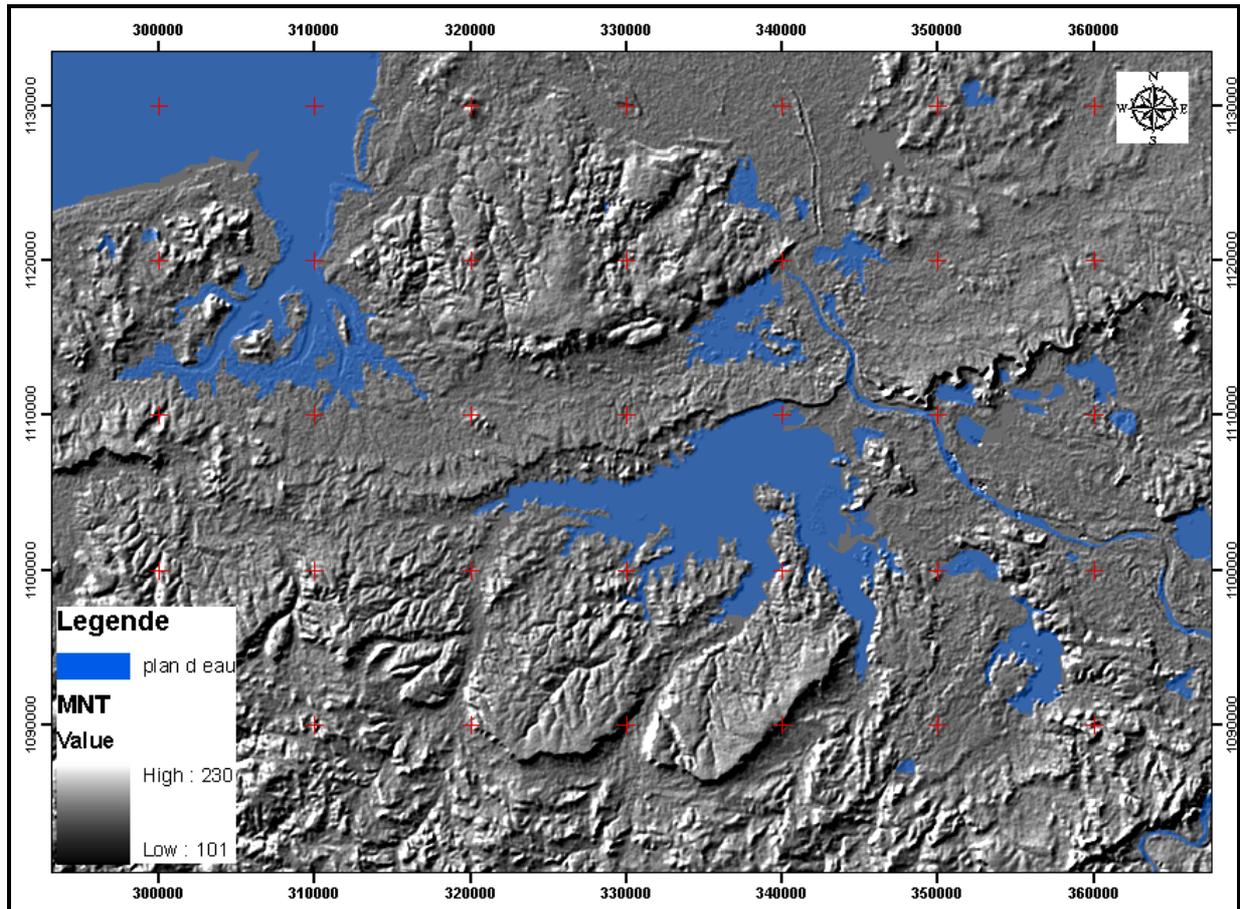


Figure 40: La carte d'ombrage avec l'azimut fixé à 315° et l'altitude à 45°

Annexe 4 : modèle des indices en ErdasImagine

Normalized Difference Vegetation Index

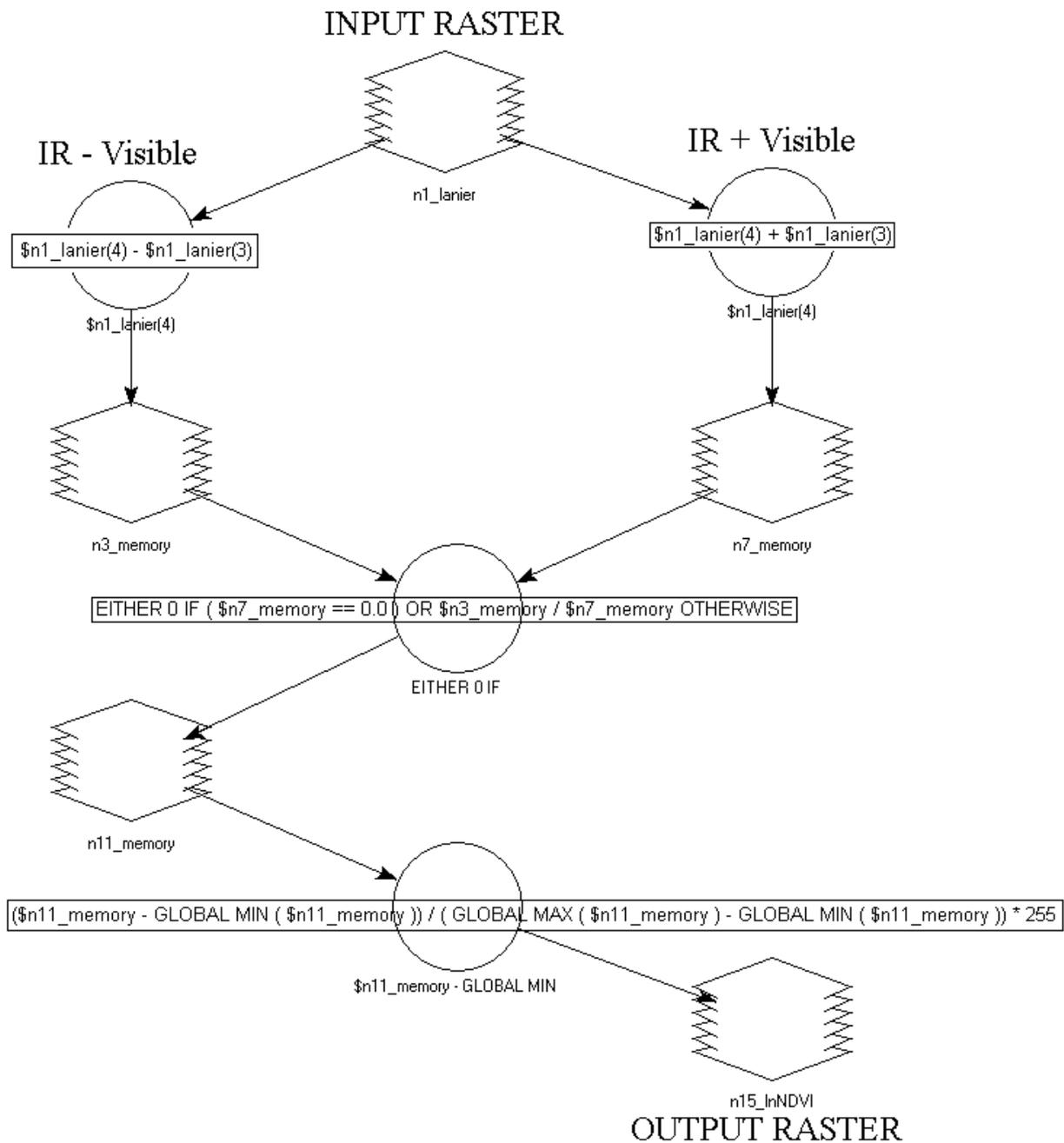


Figure 41: Indice de végétation Normalisé

Indice de Brillance

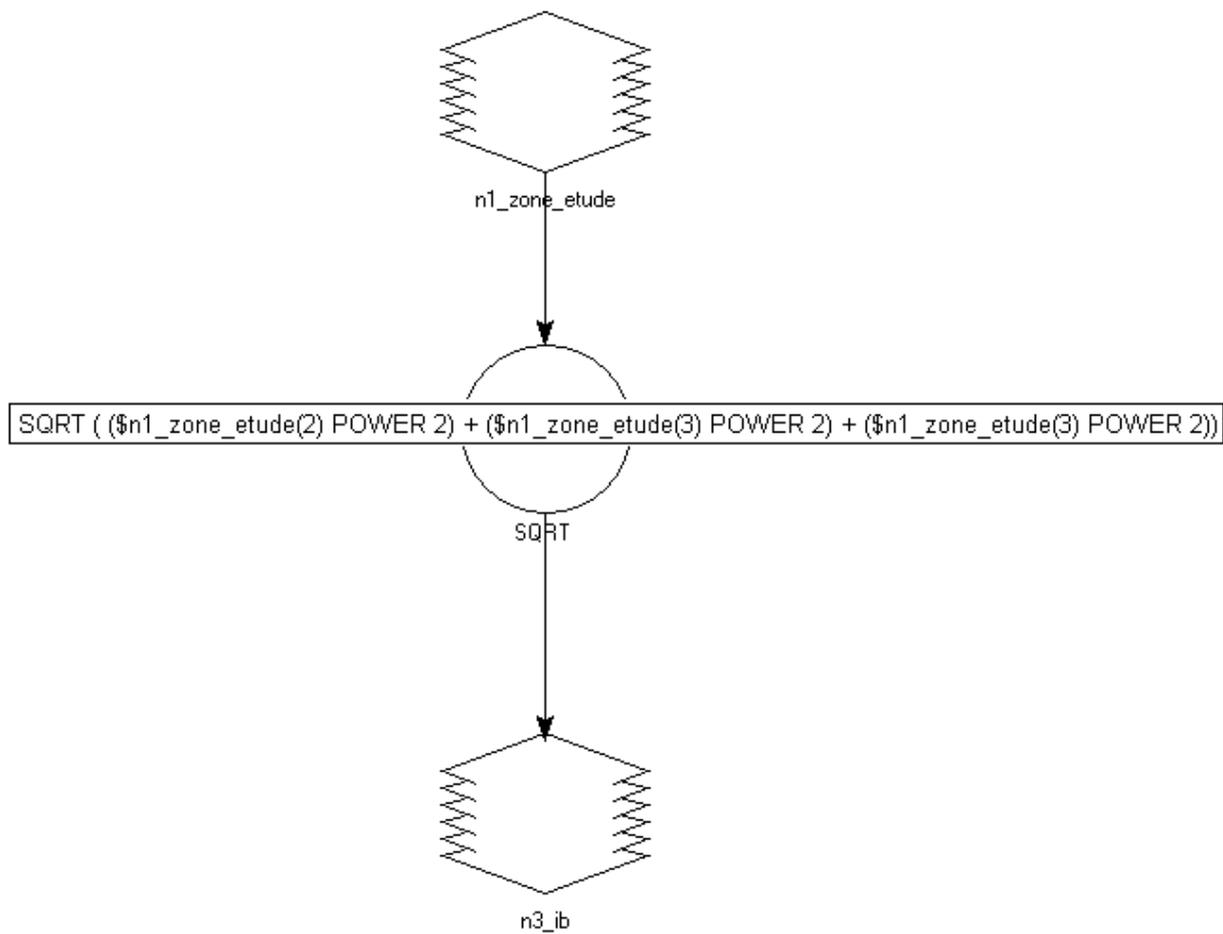


Figure 42: Indice de brillance

Annexe 5 : Paramètre de projection

Tableau 13 : paramètre de projection

logiciel	ArcGis	ArcView	ErdasImagine
	Nom : Laborde Madagascar		
Projection	Hotine Oblique Mercator Azimuth Center	Hotine Oblique Mercator	Oblique Mercator (Hotine)
Datum name	D_Tananarive_1925	International 1909	Tananarive Observatory 1925
Spheroid	International_1924	International 1909	International 1909
False easting	400 000.0	1113136.3145999999	1113136.3145999999 meters
False northing	800 000.0	2882900.7278999998	2882900.7278999998 meters
Scale factor	0.9995	0.9995	0.9995
Azimuth	18.9	18.9	
Longitude of center	46.437229	46.4372	
Latitude of center	-18.9	-18.9	
Unit	1.0	1.0	1.0
Latitude of point of origin			18:54:00.000000 S
Do you want to enter either			Azimuth and Longitude
Azimuth east for central line			18:54:00.000000
Longitude of point of origin			46:26:14.025000 E

Résumé

L'étude a été réalisée par la méthode en SIG et Télédétection. Grâce à la classification d'occupation du sol, la composition colorées, la calcul des indices des végétations et brillance, les résultats permettent la visualisation de l'évolution autour du lac Kinkony.

La méthodologie dans le risque d'érosion présentée consiste à intégrer, dans SIG, quatre facteurs contrôlant l'érosion : la pente, la friabilité des matériaux, l'indice de brillance et de végétation. La carte de risque d'érosion qui montre la zone de la vulnérabilité à l'érosion : faible, moyen, fort et très fort. Les zones à risque d'érosion fort et très fort ont besoin d'aménagement antiérosif. La méthodologie présentée dans cette étude peut être généralisée à toutes les zones de la côte Ouest de Madagascar, où les risques d'érosion constituent une menace pour les zones humides.

Mots clés- Lac Kinkony, SIG, Télédétection, Carte d'occupation du sol, Carte de composition colorée, Carte risque d'érosion.

Abstract

The study realized by the Geographical Information System and Remote sensing methods. The classification of the land, the coloured compositions, the brightness and calculates it the indices of the vegetations, the results allow the visualization of the evolution around the lake Kinkony. The methodology in the risk of erosion presented, in integrating, in Geographic Information System consists four factors controlling erosion: the slope, friability of materials and the index of brightness and vegetation. The erosion risk map which show erosion zones of the vulnerability: weak, average, extremely and very extremely. The strong risk and the very extremely of erosion zones need the installation of the erosion control. The methodology presented in this study can be generalized at all the zones of the west coast of Madagascar, where the erosion risks constitute a threat for the wetlands.

Key words: Kinkony Lake, GIS, Remote Sensing, Land of map, coloured composition of map, erosion risks of map.

Encadreur :

Pr. RASOLOMANANA Eddy Harilala
erasolo@hotmail.com

Impétrant:

ANDRIFALIANA Nampionona
Tél: 033 17 426 67
Email: mfaliana@gmail.com