

SOMMAIRE

INDEX DES CARTES	8
INDEX DES FIGURES	8
INDEX DES ORGANIGRAMMES	8
INDEX DES TABLEAUX	9
LISTE DES ANNEXES :	9
ACRONYMES ET ABBREVIATIONS	10
GLOSSAIRES	11
REMERCIEMENTS	13
PRESENTATION SOMMAIRE DU FTM	14
INTRODUCTION	16
PREMIERE PARTIE : ACTUALITES SUR LA TELEDETECTION, LA CARTOGRAPHIE ET LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	17
Chapitre I : LA CARTOGRAPHIE	18
1- Historique	18
1.1-Origine de la carte :	18
1.2- Au moyen Age	18
1.3- Les temps modernes	18
2- Définitions et objectifs : [13]	18
2.1- Définitions	18
2.2- Objectifs	19
3- Les représentations cartographiques de la surface terrestre :	19
3.1- Les modèles de la terre	19
3.2- Notion de Projection	20
3.3- L'Echelle d'une carte :	22
Chapitre II : LA TELEDETECTION	25
1- Historique : [10][30]	25
2- Définition de la télédétection :	25
3- Objectifs et caractéristiques de la télédétection :[2]	26
4- Le principe de la télédétection :[21][22]	26
4.1- Le mode passif :	26
4.2- Le mode actif :	26
5- Les contraintes dues à l'atmosphère :[22]	27
Chapitre III : SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	29
1- Historique : [10]	29
2- Définitions : [8] [19] [25]	29
2.1- Information Géographique :	29
2.2- Système d'Information Géographique :	30
3- Objectifs : [8]	30
4- Principe général : [10]	31
4.1- La géométrie d'un objet :	31
4.2- La description sémantique ou attribut	31
5- Fonctionnalités :[8]	31
5.1- Abstraction :	32
5.2- Acquisition :	32
5.3- Analyse :	32
5.4- Archivage :	32
5.5- Affichage :	33
DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE D'ELABORATION DE SPATIOSCARTES	34

Chapitre I : NOTIONS DE SPATIOCARTE	35
1- Définition :	35
1.1- La spatiocharte :	35
1.2- Le fond image	35
1.3- Les surcharges :	35
1.4- L'habillage :	35
2- Les vocations de Spatiocharte :	36
2.1- Les spatiochartes de base ou spatiochartes topographiques :	36
2.2- Les spatiochartes thématiques :	36
3- But de la spatiocharte :	36
3.1- Le descripteur géométrique :	36
3.2- Le descripteur sémantique :	36
3.3- Le descripteur topologique :	36
4- Echelle de spatiocharte : [14]	37
Chapitre II : ACQUISITION DES DONNEES NECESSAIRES :	37
1- Les données-image :	37
2- Les données exogènes :	37
3- Les points d'appui :	38
3.1- Cartes existantes à l'échelle adéquate :	38
3.2- Images géoréférencées :	38
3.3- Mission sur terrain :	39
4- Le MNT :	39
4.1- Définition : [28]	39
4.2- Fabrication de MNT :	39
Chapitre III : LES CORRECTIONS GEOMETRIQUES :	41
1- Aperçu général :	41
2- Construction des modèles de déformation : [14]	41
2.1- Modélisation physique :	41
2.2- Modélisation polynomiale :	41
2.3- Modélisation hybride :	42
3- La rectification d'images :	43
3.1- Détermination de la grille d'interpolation : [14]	43
3.2- L'interpolation :	43
3.3- Le ré-échantillonnage :	43
4- La spatiotriangulation :	44
4.1 Description :	44
4.2- Choix des points d'appui : [14]	44
4.3- Choix des points de liaison :	45
4.4- Principe :	45
5- Evaluation de précision de la correction géométrique :	45
6- Le mosaïquage :	45
6.1- Homogénéisation de la géométrie :	46
6.2- Amélioration de contraste de l'image :	46
6.3- Assemblage d'image	46
7- Le niveau de traitement	46
Chapitre IV : LA CORRECTION RADIOMETRIQUE	48
1- Amélioration des contrastes : [21]	48
1.1- Etalement des dynamiques des images :	48
1.2- Renforcement de la texture de l'image :	48
1.3- Filtrage :	48
2- Mixage des canaux et ré-échantillonnage : [7]	49
2.1- Composition colorée :	49
2.2- Création de néocanaux :	49

3- La classification	49
3.1- La classification provisoire ou pré classification:	49
3.2- La vérité terrain :	50
3.3- La classification définitive :	50
Chapitre V : L'AJOUT DE SURCHARGES ET HABILLAGE DE SPATIOCARTE	50
1- L'ajout de surcharges :	50
2- L'habillage :	51
2.1- Les éléments de la carte traditionnelle :	51
2.2- Les éléments spécifiques de la spatiocarte :	51
3- L'édition de spatiocarte :	51
3.1- Édition sur support analogique :	51
3.2- Édition sur support numérique :	51
4- Évaluation de qualité de spatiocarte :	52
4.1- Qualité métrique :	52
4.2- Qualité cartographique :	52
TROISIEME PARTIE : ELABORATION PRATIQUE DE SPATIOCARTES	
TOPOGRAPHIQUE ET THEMATIQUE DE LA ZONE DE MANJAKANDRIANA A	
L'AIDE DU LOGICIEL ERDAS IMAGINE	
	53
Chapitre I : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE	54
1- Situation géographique :	54
1.1-Délimitation géographique de la zone d'étude :	54
1.2- Climat :	54
1.3- Sols et ses occupations :	54
2- Localisation administrative : (Carte n°02)	55
3- Présentation de la Feuille Q47 :	56
4- Présentation des images LANDSAT correspondantes :	56
5- Justification de choix :	60
5.1- Justification technique :	60
5.2- Justification économique :	60
Chapitre II : PRESENTATION DU LOGICIEL ERDAS IMAGINE	60
1- Description du logiciel :	60
1.1- Les données Raster :	60
1.2- Les données Vecteur :	61
2- Exploration des principaux modules :	61
3- Performances du logiciel :	63
Chapitre III : ELABORATION DE SPATIOCARTE DE BASE : feuille Q47	65
1- Collecte des données :	65
1.1- Le fond image :	65
1.2- Les données exogènes :	65
2- Traitement du fond image :	66
2.1- Import des images :	66
2.2- Correction radiométrique :	66
2.3 Correction géométrique :	67
2.4 - Mosaïquage et extraction de la zone d'intérêt :	68
3- La mission « vérité-terrain » :	69
3.1-L'objectif :	69
3.2- Préparation :	69
3.3- Principe de réalisation :	69
3.4- Le résultat de la mission « vérité terrain » :	70
4- L'ajout des surcharges, habillage et édition :	71
4.1- Les surcharges :	71
4.2- L'habillage :	72
4.3- Edition :	72

Chapitre IV : ELABORATION DE SPATIOCARTES THEMATIQUE : Feuillet Q47	74
1- Traitement du fond image	74
2- La mission vérité terrain :	74
2.2- Choix de site-test	74
2.3- Réalisation :	74
2.4- Résultat de l'opération « vérité terrain » :	75
3- Classification en vue de l'élaboration de spatiocarte d'occupation des sols :	78
4- L'ajout de surcharges, l'habillage :	78
4.1- Les surcharges :	78
4.2- L'habillage :	78
QUATRIEME PARTIE :	81
PRESENTATION DES RESULTATS	81
Chapitre I : OBSERVATIONS ET INTERPRETATIONS	82
1- Le logiciel Erdas Imagine :	82
2- La spatiocarte topographique :	83
3- La spatiocarte thématique:	83
3.1- Les forêts :	84
3.2- Les Eucalyptus :	84
3.3- Les savanes arborées :	84
3.4- Les rizières :	84
Chapitre II : ETUDES COMPARATIVES ET PERSPECTIVES	88
1- Aspects techniques :	88
1.1- Durée d'élaboration :	88
1.2- Précision de spatiocartes :	88
1.3- Perspectives :	89
2- Aspects financiers :	90
2.1- Coût des matériels et des données :	90
2.2- Coût des analyses et traitement des données :	90
CHAPITRE III : NOS SUGGESTIONS	92
1- Limite de la méthodologie :	92
2- Amélioration de la méthodologie :	92
3- Extension à l'échelle nationale :	93
CONCLUSION	94
BIBLIOGRAPHIE	96

INDEX DES CARTES

Carte n°01 : Représentation des découpages du territoire malagasy à l'échelle de
1 :100 000

Carte n°02 : Localisation de la zone d'étude

Carte n°03 : Présentation graphique de la grille du satellite Landsat-7

Carte n°04 : Représentation des sites-test

Carte n°05 : Comparaison d'une ortho-image et une image de niveau 8

Carte n°06 : Spatiocarte topographique

Carte n°07 : Spatiocarte thématique

Carte n°08 : Spatiocarte d'occupation des sols

INDEX DES FIGURES

Figure n°01 : Réduction à l'horizon

Figure n°02 : Réduction au niveau zéro

Figure n°03 : Schéma de principe de la Télédétection

Figure n°04 : Phénomènes dus à l'atmosphères

Figure n°05 : Résidu sur un point d'appui

Figure n°06 : Le ré-échantillonnage

Figure n°07 : Modélisation inverse

Figure n°08 : Le panneau de configuration de Erdas Imagine

Figure n°09 : Identification des différentes classes dans la composition 453

INDEX DES ORGANIGRAMMES

Organigramme n°01 : Projection Laborde de Madagasikara

Organigramme n°02 : Schéma de fonctionnalité du SIG

Organigramme n°03 : Les principaux modules dans Erdas Imagine

Organigramme n°04 : Résumé de l'élaboration pratique de spatiocarte

Topographique

Organigramme n°05 : Résumé de l'élaboration pratique de spatiocarte thématique
et d'occupation des sols

INDEX DES TABLEAUX

Tableau n°01 : Les principales fenêtres atmosphériques

Tableau n°02 : Les niveaux de traitement d'images

Tableau n°03 : Les classes administratives des grandes agglomérations dans la zone

Tableau n°04 : Comparaison des coûts

Tableau n°05 : Comparaison de spatiocarte et de carte traditionnelle

LISTE DES ANNEXES :

Annexe I : Notion de re-échantillonnage

Annexe II : Comparaison des caractéristiques des satellites Spot et Landsat

Annexe III : Représentation Laborde de Madagasikara

Annexe IV : La projection Mercator Oblique

Annexe V : Liste de points de la mission vérité terrain

Annexe VI : Méthode de transformation de coordonnées GPS en coordonnées cartographiques

Annexe VII : Carte de vérité terrain

Annexe VIII : Hydrographie de Manjakandriana

Annexe IX : Les données planimétriques de Manjakandriana

Annexe X : Orographie de Manjakandriana

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

BD100	Base de Données à l'échelle de 1/100 000
CAO	Cartographie Assistée par Ordinateur
CEFA	Conseil Etude Formation Assistance
CNIG	Centre National d'Information Géographique
CNTIG	Centre National de Télédétection et d'Information Géographique
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
ESPA	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
ETM +	Enhanced Thematic Mapper Plus
FTM	Foiben-Taosaritanin'i Madagasikara
GDTA	Groupement pour le Développement Télédétection
GPS	Global Positioning System
IGF	Information Géographique et Foncière
IGN	Institut Géographique National
ITS	Intensité Teinte Saturation
MNT	Modèle Numérique du Terrain
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index
ONU	Organisation des Nations Unies
RMS	Root Mean Square
RVB	Rouge Vert Bleu
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SIG	Système d'Information Géographique
SPOT	Satellite Pour l'Observation Terrestre
TIN	Triangulated Irregular Network
TM	Thématique Mapper
UTM	Universal Transverse Mercator

GLOSSAIRES

Bandes spectrales :

Intervalle de spectre de longueur d'ondes du rayonnement électromagnétique.[11]

Bloc ou chantier :

Ensemble de segments adjacents.[14]

Capteur :

Instrument qui recueille l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable.[2]

Clé d'interprétation :

Caractéristique ou combinaison de caractéristique qui permet d'identifier un objet ou un thème sur une image.[11]

Composition colorée :

C'est l'attribution de couleur de base : Rouge, Vert, Bleu aux bandes sélectionnées. Si on parle d'une combinaison colorée 453, cela veut dire que :

- ★ La bande TM4 prend la couleur Rouge ;
- ★ La bande TM5 prend la couleur Verte ;
- ★ La bande TM3 prend la couleur Bleue ;

Géocodage :

C'est la transformation de la géométrie initiale des images brutes vers une géométrie (coordonnées) définie par un système de coordonnées cartographiques.[14]

Le satellite :

On désigne par satellite le système d'observation qui est composé du vecteur et du capteur.[2]

Le Vecteur :

C'est le véhicule qui transporte le capteur et qui se déplace dans l'atmosphère suivant une orbite bien déterminée : géostationnaire (fixe par rapport au repère terrestre) ou héliosynchrone (l'angle que fait l'orbite et le rayon solaire reste toujours constant).[2]

Orographie :

C'est l'étude du relief terrestre.

Pixel :

C'est la plus petite surface élémentaire représentant une information de la surface terrestre. [3]

Radiométrie :

C'est la technique dont le sujet d'étude est la mesure de l'intensité du rayonnement électromagnétique.[2]

Scène :

C'est l'image de la surface terrestre prise par un capteur à un instant donné. [14]

Segment :

Ensemble des scènes consécutives sur une même ligne de trace de satellite. [14]

Sémiologie :

C'est l'étude de signes et symboles.

Toponymie :

C'est l'étude concernant le nom de lieu.



REMERCIEMENTS

Tout d'abord, rendons grâce à Dieu, Jéhovah le Très-haut, au sujet de la réalisation de ce mémoire. Sachant que « Si Jéhovah ne bâtit pas la maison, ceux qui la bâtissent, travaillent en vain » *Psaume 127 :1*

Nous tenons à exprimer nos vifs et sincères remerciements envers tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont apporté patiemment leur appui et collaboration durant la réalisation du présent ouvrage, en particulier à :

- Monsieur le Professeur Benjamin RANDRIANOELINA, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), qui a bien voulu autoriser cette soutenance ;
- Monsieur le Professeur Pascal RAMANANTSIZEHENA, Chef de Département Information Géographique et Foncière (IGF) à l'ESPA, qui n'a pas ménagé ses efforts pour la recherche de l'amélioration de la filière Géomètre-Topographe, et qui a bien voulu nous encadrer durant la réalisation de ce mémoire.
- Monsieur Victor ANDRIAMPANANA, Directeur Général de l'Institut FTM au sein duquel a été réalisé ce stage de fin d'étude.
- Monsieur Narizo Mahefa RAHANGOALISON, Directeur de Télédétection et Information Géographique au sein du FTM et Monsieur Paul COURBON, Géomètre Expert sans Frontière, qui n'ont pas refusé notre demande d'examiner cette étude.

Qu'ils veuillent bien trouver à travers ce travail l'expression de notre vive reconnaissance.

Nous sommes heureux de pouvoir exprimer ici notre profonde reconnaissance envers Monsieur LI HAN TING Solo pour ses conseils judicieux, ses directives et encouragements durant la réalisation de ce mémoire.

Qu'il sache ici que nos sentiments sont très reconnaissants.

Nous adressons nos gratitudeles plus profondes à :

- Tous les enseignants du département IGF qui nous ont transmis sans hésitation leur compétence et savoir-faire.
- Tous les personnels de FTM, particulièrement du CNTIG, qui nous ont reçu chaleureusement et sympathiquement durant la période de stage.
- Tous nos collègues, nos proches et nos amis qui nous ont soutenu ardemment ;

Qu'ils trouvent à travers ce travail l'expression de notre haute considération ;

Merci et encore merci !

PRESENTATION SOMMAIRE DU FTM

Ce mémoire fait preuve de la collaboration étroite entre le FTM et l'ESPA. En fait, c'est une grande fierté pour nous de présenter en quelques lignes l'institut au sein duquel nous avons pu réaliser cette étude.

i. Description :

Le FTM, institut Géographique et Hydrographique National, est une Entreprise publique à caractère industriel et commercial, dotée de l'autonomie financière et administrative, et jouissant de l'indépendance technique dans l'exécution de ses missions.

Il est défini juridiquement par les décrets 70-001 portant sa création et 90-653 portant son organisation.

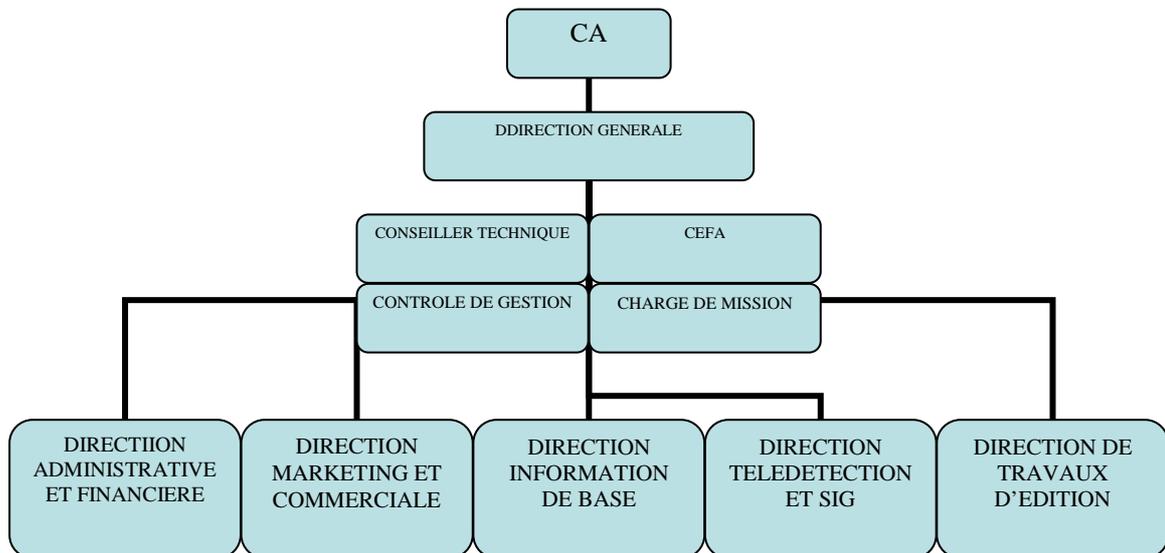
Techniquement, le FTM est placé sous la tutelle du Ministère de l'Aménagement du territoire, tandis qu'au Ministère de Finances et de Budget, est confiée la tutelle financière.

ii. Localisation :

Le siège de FTM est situé à Ambanidia Antananarivo, rue Dama-Ntsoha Razafintsalama Jean Baptiste.

iii. Organigramme :

L'organigramme en vigueur est celui établi en Septembre 2001, dont la structure est la suivante :



iv. Missions et attributions :

Le FTM a pour vocation de mettre en œuvre la politique nationale en matière d'Infrastructure et d'information Géographique de base. Il est chargé notamment :

- *D'exécuter les travaux nécessaires à l'implantation, à l'amélioration et à l'entretien d'un Réseau Géodésique, d'un Réseau de Nivellement, de la couverture Photographique Aérienne, et à l'établissement et à la tenue à jour des cartes topographiques de base, des cartes marines et des cartes dérivées, concernant le territoire national ;*
- *D'accomplir des travaux à caractère cartographique d'exploitation photogrammétrique et thématique de photographies aériennes, et d'image de télédétection, des travaux de levés topographiques, hydrographiques océanographiques, et des travaux relatifs à la numérisation et à l'analyse des données géographiques et à l'élaboration de cartes thématiques ou à la production d'informations géographiques spécifiques, concernant le territoire national ;*
- *D'établir, de publier ou de diffuser, sous forme graphique, photographique, numérique ou littérale les documents correspondant aux activités mentionnées ci-dessus ;*
- *De gérer la documentation, concernant le territoire national, liée aux activités définies ci-dessus, notamment la photothèque et/ou spatiothèque, la cartotheque et les archives géodésiques, photogrammétriques et hydrographiques ;*
- *De coordonner et de contrôler les travaux à caractère géographique, hydrographique et cartographique concernant le territoire national ainsi que l'archivage des documents s'y rapportant ;*
- *D'effectuer des recherches d'intérêt général dans les domaines scientifiques et techniques liés aux activités mentionnées ci-dessus ;*
- *De gérer le Centre National de Télédétection et d'Information Géographique ;*
- *De contribuer à la valorisation et à l'exploitation des résultats des ces activités ;*
- *D'accomplir, d'une manière générale, toutes autres activités relatives à l'information géographique de base ;*

Durant la réalisation de ce mémoire nous avons travaillé dans la division Télédétection du département Cartographie au sein de la direction Télédétection et SIG.



INTRODUCTION

« Si ardu étant ce chemin qu'il serait difficile de le donner à entendre par des paroles ou de l'écrire avec des plumes ; la meilleure explication qu'ait trouvé le génie des hommes est de le traduire en peinture sur une carte. » *[Martin CORTES]*

D'habitude, l'élaboration d'une carte se fait en utilisant les techniques de géodésie classique et/ou de prise de vue aérienne. Cependant, on reconnaît des limites lors de la mise en œuvre de ces techniques notamment sur les endroits difficilement accessibles. D'ailleurs, faute de mise à jour fréquente des cartes, de notre pays à l'échelle moyenne (1/100.000 à 1/25.000), le besoin essentiel de la cartographie nationale concerne le rétablissement de ces cartes, lesquelles ont été levées avant 1960. 55% de ces cartes ont subi une révision partielle en 1980 et quelques cartes en 1998 et 2000.

Conscient de l'importance des informations qu'apportent ces cartes, nous sommes amenés à étudier une nouvelle méthodologie en matière de cartographie, en utilisant la télédétection. Cette étude, intitulée « élaboration de spatiocartes à moyenne échelle avec le logiciel Erdas Imagine », a été réalisée en collaboration avec l'institut FTM.

L'étude pilote consiste d'une part, à tester l'efficacité de Erdas Imagine qui est un logiciel nouvellement installé au sein de cet institut ; et d'autre part, à évaluer la méthodologie d'élaboration des spatiocartes. Elle a été mise en pratique sur la zone de Manjakandriana, feuille n°Q47 dérivant du découpage en 1/100.000 du globe terrestre.

A travers cet ouvrage, nous présenterons d'abord des actualités sur la cartographie, la télédétection et le SIG. Ensuite, nous allons indiquer la méthodologie de l'élaboration de spatiocarte et le logiciel Erdas Imagine. Après nous détaillerons l'élaboration pratique des spatiocartes topographique et thématique de la zone pilote. Enfin, quelques observations et interprétations du résultat ne manquent pas.

PREMIERE PARTIE : ACTUALITES SUR LA TELEDETECTION,
LA CARTOGRAPHIE ET LE SYSTEME D'INFORMATION
GEOGRAPHIQUE

Chapitre I : LA CARTOGRAPHIE

1- Historique

1.1-Origine de la carte :

Depuis la plus lointaine antiquité, avant même l'invention de l'écriture, l'homme a déjà utilisé des cartes sous forme de dessin sur des grottes constituant des croquis de leurs territoires. Dans ce sens, la cartographie répondait, semble-t-il à deux besoins :

- Délimiter la propriété foncière ;
- Procurer des moyens d'orientation et position, repères aux voyageurs et aux navigateurs ;

1.2- Au moyen Age

Des cartes rédigées et recopiées à la main sur parchemin représentent la terre plate et rectangulaire pour être en accord avec la référence biblique de « 4 coins de la terre » .

La plupart, accordant une primauté à Jérusalem, centre du monde, adoptent une forme circulaire divisée symboliquement par une croix dont Méditerranée est l'axe, le Dont et le Nil constituant les branches. Le tout est inscrit dans un océan circulaire.

1.3- Les temps modernes

Dans la seconde moitié du XVII^{ème} Siècle, les approches coloniales et commerciales font sentir aux ingénieurs civils et militaires, la nécessité des plans et cartes précises, d'où l'amélioration des méthodes de levers.

Au XX^{ème} Siècle est apparue une nouvelle génération de carte aux grandes échelles (1/20.000, 1/50.000). Grâce à l'appui de la prise de vue aérienne et l'introduction de support plastique vers les années 60, les techniques de rédaction ont été modifiées : tracés sur couches, archivage dans les planches-mères plastiques,...

2- Définitions et objectifs : [13]

2.1- Définitions

- « La Cartographie est la science qui traite de l'établissement des cartes de toutes sortes ; elle englobe toutes les phases de travaux depuis le premier lever jusqu'à l'impression finale des cartes ». D'après la définition de l'O.N.U. en 1949.

Dans ce cas, elle comprend la géodésie, qui est la détermination géométrique sur l'ellipsoïde d'un certain nombre de points de base, et la topographie dans son sens restreint, représentation sur plan des détails sur terrain.

- L'étymologie du mot permet de définir que la Cartographie concerne l'étude de description sur papier. En effet,
 - Le mot Carte provient du latin « charta » qui signifie : papier ;
 - Le mot graphie vient du grec « graphein » qui signifie : décrire ou écrire.
- L'association Internationale des Cartographes adopte la définition suivante, en 1966 : « La Cartographie est l'ensemble des études et des opérations scientifiques artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observation directe ou de l'exploitation d'une documentation en vue de l'élaboration et de l'établissement des cartes et autre mode d'expression ainsi que dans leur utilisation. »

2.2- Objectifs

Une carte doit être définie comme étant l'image conventionnelle et plane, construite géométriquement d'une partie de la surface terrestre, d'un astre ou d'une planète, avec les objets qui s'y trouvent et éventuellement les phénomènes qui s'y déroulent.

Depuis longtemps, les cartes permettent de satisfaire les besoins suivants :

- ✂ Représentation de l'image de la terre ;
- ✂ Recensement et délimitation des propriétés foncières ;
- ✂ Repérage des itinéraires maritimes et terrestres ;
- ✂ Localisation des détails jugés utiles pour les armées.

Actuellement, la carte est un instrument d'évaluation des ressources naturelles et de leur mise en valeur, un moyen d'étude de la dynamique des phénomènes. Aussi, devient-elle un outil d'aide à la décision pour les dirigeants.

3- Les représentations cartographiques de la surface terrestre :

3.1- Les modèles de la terre

3.1.1- La surface de la terre :

La surface de la terre présente une forme complexe impossible à modéliser parfaitement. On cherche à la représenter suivant des approximations afin de pouvoir

décrire sa modélisation mathématique. Deux types de représentations spécifiées sont souvent utilisés par la cartographie.

3.1.2- Le géoïde :

C'est une surface moyenne de niveau 0, équipotentielle du champ de gravité qui coïncide avec la surface moyenne du niveau des mers ouvertes, prise comme origine des altitudes.

Des mesures gravimétriques au sol et d'altimétrie à partir des satellites pour les mers, permettent de trouver la forme du géoïde. Cette surface géophysique a encore une forme bosselée irrégulière. On a donc intérêt à définir une surface mathématique proche d'elle pour pouvoir effectuer des mesures.

3.1.3- L'ellipsoïde :

La connaissance du géoïde permet aux cartographes de définir des ellipsoïdes qui sont des surfaces géométriques dont les écarts par rapport au géoïde ne dépassent pas une centaine de mètres. Chaque ellipsoïde est caractérisé par son demi-grand axe, son demi-petit axe et son origine. L'ellipsoïde international IAG-GRS80 est la surface qui rapproche le plus au géoïde. Son utilisation permet donc de représenter au mieux globalement la surface de la terre. Cependant, elle ne permet pas la meilleure représentation locale ; ce qui justifie l'adaptation pour chaque pays d'un ellipsoïde de référence.

3.2- Notion de Projection

3.2.1- Introduction :

Dans l'étude cartographique, la projection concerne la modélisation de la surface terrestre sur un plan. On l'appelle aussi représentation plane. Elle fait partie des problèmes techniques que soulève l'organisation rationnelle des travaux géographiques dans un pays de grandes étendues.

3.2.2- Le système de projection :

Il permet d'avoir une relation biunivoque entre un point $M(\lambda, \varphi)$ sur l'ellipsoïde et son homologue $m(x, y)$ sur la carte. Où

λ, φ : Longitude et latitude ;

x, y : abscisse et ordonnée

En effet, on a la relation :

$$x = f(\lambda, \varphi)\lambda = F(x, y) \text{ et } y = g(\lambda, \varphi)\varphi = G(x, y) ;$$

Les fonctions f, g, F, G définissent les propriétés du système de présentation.

Des altérations linéaires sont induites par la surface elliptique lors de sa projection sur le plan. Cela se traduit par le fait que si on prend deux points sur l'ellipsoïde P, Q et si P' et Q' sont leurs homologues sur le plan, la longueur PQ diffère de $P'Q'$ dans l'échelle convenable. Ce qui permet de définir l'altération linéaire $\epsilon = (P'Q' - PQ) / PQ$ et le module linéaire est $\mu = P'Q' / PQ$.

3.2.3- Les types de projection :

Suivant les déformations, on peut citer 3 types de projection :

- La projection Conforme : qui conserve les angles. Le module linéaire reste toujours constant dans toutes les directions. Elles sont souvent utilisées en Géodésie et en Topographie.

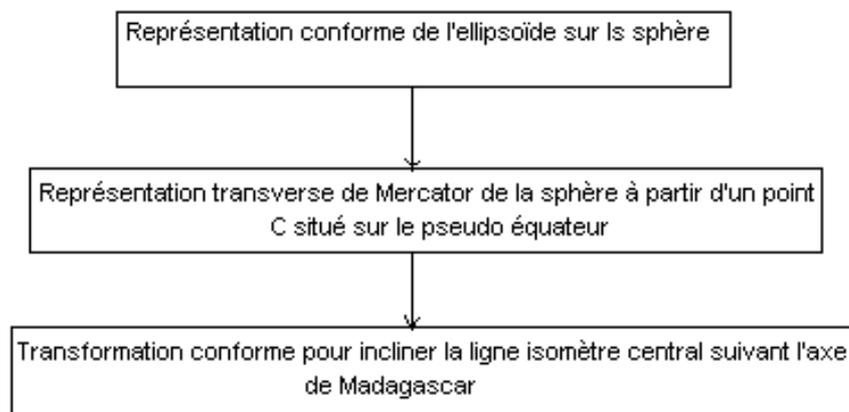
- La projection équivalente : qui conserve les surfaces mais les angles et les distances ne sont pas conservés. La principale utilisation repose sur les cartes générales (ATLAS).

- La projection aphyllactique : qui ne conserve ni les angles ni les surfaces. C'est une projection quelconque qui n'est ni conforme ni équivalente.

Les projections les plus courantes sont : Mercator (directe, équatoriale, oblique), Mercator Transverse Universelle (UTM), Lambert, Stéréographique polaire.

3.2.4- La Projection en usage à Madagascar : [17][24]

La projection Laborde de Madagascar est une représentation oblique de Mercator sécante, définie par la double représentation :



Organigramme n° 01 : PROJECTION DE LABORDE

Cette projection prend comme surface de référence l'ellipsoïde international de Hayford 1909 dont :

- Le demi grand axe vaut 6378388.0m ;
- Le demi petit axe, 6356911.946m ;
- Longitude du pont origine = 46,4372°Est Paris ;
- Latitude du point origine = 18,9°Sud.

N.B. : Le Point Origine est appelé aussi Point fondamental

3.3- L'Echelle d'une carte :

3.3.1- L'échelle numérique d'une carte : [1][26]

Généralement, l'échelle représente le rapport d'homothétie entre les éléments du terrain et leur représentation sur la carte.

En réalité, l'échelle d'une carte est le rapport des longueurs d'une ligne donnée dans sa projection et dans la surface projetée. Donc, c'est le rapport de la longueur sur la carte et celle dans l'ellipsoïde. Or, la longueur mesurée dans l'ellipsoïde est généralement inférieure à la longueur mesurée sur terrain. Par suite, des corrections devront être apportées :

→ Correction de « réduction à l'horizon » (fig.01): lorsque les deux extrémités ne sont pas sur la même altitude, il y a nécessité de projeter l'une à l'altitude de l'autre. La quantité de la correction à apporter est : $\epsilon = h^2/D$; Où :

h désigne la différence d'altitude ;

D désigne la distance entre les deux extrémités, mesuré sur la pente.

En effet, d'après la figure si Dh est la distance sur la même altitude, et i désigne l'angle vertical mesuré à partir du plan horizontal, alors on a :

$$D_h = D \cdot \cos i ;$$

$$\text{La correction } \epsilon = D - D_h = D (1 - \cos i).$$

En tenant compte du développement limité à l'ordre de 2 :

$$\cos i = 1 - i^2/2 \text{ et } i = h/D, \text{ on a : } \epsilon = h^2/D.$$

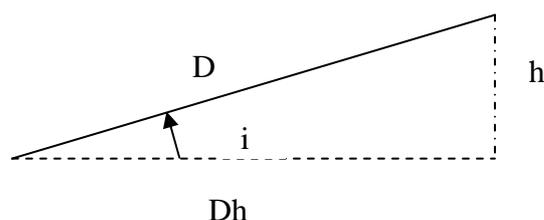


Fig.01: REDUCTION A L'HORIZON

→ Correction de « réduction au niveau zéro » (fig.02) : qui ramène la longueur au niveau du géoïde ou à l'ellipsoïde. Sa quantité est donnée par la formule :

$$\varepsilon = D0 \cdot Z / R ;$$

Où :

D0 : distance au niveau de l'ellipsoïde;

Z : altitude de l'horizon par rapport à l'ellipsoïde ;

R : rayon de la terre qui est constant et égal à 6400km ;

En fait, la relation de similitude $D0/R = Dh / (R+Z)$ implique :

$$\varepsilon = Dh - D0 = D0 (1 - R+Z/R)$$

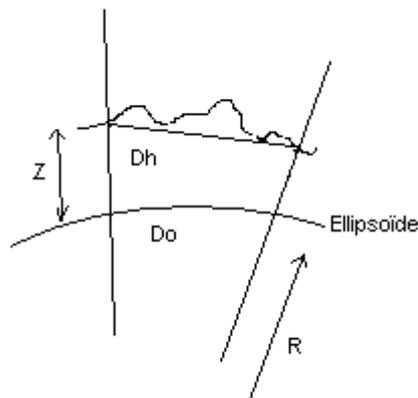


Fig.02 : REDUCTION AU NIVEAU ZERO

3.3.2- L'échelle graphique : [13]

Pour la commodité de l'usage et surtout pour faciliter la compréhension des mesures d'une longueur sur une carte, on accompagne toujours une échelle numérique, d'une échelle graphique, qui est une ligne simple ou double divisée en parties égales représentant l'unité choisie.

Lorsque l'étendue représentée et/ou la projection sont telles que l'échelle graphique, comme l'échelle numérique, cesse d'être applicable partout, on la remplace par un abaque qui fournit des échelles graphiques locales et permet de calculer l'échelle numérique dans un point donné.

L'échelle graphique admet comme avantage l'élimination des altérations causées par le jeu de papier, puisqu'elle est imprimée sur ce même papier, en marge de la carte, et subit elle-même ce jeu. Mais ceci n'est que partiellement exact car le papier joue très différemment dans les deux sens.

3.3.3- Variation d'échelle : [1] [19]

L'altération linéaire dans la projection entraîne des variations d'échelle :

- Pour la projection conforme, l'échelle varie en fonction du carré de la distance du point par rapport au centre de projection.
- Pour la projection équivalente, à l'extérieur du centre de projection, l'échelle varie selon la direction considérée.
- Pour la projection aphylactique, l'échelle varie en fonction de la position du point et de la direction de la ligne considérée.

En pratique, Pour toutes les cartes topographiques d'un pays, les variations d'échelle sont à négliger ; en effet, les altérations linéaires introduites par les projections sont insignifiantes devant l'erreur graphique du dessin, le jeu de papier.

Néanmoins, elles deviennent considérables pour l'établissement des cartes embrassant une vaste partie de l'ellipsoïde. Dans ce cas, il faut mentionner le point ou les lignes pour lesquels cette échelle est valide avec un abaque montrant les valeurs locales de l'échelle dans l'étendue du champ.

3.3.4- Choix de l'échelle : [19]

En général, le choix de l'échelle pour représenter une carte doit tenir compte de la dimension du territoire à représenter et du format du papier d'impression.

Techniquement, l'échelle doit être choisie en fonction de l'erreur graphique, de la précision du levé, et du développement économique de la région cartographiée.

Chapitre II : LA TELEDETECTION

1- Historique : [10][30]

L'espace et le ciel ont séduit l'homme grâce à son intérêt considérablement accru avec la récente création de l'astronautique. Cet intérêt s'applique aisément, car l'espace et les véhicules spatiaux sont des remarquables outils utilisés aussi bien pour la télécommunication, la météorologie ou l'observation de la terre. La technique mettant en œuvre ces outils pour l'observation de l'espace et les objets et/ou phénomènes sur la terre était découverte depuis les années 50. Cette découverte implique le lancement du premier satellite nommé SPOUTNIK1 par l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques (URSS), en 1957.

Pour les Américains, la première transmission d'image de la terre était réalisée en 1959 par le satellite EXPLORER VI. Le satellite multibande ERTS1, rebaptisé ultérieurement LANDSAT-1 a marqué l'année 1972 suivi de l'apparition des capteurs observant en une seule fois une ligne complète de l'image sans recours à un balayage mécanique et permettant une meilleure séparation spectrale et des bandes de plus en plus fines.

En 1975, 1978, 1982 et 1985 ont eu lieu les lancements respectifs des satellites Landsat-2,3,4,5. Les images respectives admettent une résolution de 30m. Ensuite, le Landsat-6 a échoué car il n'atteint pas son orbite. Le dernier modèle est le Landsat-7, lancé le 11 avril 1999 ayant toujours la même résolution.

Pour la Compagnie française SPOT, le satellite SPOT-1 était inventé depuis 1986, suivi de SPOT-2,3 et 4 lancé en 1990. Le dernier cri de cette compagnie est le SPOT-5.

Actuellement, la télédétection intègre les développements les plus récents de la recherche spatiale, de la physique et de l'informatique pour constituer désormais, un outil puissant et flexible pour la gestion du milieu, la planification et le développement économique.

2- Définition de la télédétection :

C'est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre ou de l'atmosphère sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.[22]

3- Objectifs et caractéristiques de la télédétection:[2]

Les principaux objectifs de la télédétection reposent sur :

- L'analyse des interactions rayonnement-matière ;
- L'étude du comportement spectral ;
- Le suivi d'un phénomène évolutif ;
- L'étude de la répartition d'un objet ;
- L'analyse de l'hétérogénéité spatiale ;
- L'étude de la structuration spatiale.

Dans ces activités, on attend de la télédétection :

✓ d'une part, une réponse dans un délai relativement court à des questions auxquelles les autres méthodes telles que prise de vue aérienne, levé topographique, ne peuvent pas répondre rapidement. Ce sont par exemple : les feux de brousse, les conditions météorologiques, ...

✓ d'autre part, la télédétection est une technique pouvant garantir des réponses en bonne qualité géométrique, aux questions relatives aux formes et dimensions d'objets situés dans des zones difficilement accessibles.

4- Le principe de la télédétection:[21][22]

Deux modes sont utilisés en télédétection suivant l'énergie que le système adopte :

4.1- Le mode passif :

Il utilise l'énergie solaire ; le capteur passif enregistre la lumière naturelle solaire réfléctée par l'objet cible. Les satellites Landsat et Spot utilisent ce mode.

4.2- Le mode actif :

Il fournit sa propre source d'ondes électromagnétiques. En effet, le capteur admet une source artificielle permettant d'éclairer la cible, en tout instant. Donc, il est à la fois capteur et émetteur de rayonnement. Ce mode est très connu par le satellite RADAR.

Une étude comparative met en évidence que le mode actif présente comme avantage :

- les ondes RADAR fonctionnent jour et nuit ;
- les ondes RADAR peuvent traverser les nuages ;
- une bonne précision en altimétrie peut être atteinte.

Cependant, les informations qu'on peut extraire des images issues de ce mode sont souvent limitées et difficiles à traiter. Ce qui oriente le choix des photo-interprètes à utiliser les images produites par des capteurs passif.

Le fonctionnement du système de télédétection est décrit dans la figure suivante :

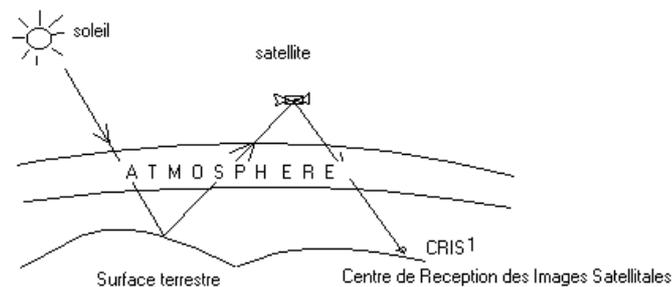


fig.03. SCHEMA DE PRINCIPE DE LA TELEDETECTION

5- Les contraintes dues à l'atmosphère :[22]

D'après ce schéma de principe, les rayonnements traversent l'atmosphère qui est une interface entre le soleil et la terre. L'atmosphère se présente comme un milieu stratifié où la répartition de ses composants varie dans l'espace et dans le temps. Les principaux composants sont : vapeur d'eau (H₂O), gaz carbonique (CO₂), Ozone (O₃), Oxygène (O₂) et Azote (N₂).

Par conséquent, des interactions se produisent entre l'atmosphère et les ondes électromagnétiques, induisant des déformations sur ce dernier. Les plus remarquables de ces déformations sont :

❖ **Le phénomène de réfraction :** qui se manifeste par une déviation des directions des rayonnements sortant de l’atmosphère par rapport à leurs directions initiales. L’eau est le principal auteur de ce phénomène.

❖ **Le phénomène d’absorption :** il s’agit d’absorption par les atomes et/ou molécules composant l’atmosphère. Il se traduit par une réduction du rayonnement : les gaz les plus absorbants sont l’ozone, le gaz carbonique, la vapeur d’eau.

❖ **Le phénomène de diffusion :** il est dû à la présence de particules de tailles variées depuis les molécules jusqu’aux poussières (ou aérosols).

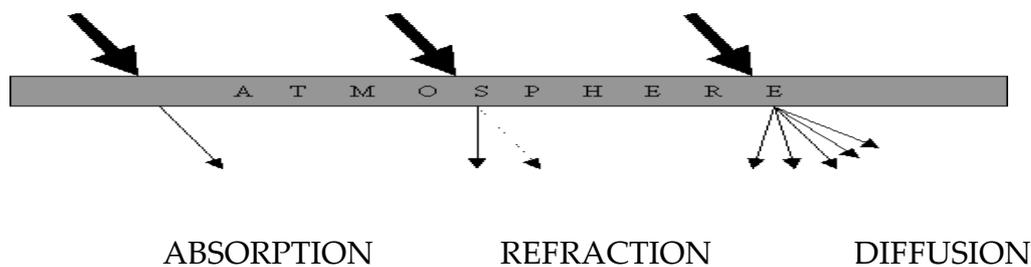


Fig.04. PHENOMENES DUS A L’ATMOSPHERE

Pour réduire au minimum ou même éviter la présence de ces phénomènes, des études spatiales ont découvert des gammes de longueurs d’ondes dans lesquelles une grande partie de rayonnements peut résister à ces effets atmosphériques : Ce sont les fenêtres atmosphériques.

Les principales fenêtres atmosphériques sont :

Longueurs d’ondes (μm)	Domaines
0.35 - 0.75	Ultraviolet – Visible (UV - VIS)
0.77 - 0.91	Proche Infra Rouge (PIR)
1.0 - 1.12	
1.19 - 1.34	
1.55 - 1.7	Moyen Infra Rouge (MIR)
2.05 - 2.4	Infra Rouge Thermique (IRT) ou Infra Rouge Lointain (IRL)
3.35 - 4.16	
4.5 - 5.0	
8.0 - 9.2	
10.2 - 12.4	
17.0 - 22.0	

Tableau n°01 : LES PRINCIPALES FENETRES ATMOSPHERIQUES [16]

Chapitre III : SYSTEME D'INFORMATION

GEOGRAPHIQUE

1- Historique : [10]

□ La conception du Système d'Information Géographique (SIG) évolue parallèlement avec la cartographie depuis XVIII^{ème} Siècle où des cartographes et des Scientifiques ont déjà essayé de découvrir des informations de multiple niveau sur la surface de leurs territoires. Aussi, le développement considérable de l'informatique a progressivement révolutionné l'ensemble de la chaîne d'informations classiques : de la saisie de l'information géographique et sa restitution cartographique, à son archivage et à son exploitation ultérieure.

□ Le premier système appelé SIG était le « Canadian Geographic Information System » élaboré en 1962 par ROGER Tomlinson de « Canada Land Inventory ». Ce système fonctionne pour restaurer et analyser les données des cartes numérisées ainsi que les attributs de base du pays de Canada. Ce système est encore en opération actuellement.

□ Depuis 1970, a débuté le SIG moderne. Les analystes ont commencé à programmer le calcul automatique des processus anciennement manuels. Les compagnies de logiciels comme ESRI et ERDAS ont développé des logiciels de manipulation des données géographiques pour créer des nouvelles couches d'informations.

□ Actuellement, le SIG est le seul système désigné pour recueillir, restaurer, manipuler, rechercher et analyser les couches de données géographiques pour produire des informations interprétables et éditables (textes et graphiques).

2- Définitions : [8] [19] [25]

2.1- Information Géographique :

On désigne par « information géographique » toute information à laquelle on peut rattacher une localisation qu'elle soit statique (constat) ou dynamique (évolution-échange). C'est la raison de l'appellation « information localisée ».

D'une façon générale, c'est l'ensemble de la description des objets ou phénomènes, leur localisation et les relations entre-eux.

2.2- Système d'Information Géographique :

- D'après la définition américaine émanant du comité Fédéral de coordination inter agences pour la cartographie numérique en 1988, « Un SIG est un système de matériel, logiciel, et de processus conçus pour permettre la collecte, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage des données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion».

- La définition française traduit le SIG comme un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

- Enfin, selon une définition du Comité National d'Information Géographique (CNIG), « Un SIG est un ensemble d'opération, généralement informatisées, destinées à transcrire et utiliser un ensemble d'information géographique sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes sources accessibles : base de données, savoir-faire et capacité de traitement ».

Il découle de ces trois définitions, qu'un SIG représente un outil informatique qui regroupe les données géoréférencées, matériels (ordinateur et ses périphériques), logiciels et ressources humaines interagissant pour atteindre un objectif bien déterminé.

3- Objectifs : [8]

Un SIG a pour but d'informer sur la géographie et la topographie d'un espace donné. Il s'appuie sur un certain nombre de bases de données géographiques, qu'il permet d'intégrer, de gérer, de traiter et de représenter sous formes de cartes. Par conséquent, en tant qu'outil d'aide à la décision et de suivis et de contrôles, il doit donc répondre aux questions suivantes :

-  **Question de localisation** : Où cet objet, ce phénomène se trouve-t-il ? Plus généralement, où se trouvent tous les objets d'un même type ? Cette interrogation permet de mettre en évidence la répartition spatiale d'un objet.

 Question de condition : Que trouve-t-on à cet endroit ? Elle permet de trouver tous les objets ou phénomènes présent sur un territoire donné.

 Question d'évolution : A quel moment des changements sont intervenus ? Il s'agit d'une demande d'analyse temporelle.

 Question de relation : Quelles relations existent ou non entre les objets et les phénomènes ? C'est une question d'analyse spatiale.

 Question de modélisation : Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait ? C'est une problématique des impacts des objets et des phénomènes.

4- Principe général : [10]

Plusieurs sortes d'objets géographiques sont gérées en thèmes que l'on affiche souvent sous forme de couches. Chaque couche contient des objets de même type : routes, bâtiments, cours d'eau, limite de commune,...

Chaque objet est décrit par sa géométrie et ses attributs.

4.1- La géométrie d'un objet :

C'est la description de la position et de la forme d'un objet.

La position peut s'exprimer par des coordonnées géographiques (longitude et latitude) ou par des coordonnées cartésiennes (abscisse et ordonnée) dans un système de projection.

La forme d'un objet est de trois (03) types : point, ligne et polygone.

4.2- La description sémantique ou attribut

Une fiche est attribuée à chaque objet, contenant les informations de type alphanumérique. Ces informations concernent les noms de villes, état d'un tronçon de route, surface d'une parcelle rizicole,...Le contenu de cette fiche dépend du besoin du projet.

5- Fonctionnalités : [8]

Un SIG n'enregistre pas une carte ou la vue d'une zone géographique, il stocke les données qui permettent de créer la vue et de dessiner la carte dans un objectif particulier. Il associe donc les informations d'un détail et crée de nouvelles relations. Le SIG fonctionne suivant les étapes suivantes :

5.1- Abstraction :

Le monde réel présente des quantités énormes d'informations complexes, d'où l'idée de concevoir un modèle permettant d'organiser ces informations par composants géométriques et par attributs descriptifs ainsi qu'à établir des relations entre les objets. Ces informations modélisées sont représentées en couches superposables et indépendantes.

5.2- Acquisition :

C'est l'alimentation en données du SIG. Ces données peuvent être :

- Des couches raster : images satellites, photographies aériennes, ...
- Des couches vecteurs : réseaux de communication, hydrographies, ...
- Des statistiques : fréquence d'occurrence, population démographique,...
- Autres données d'attributs : caractéristique d'une route, longueur d'une piste,...

L'acquisition se fait alors soit par : importation de fichier, saisie, conversion de fichier, télédétection, prise de vue aérienne, numérisation ou scannage, levé topographique.

5.3- Analyse :

Cette fonction permet de répondre aux questions que l'on se pose. Les couches de données sont combinées et manipulées pour créer de nouvelles couches et pour extraire des informations interprétables.

5.4- Archivage :

Elle consiste à stocker les informations de l'espace de travail vers l'espace de stockage (disque dur). Elle permet aussi de rassembler et d'ordonner les informations par thème sur des couches afin de faciliter leur recherche.

5.5- Affichage :

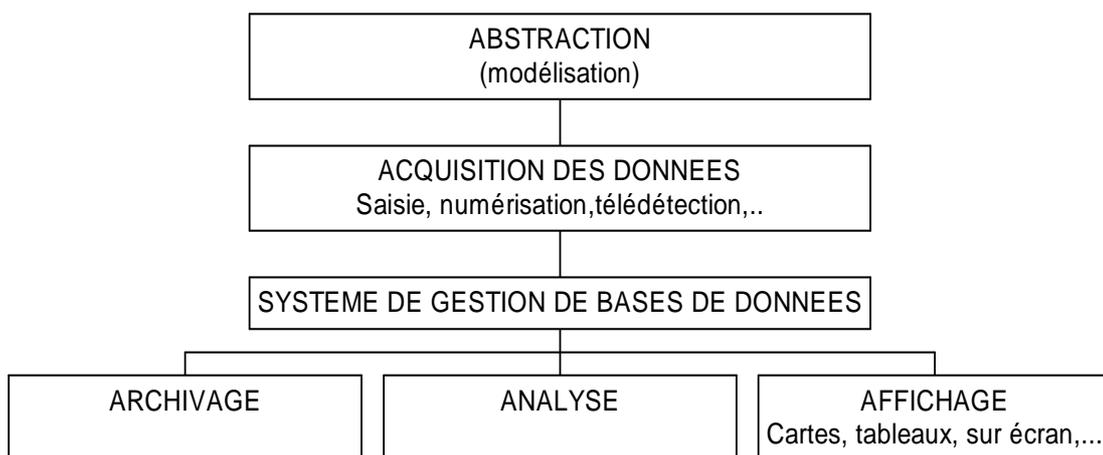
Dans cette étape se déroulent la production des cartes de façon automatique, le constat des relations spatiales entre les objets et la visualisation des données sur l'écran de l'ordinateur.

Un système doit être mis en œuvre pour bien gérer le fonctionnement du SIG. En fait, les données doivent être mises à jour, bien ordonnées et affinées, afin de faciliter l'analyse, l'affichage et l'archivage. D'où l'introduction de « Système de Gestion de Base de Données ou SGBD ».

Cet outil offre à l'utilisateur la possibilité d'accéder directement à ce qu'il veut obtenir mais non pas au moyen pour l'obtenir. Donc, c'est un interprète de langage de programmation comme les logiciels Mapinfo, Arcview, Erdas imagine,...

Comme la projection Laborde est spéciale pour Madagasikara, il est indispensable pour l'application dans les logiciels SIG, de trouver une projection standard plus voisine de celle-ci, connu par ces logiciels. Ainsi, la projection Mercator Oblique (Hotine), convient le plus, et présente une altération linéaire maximale de 1m aux périphériques. (Annexe III)

Enfin, on peut résumer la fonctionnalité du SIG dans le schéma suivant :



Organigramme n° 02 : SCHEMA DE LA FONCTIONNALITE DU SIG

DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE D'ELABORATION DE SPATIOCARTES

Chapitre I : NOTIONS DE SPATIOCARTE

1- Définition :

1.1- La spatiocarte :

« La spatiocarte est le document cartographique ayant pour fond des données image recueillies par les satellite d'observation de la terre, combinées éventuellement avec des éléments annexes tirés, par exemple, des cartes existantes, des bases de données, ou résultant de l'interprétation des données image elles-mêmes ». [14]

En d'autre terme, c'est la carte élaborée en utilisant la technique de la télédétection et l'information géographique.

En tant que document cartographique, on doit apercevoir sur une spatiocarte les deux parties à savoir :

- le corps de la spatiocarte qui est constitué par le fond image et les surcharges ;
- l'habillage ou périphérique.

1.2- Le fond image

Il s'agit d'une image géocodée c'est à dire image ayant subi des corrections géométriques. Des traitements radiométriques peuvent aussi être apportés afin d'améliorer la lisibilité et l'interprétation de l'image. L'image est obtenue soit par extraction d'une scène, soit par mosaïquage de deux ou plusieurs scènes connexes.

1.3- Les surcharges :

Elles comprennent les informations topographiques à superposer avec le fond image. Ce sont toutes les informations particulières sur les objets ou phénomènes qu'on veut mettre en évidence dans la zone traitée. Elles sont contenues dans des couches différentes qu'on superposera avec le fond image.

Exemple : couche de toponymie, courbes de niveau, limites administratives, hydrographie, réseau routier, ...

1.4- L'habillage :

C'est l'ensemble des indications périphériques à l'image permettant l'interprétation de celui-ci.

Par exemple : titre, légende, indication du nord, carroyage, échelle, logo, ...

2- Les vocations de Spatiocarte :

On peut classer les spatiocartes en deux grandes familles :

2.1- Les spatiocartes de base ou spatiocartes topographiques :

Ce sont les spatiocartes dont le fond image et les surcharges permettent une utilisation topographique. La géométrie de l'image doit être rigoureuse et les surcharges comprennent les données topographiques comme le réseau routier, limites administratives, l'orographie, la toponymie, ...

2.2- Les spatiocartes thématiques :

Le fond image a été partiellement ou entièrement interprété afin d'extraire un ou plusieurs thèmes caractérisés sur le document par des codes thématiques associés à une légende. Des données topographiques peuvent être ajoutées. Les thèmes peuvent comprendre : l'occupation des sols, représentation des dynamiques d'un phénomène, structure géologique, ...

3- But de la spatiocarte :

La spatiocarte est destinée à représenter des objets ou phénomènes souvent complexes en utilisant certains codes. Le codage de ces phénomènes nécessite la définition des types de descripteurs géométriques, sémantiques et topologiques.

3.1- Le descripteur géométrique :

Il permet de répondre à la question « où se situe l'objet à analyser ? ». Ce descripteur est matérialisé par le système de coordonnées.

3.2- Le descripteur sémantique :

Il permet d'interpréter la carte suivant sa nature : c'est la légende.

3.3- Le descripteur topologique :

Il doit satisfaire à la question de relation entre les objets analysés. Il fait appel à l'interprétation visuelle ou assistée par l'ordinateur de la spatiocarte.

Les informations sont représentées selon des règles graphiques et des choix sémiologiques.

4- Echelle de spatiocarte:[14]

Comme nous avons montré dans la partie précédente, la précision géométrique d'une image rectifiée peut atteindre $\frac{1}{2}$ pixels. En considérant que la précision graphique des pointés et tracés cartographiques est environ 0.2 mm (pouvoir séparateur de l'œil humain) ; Cela définit une échelle maximale compatible : $E_{max} = 0.2 / r/2 = 0.4/ r$

Pour une taille de pixel r exprimée en millimètre.

Pour Landsat, r = 30 000mm, on a $E_{max} = 1/75000$;

Pour Spot, r = 20 000mm, on a $E_{max} = 1/50000$.

Chapitre II : ACQUISITION DES DONNEES

NECESSAIRES :

1- Les données-image :

Elles s'acquièrent avec la technique de la télédétection. Pour pouvoir effectuer des extractions d'informations géographiques (localisation et identification) des objets dans une spatiocarte, les données image devront subir des traitements tant géométriques que radiométriques. Dans le but d'élaboration de spatiocarte à moyenne échelle (allant de 1/200.000 à 1/25.000), les produits Spot et Landsat présentent un atout majeur grâce aux qualités géométriques et radiométriques qu'ils possèdent.

Pour une précision géométrique fiable, les déformations dues au relief devront être éliminées, ce qui nécessite l'introduction des points d'appui et de MNT. Pour le cas de mosaïque, les images utilisées doivent être de qualité et si possible avoir été obtenues au cours d'une même saison de manière à minimiser les variations radiométriques.

2- Les données exogènes :

Elles comprennent l'hydrographie, les limites administratives, les réseaux routiers, les localités, l'orographie, ...

Le plus souvent, ces informations sont obtenues par numérisation d'éléments cartographiques et/ou topographiques issus des cartes, d'une mission sur le terrain si la base cartographique n'est pas suffisante ou de l'interprétation même de l'image. Elles peuvent aussi résulter de l'extraction spécifique de données géographiques numériques issues d'un SIG. Une mission terrain est parfois nécessaire suivant la richesse et le type de données exogènes qu'on veut voir apparaître sur le document final.

3- Les points d'appui :

Ce sont des points parfaitement connus sur la carte de référence et repérés avec précision sur l'image. Ils servent de points de calage lors de la transformation géométrique de l'image dans un référentiel donné (système de coordonnées géographiques et/ou cartographiques).

Les points d'appui devront être choisis de façon précise et sur des endroits bien localisables : intersection des routes, confluence des rivières, angle de champs, ...

Ils s'acquièrent à partir de :

3.1- Cartes existantes à l'échelle adéquate :

- Identification des points sur l'image à corriger et sur la carte ;
- Relevés interactifs à l'écran des coordonnées sur l'image à l'aide d'un curseur et stockage dans un fichier ;
- Sélection par un curseur d'une table à digitaliser calibrée auparavant et stockage de leurs coordonnées dans un fichier.

Dans ces cas, la précision de ces points d'appui dépend de la précision de pointé de l'opérateur et de la carte de référence.

3.2- Images géoréférencées :

Les coordonnées de points d'appui sont directement acquises par relevé sur écran et stockage dans un fichier. Des améliorations peuvent être souhaitées aux images pour améliorer la précision de pointé :

- utilisation de zoom ;
- amélioration de contraste ;
- utilisation de bande spectrale les plus discriminantes pour un type de détail donné.

3.3- Mission sur terrain :

Les coordonnées sont mesurées en utilisant :

- les méthodes de géodésie classique ;
- les méthodes de géodésie spatiale (points GPS).

L'erreur RMS des points d'appui est la distance totale entre les coordonnées planimétriques de référence, sur l'image à corriger, et les coordonnées planimétriques observées sur cette image. En effet, pour chaque point d'appui, on a le résidu :

$$R_i = \sqrt{R_{iy}^2 + R_{ix}^2}$$

R_{ix} et R_{iy} sont les résidu en x et en y.

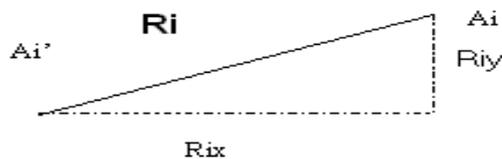


Fig.05 : RESIDU SUR UN POINT D'APPUI

A partir de ce résidu, la formule suivante donne l'erreur RMS totale pour n points d'appui.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(R_{ix})^2 + (R_{iy})^2]}$$

La tolérance normale est un cercle de rayon de deux pixels.

4- Le MNT :

4.1- Définition : [28]

C'est la représentation continue en données numériques des variations du relief d'un terrain, obtenue par échantillonnage de la surface terrestre. L'échantillonnage ou quantification d'un phénomène continu terrestre, peut se faire à partir des méthodes suivantes :

- semis de points ;
- polygones d'isovaleur ;
- trames de points.

4.2- Fabrication de MNT :

4.2.1- Récolte des données :

Plusieurs données cartographiques peuvent être utilisées pour fabriquer le MNT : données géomorphologiques, hydrographiques, courbes de niveau,... Mais seuls les courbes de niveau et/ou les points cotés permettent d'avoir une bonne représentation du relief. Ils s'obtiennent par :

- Numérisation de carte topographique ;
- Restitution photogrammétrique des photographies aériennes ou des images-satellite ;
- Corrélation automatique des images-satellite ou de photographies aériennes ;
- Interférométrie des images radar.

4.2.2- Etablissement du MNT :

Il se fait en deux phases :

❧ Représentation mathématique de l'altitude : [28]

C'est la représentation de l'altitude en fonction des coordonnées planimétriques par le développement de Taylor :

Soit un point connu A (X_A, Y_A, Z_A) ;

Pour tout point B (X_B, Y_B, Z_B) situé au voisinage de A on a :

$$Z_B = Z_A + ax + by + \frac{1}{2} (cx^2 + 2dxy + ey^2) + \frac{1}{6} (fx^3 + 3gx^2y + 3hxy^2 + ky^3)$$

Avec $x = X_B - X_A$ et $y = Y_B - Y_A$

❧ Interpolation :

Elle consiste à déterminer à partir de quelques points connus en (X,Y,Z) l'altitude des autres points dont on ne connaît que leurs coordonnées planimétriques, en utilisant la représentation mathématique définie précédemment.

Pour cela plusieurs méthodes sont utilisées dans chacun des logiciels. Citons principalement : l'interpolation linéaire et non linéaire qu'utilise le logiciel Erdas imagine.

Chapitre III : LES CORRECTIONS

GEOMETRIQUES :

1- Aperçu général :

La localisation d'un objet ou phénomène terrestre dans une image nécessite une connaissance, pour chaque élément de l'image (pixel), des coordonnées définies dans un système de référence géographique et/ou cartographique. Or, d'après ce que nous avons cité au paragraphe précédent, l'image spatiale admet une géométrie variable qui est liée à l'instrument et au mode de prise de vue. Donc, elle n'est pas superposable directement à d'autres couches d'informations. Pourtant il est possible de modifier cette géométrie en fonction d'un système de projection pris comme référence. Cette opération est connue sous le nom de « correction géométrique » ou aussi « géocodage ».

2- Construction des modèles de déformation : [14]

On cherche à déterminer la relation $(X, Y, Z) = f(p, q)$. Où

X, Y : coordonnées planimétriques d'un point sur le terrain ;

Z : coordonnée altimétrique d'un point sur terrain ;

p, q : indice de ligne (colonne) sur laquelle ce point correspondant se situe dans l'image ;

2.1- Modélisation physique :

Lorsqu'en chaque point A (p, q) de l'image, on connaît avec précision son homologue (X, Y, Z), sur une référence, la modélisation de cette correspondance est obtenue par intersection de la gerbe perspective avec l'ellipsoïde de référence suivie de la représentation plane.

La détermination de cette intersection utilise toutes les informations connues sur le mode et l'instrument de prise de vue. Donc, c'est une opération de modélisation de prise de vue. Cette modélisation est très pratique car les calculs se font automatiquement. Cependant elle est peu précise à cause du manque de précision dans la connaissance des éphémérides et paramètres d'attitude.

2.2- Modélisation polynomiale :

Cette méthode offre un modèle de déformation s'appuyant sur la connaissance d'un grand nombre de points homologues entre l'image à corriger et la carte (points d'appui). Elle consiste donc à déterminer les coefficients des polynômes F1 et F2 tels que :

$$p = F1 (X, Y) ;$$

$$q = F2 (X, Y) ;$$

Chaque point donne lieu à deux équations.

Si nous désignons par n le degré des polynômes, il faudra alors un nombre $\frac{(n+1) * (n+2)}{2}$ de points d'appui pour résoudre les coefficients des deux polynômes. En général, la détermination se fait par la méthode de moindres carrés (AnnexeVIII), en prenant en compte un nombre bien supérieur à celui déterminé ci-dessus (typiquement le double).

A l'ordre 1 le polynôme est de la forme : $p = a*X + b*Y + c$;

et corrige seulement les similitudes (rotation, homothétie, translation). Au-delà les effets pris en compte sont plus complexes (variation d'attitude, ...).

Lorsque les déformations de l'image sont complexes, angle de prise de vue grand, relief important par exemple, le polynôme devrait être plus précis ; donc de degré plus élevé.

Pourtant, l'utilisation de polynôme de degré supérieur à 3 peut s'avérer dangereuse quant aux déformations non contrôlées des zones dépourvues de points d'appui ou avec des points d'appui peu représentatifs de la complexité du relief.

On se limite donc en général au polynôme d'ordre 1 ou 2 quitte à en utiliser plusieurs pour la correction d'une image.

Cette méthode suppose que l'altitude est constante. Mais, l'introduction de variation d'altitude $Z = g(X, Y)$ où g représente un Modèle Numérique d'Élévation, permet d'affiner le modèle de déformation.

2.3- Modélisation hybride :

Cette modélisation est pratique lorsqu'on connaît le modèle de prise de vue mais avec une précision insuffisante. Ainsi, pour atténuer les incertitudes lors de la modélisation de prise de vue, on peut recourir à l'injection des points d'appui qui

serviront de points de calage du modèle. C'est donc un mixage des deux méthodes citées ci haut.

3- La rectification d'images :

Jusqu'à maintenant, on connaît la relation mathématique reliant les coordonnées (p, q) dans l'image brute aux coordonnées (x, y, z) dans la carte. Mais comment appliquer les déformations à l'image brute ? C'est l'objectif de la rectification. La connaissance du modèle de déformation permet de définir un grand nombre de points homologues et donne des idées sur les déformations qui vont s'appliquer. En fait, l'idée générale de la rectification se fonde sur la détermination d'une grille régulière à partir de la carte ou image de référence ; Puis l'orientation de l'image brute sur cette grille ;

3.1- Détermination de la grille d'interpolation : [14]

A partir de la grille régulière de points dans le système de référence (carte ou image), on choisit des points bien repartis et on détermine à l'aide du modèle de déformation leurs homologues sur l'image brute. On obtient alors une grille irrégulière dans l'image brute.

L'ensemble de ces points homologues définit ce qu'on appelle grille d'interpolation.

3.2- L'interpolation :

L'étape suivante concerne le calcul par l'interpolation bilinéaire des coordonnées de chacun des points de la carte dans l'image brute. Le modèle de terrain utilisé doit représenter au mieux la réalité de la zone géographique concernée. Pour cela, il est préférable d'établir deux grilles régulières d'interpolation dans le système de référence : l'une pour l'altitude minimale et l'autre pour l'altitude maximale. Deux modèles de déformation sont donc déduits sous forme matricielle.

Par interpolation et utilisation de MNT, on peut trouver les coordonnées rigoureuses de tous les points de l'image brute.

3.3- Le ré-échantillonnage :

Le ré-échantillonnage consiste à calculer les comptes numériques de l'image corrigée. En général, les pixels de la grille dans l'image originale rarement associés à

ceux de la grille de l'image référence, sont ré-échantillonnés pour calculer les valeurs de chaque pixel.

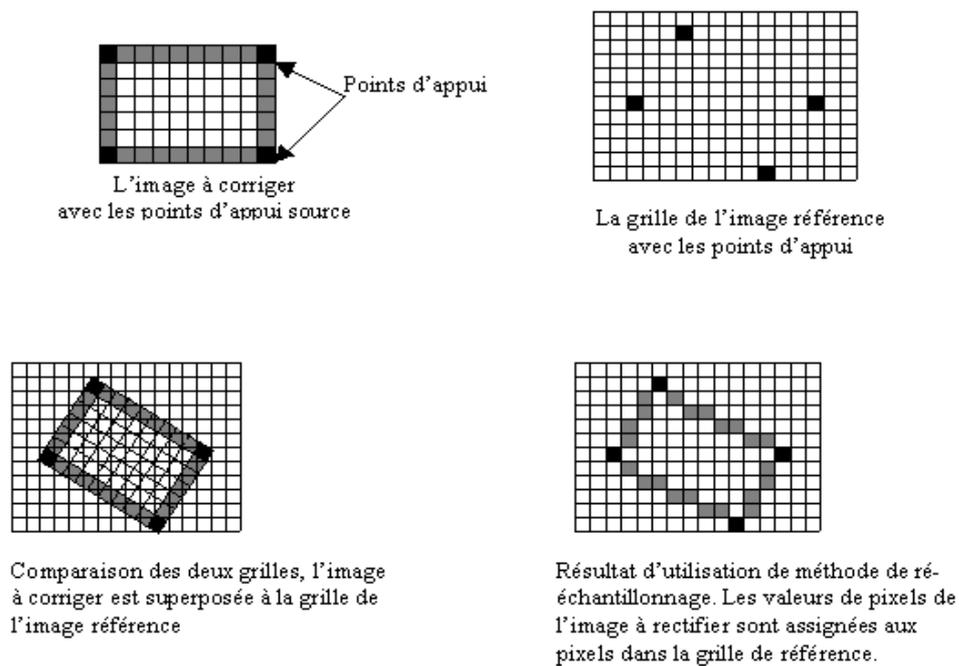


Fig.06 : RE-ECHANTILLONNAGE

On procède donc à une interpolation de valeur de pixels voisins de (p', q') pour avoir la valeur à affecter au pixel (X, Y) .

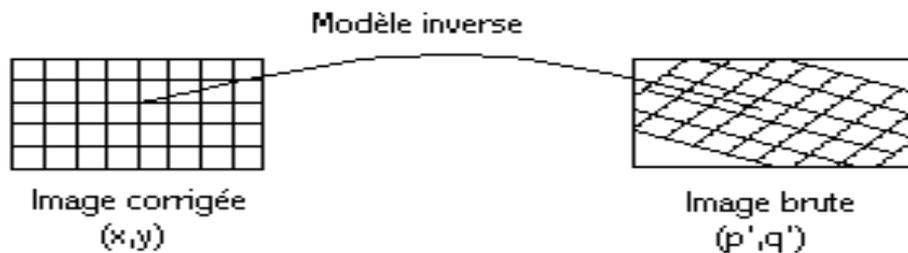


Fig.07 : MODELISATION INVERSE

4- La spatiotriangulation :

4.1 Description :

Lorsque la zone à traiter comprend une vaste étendue (ou bloc) couverte par plusieurs scènes d'images, on a intérêt à utiliser la méthode de « **triangulation** » comme méthode de correction géométrique de ces images. Cette méthode consiste à déterminer les coordonnées des points sommets de triangles à partir de visés angulaires issues des autres sommets. Bien évidemment, on part des points d'appui, pour la détermination des points intermédiaires (points de liaison) et le cheminement menant aux autres points d'appui permet de contrôler et de compenser les erreurs commises.

4.2- Choix des points d'appui : [14]

Chaque segment doit comporter au moins 4 points d'appui choisis sur les parties supérieures et inférieures du segment. Éventuellement, on met deux points d'appui au milieu du segment. Ces points devront être connus en coordonnées cartographiques ou géographiques.

4.3- Choix des points de liaison :

Les points de liaison servent à raccorder les scènes adjacentes d'un segment à autre. Ce sont des points homologues contenus dans le recouvrement intersegment. Ils ne sont pas forcément géoréférencés ; Pourtant, la connaissance approximative de leurs altitudes s'avère nécessaire pour le calcul de triangulation. En général, un segment doit comprendre une dizaine de points pour que la modélisation soit satisfaisante.

4.4- Principe :

On effectue des mesures croisées sur les points d'appui et les points de liaison. Celles-ci permettent de modéliser la prise de vue, de manière simultanée au sein du même bloc. En effet, les points de liaison situés sur la zone de recouvrement intersegment s'opèrent dans deux modèles. Ce qui favorise la cohérence des modèles de prise de vue des segments adjacents et donc le bloc entier. La précision globale sur un même bloc dépend du choix de points de liaison et de points d'appui.

5- Evaluation de précision de la correction géométrique :

La précision de la correction géométrique dépend en général :

- > du relief de la scène observée ;
- > de la répartition et densité des points d'appui ;
- > de la qualité du MNT ;
- > de la fiabilité de la carte prise comme référence et/ou des mesures sur terrain.

Dans tous les cas, une meilleure condition d'orthorectification peut atteindre une précision de 0.5 pixel. [14]

6- Le mosaïquage :

Travailler dans une zone contenue dans deux ou plusieurs scènes adjacentes nécessite l'opération de mosaïquage. Le mosaïquage ou assemblage d'images doit tenir compte de la géométrie et la radiométrie des images à juxtaposer pour produire une image homogène. Donc, l'opération comprend trois étapes :

6.1- Homogénéisation de la géométrie :

L'objectif est de superposer pixel par pixel la zone commune des deux images pour que les surfaces homologues puissent s'apparier sur l'ensemble de la zone. Toutes variations d'échelle doivent donc être éliminées dans cette zone. Cependant, pour ne pas détériorer la précision géométrique intrinsèque de l'image, il est nécessaire d'homogénéiser la précision géométrique dans l'ensemble des scènes. Ce qui exige une rectification à un même référentiel.

6.2- Amélioration de contraste de l'image :

Généralement, les images à mosaïquer sont acquises à des dates différentes. Or, les objets de même nature doivent apparaître avec des tonalités les plus comparables possibles. L'objectif de cette étape est de minimiser les différences de niveaux de gris ou de couleurs de part et d'autre de la ligne de raccord.

6.3- Assemblage d'image

La perfection de mosaïquage des images est jugée sur la disparition de la ligne de jonction. Pour cela, on adopte les méthodes telles que :

γ Remplacer la zone de recouvrement par la zone correspondante d'une seule des deux images. Cette méthode ne peut être utilisée que pour le cas d'homogénéité radiométrique parfaite des deux images.

γ Calculer les nouvelles valeurs radiométriques pour tous les pixels de la zone de chevauchement par combinaison pixel par pixel des deux images.

γ Déterminer dans la zone de recouvrement, la ligne de jointure, courbe ou brisée, la mieux adaptée pour rendre le raccordement le plus discret possible et conserver les comptes numériques de chacune des images de leur côté respectif de la ligne.

7- Le niveau de traitement

Par convention, les images sont groupées selon le niveau de traitement qu'elles subissent. Suivant l'instrument et le mode de prise de vue, les corrections à apporter sont différentes d'un satellite à un autre. Dans tous les cas, décrivons dans le tableau suivant les correspondances approximatives entre le niveau de traitement d'images issues de SPOT d'une part et de LANDSAT d'autre part.

SPOT	LANDSAT	TRAITEMENTS EFFECTUES
1A	1	Egalisation radiométrique des détecteurs. Il n'y a pas de correction géométrique. Ce sont des images brutes.
1B	3	Correction géométrique monodimensionnelle (appliquée sur les lignes seulement) : effet panoramique, rotation et courbure de la terre.
2A	8	Correction géométrique bidimensionnelle sans utilisation de points d'appui : effet de l'attitude et la géométrie de prise de vue du satellite.
2B	9	Correction géométrique bidimensionnelle utilisant des points d'appui : La rectification est effectuée sur une altitude moyenne.
3	10	Correction géométrique tridimensionnelle : utilisation de MNT

Tableau n°02 : LES EQUIVALENCES DE NIVEAUX DE TRAITEMENT D'IMAGES SPOT ET LANDSAT

Chapitre IV : LA CORRECTION

RADIOMETRIQUE

La finalité de la correction radiométrique d'images est de faciliter l'interprétation en améliorant l'esthétique. Les corrections à apporter aux images comprennent :

- ❏ amélioration des contrastes de l'image ;
- ❏ Combinaison d'informations et ré-échantillonnage ;
- ❏ Extraction d'informations thématiques.

1- Amélioration des contrastes : [21]

On désigne par « contraste de l'image » la mesure de variation d'intensités lumineuses perçues dans la dite l'image.

L'amélioration de contraste peut-être faite à l'aide des processus suivants :

1.1- Etalement des dynamiques des images :

Ce procédé consiste à utiliser l'histogramme de l'image pour assurer la meilleure répartition des teintes de gris ou des couleurs dans l'intervalle de radiométrie de l'image. L'étalement peut-être linéaire, par point d'inflexion, par isopopulation, logarithmique, quelconque,...

1.2- Renforcement de la texture de l'image :

Le but est d'analyser, pour tout pixel de l'image, les comptes numériques de chacun de ses voisins et de recalculer sa valeur par une moyenne pondérée des valeurs de ceux-ci.

1.3- Filtrage :

Il se porte sur l'élimination des bruits indésirables dans l'image et sur le rehaussement de contraste des éléments linéaires (routes, rivières,...). Selon l'objectif de l'étude, les photo-interprètes peuvent choisir entre les filtres suivants qui sont les plus répandus au monde :

- ❏ Filtre de passe-haut ;
- ❏ Filtre de passe-bas ;
- ❏ Filtre de type Laplacien ;
- ❏ Fonction de Transfert de Modulation ;
- ❏ Filtre de Sobel ;

2- Mixage des canaux et ré-échantillonnage :[7]

Le pixel des canaux multispectraux est plus fiable du point de vue radiométrique par rapport au pixel du canal panchromatique. Pourtant, ce dernier est plus précis géométriquement : taille de pixel réduite de moitié.

Il semble dès lors intéressant de mixer ces canaux dans la composition colorée ou la création de néocanaux. Le résultat de cette opération doit être une image multispectrale admettant une résolution géométrique plus performante.

Cependant, pour pouvoir superposer pixel par pixel ces canaux de résolutions différentes, l'opération doit passer nécessairement par l'étape de ré-échantillonnage.

2.1- Composition colorée :

Comme l'œil humain n'est sensible qu'au rayonnement visible, la composition colorée consiste à assigner à trois canaux différents les couleurs primitives : rouge, vert et bleu. Par conséquent, la valeur de chaque pixel résulte de la composition de ces trois valeurs radiométriques. Il est à noter que la couleur représentée n'est pas la couleur naturelle de l'objet en question. Pourtant, l'analyse des images en fausses couleurs permet de mieux discerner les éléments texturaux.

2.2- Création de néocanaux :

A partir des bandes différentes, on peut dériver des nouvelles bandes informatives et spécifiant un thème donné, relatif à une formule simple.

Exemple: L'indice de végétation est donnée par : $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$.

3- La classification

3.1- La classification provisoire ou pré classification:

Cette classification a pour but de représenter sous forme symbolique et synthétique les résultats d'une interprétation en mettant en exergue le thème objet de l'étude. Cela suppose une simplification au niveau de la représentation : c'est le pourquoi de la classification provisoire. Cette dernière peut être exécutée en deux méthodes selon la connaissance de la zone à traiter :

☐ **Classification non supervisée** : les objets sont classés selon leur degré de ressemblance. La classification se base donc aux valeurs radiométriques des objets au sol mesurés.

☐ **Classification supervisée** : elle suppose la connaissance au préalable de la zone d'étude. Les individus sont repartis dans des classes définies à priori (en général avec une carte). L'interprète repère ensuite sur l'image les zones respectives des classes choisies : ce sont les zones de calage.

Cependant, quelque soit la mise en œuvre de la classification, des travaux de terrains sont indispensables et restent le complément de la télédétection pour déterminer la clé d'interprétation afin d'assurer la fiabilité des informations à représenter.

3.2- La vérité terrain :

La mission comprend :

- ☒ la vérification des échantillons de chaque zone de test ;
- ☒ Contrôle et vérification d'autres formations dans le résultat de la classification provisoire : surface douteuse, limite incertaine,...
- ☒ Appréciation éventuelle et mesure de précision de la classification par l'établissement de matrice de confusion.

3.3- La classification définitive :

Elle consiste à rapporter à la classification provisoire les observations constatées sur terrain.

Chapitre V : L'AJOUT DE SURCHARGES ET HABILLAGE DE SPATIOCARTE

1- L'ajout de surcharges :

Cette étape consiste à superposer au fond image ainsi rectifié les données exogènes jugées nécessaires à la lisibilité et l'interprétation de la spatiocarte. L'homogénéité de la projection des différentes informations est indispensable, pour la possibilité de la superposition.

2- L'habillage :

L'opération consiste à conférer des indications périphériques au corps de la carte.

Ces indications comprennent :

2.1- Les éléments de la carte traditionnelle :

- Titre de la feuille et sa référence ;
- Amorces et croisillons géographiques et/ou cartographiques ;
- Déclinaison magnétique ;
- Échelle numérique et graphique ;
- Tableau d'assemblage général ;
- Type de projection et ellipsoïde utilisé ;
- Légende complète des signes et figurés ajoutés ;
- « Copyrights » de l'image et de la carte ;

2.2- Les éléments spécifiques de la spatiocarte :

Tableau d'assemblage des scènes utilisées avec pour chaque scène la mention de capteur, orbite, date et mode de prise de vue, canaux utilisés, niveau de traitement géométrique réalisé, origine et fiabilité des données topographiques, légende thématique si nécessaire.

Cette liste peut être allégée en fonction du but poursuivi. Néanmoins, le document final devra au moins présenter des informations permettant le repérage et la localisation géographique et/ou cartographique sur l'image.

Pour une série de spatiocarte couvrant une vaste région ou un pays entier, l'habillage doit être standardisé.

3- L'édition de spatiocarte :

Les spatiocartes peuvent être éditées sur support analogique ou sur support numérique.

3.1- Édition sur support analogique :

L'édition peut être faite par procédé photographique (sur film, papier photographique,...) ou par impression papier.

3.2- Édition sur support numérique :

Ce type d'édition est actuellement en train de se répandre. L'idéal est d'avoir un format dynamique pour pouvoir appliquer à l'image des traitements supplémentaires.

4- Évaluation de qualité de spatiocarte :

Les contrôles de qualité doivent intervenir à chaque étape du processus d'élaboration. Les critères d'évaluation de cette qualité sont :

4.1- Qualité métrique :

- Exactitude et précision du traitement géométrique de l'image ou de la mosaïque servant de fond.
- Cohérence du système de représentation cartographique : découpage, habillage, format,...

4.2- Qualité cartographique :

- richesse et fiabilité de l'information : image et surcharge ;
- mise en place de l'information, rigueur des données et de processus cartographique ;
- esthétique de l'ensemble du document ;
- qualité de l'édition.

TROISIEME PARTIE : ELABORATION PRATIQUE DE
SPATIOCARTES TOPOGRAPHIQUE ET THEMATIQUE DE LA ZONE
DE MANJAKANDRIANA A L'AIDE DU LOGICIEL ERDAS IMAGINE

Chapitre I : LOCALISATION DE LA ZONE

D'ETUDE

La zone de Manjakandriana, feuille cartographique Q47 (selon le découpage cartographique en échelle de 1/100 000, dérivé de la carte internationale du monde), a été sélectionnée pour piloter cette étude. Ce choix se repose sur des conditions technique, financière et temporelle.

1- Situation géographique :

1.1-Délimitation géographique de la zone d'étude :

La zone de Manjakandriana se trouve à l'Est d'Antananarivo. Elle est délimitée :

- ▣ Au Sud : Latitude = 19° 12' Sud ;
- ▣ Au nord : Latitude = 18°48' Sud ;
- ▣ A l'Est : Longitude = 48°00' Est ;
- ▣ A l'Ouest : Longitude = 47°42' Est ;

Et elle forme une unité de 1392Km². L'altitude varie de 880m à 1809m.

1.2- Climat :

Cette zone est située dans la partie Est de Madagascar et inclut une part de la région des hautes terres et autre part de la région humide de la cote Est. Elle fait l'objet de deux saisons bien distinctes :

- ❖ Une saison pluvieuse et moyennement chaude du Novembre au Mars.
- ❖ Une saison fraîche et relativement sèche durant le reste de l'année.

1.3- Sols et ses occupations :

La zone d'étude présente un paysage très varié notamment la succession de collines coupées et un chaos de boules granitiques.

Elle est caractérisée par la présence de la forêt primaire et des superficies de boisement en eucalyptus. Aussi, une grande partie est constituée d'une zone de savane et de steppe à *Aristida* utilisé comme pâturage. Citons aussi la présence remarquable des lacs dont le plus énorme est celui de Mantasoa.

2- Localisation administrative: (Carte n°02)

La zone à étudier est traversée par la ligne séparative des faritany d'Antananarivo et de Toamasina (Carte n°2). Elle concerne les communes suivantes :

Chef lieu de Communes	Districts	Région	Faritany
Sabotsy	Moramanga	Mangoro	Toamasina
Mantaso	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Miadanandriana	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Ambohitrandriamanitra	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Merikanjaka	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Anosibe Trimoloharano	Andramasina	Analamanga	Antananarivo
Manjakandriana	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Sambaina	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Anjepy	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Carion	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo
Ambatomanga	Manjakandriana	Analamanga	Antananarivo

Tableau n° 03 : LES CLASSES ADMINISTRATIVES DES GRANDES

AGGLOMERATIONS DANS LA ZONES D'ETUDE

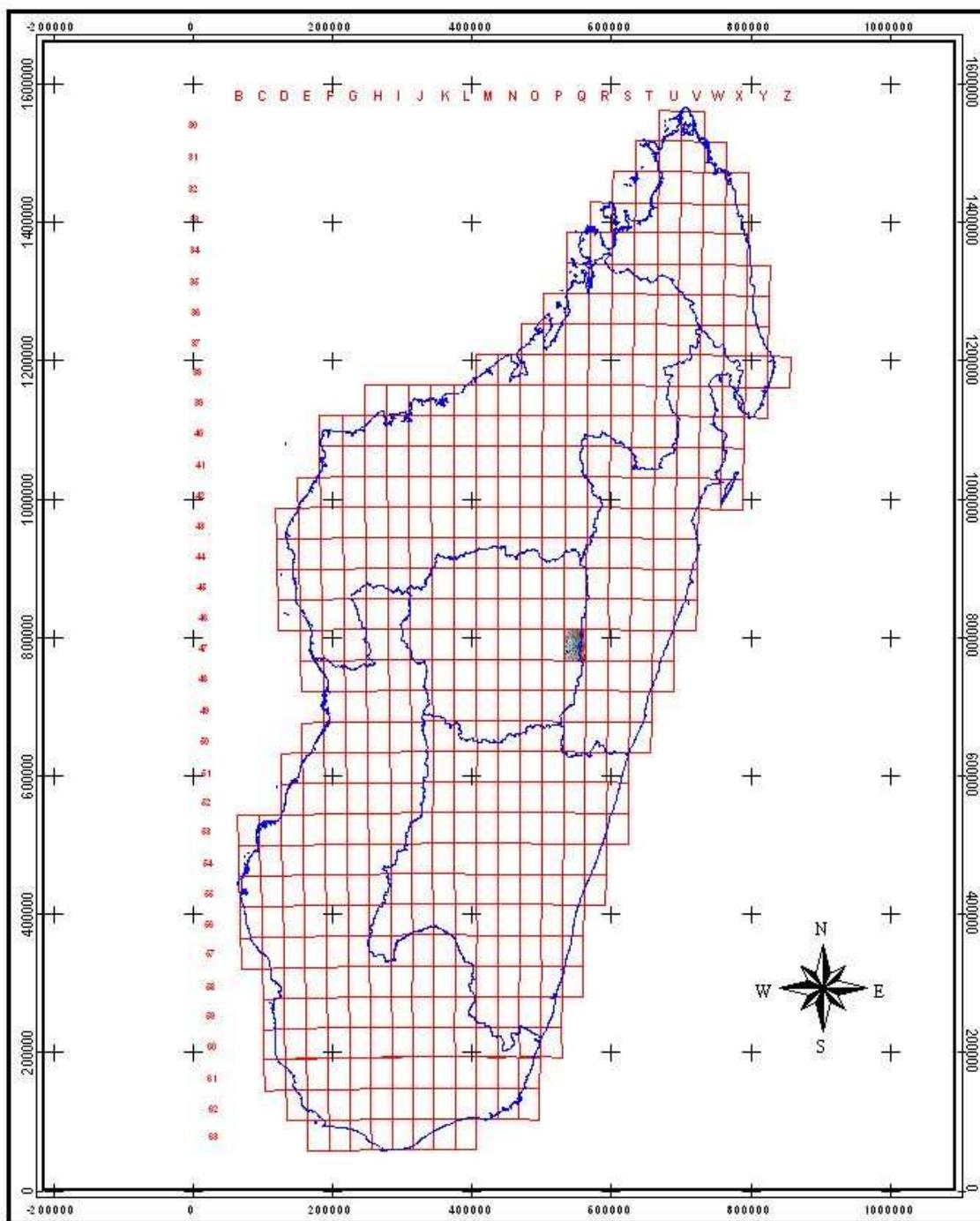
3- Présentation de la Feuille Q47 :

Un carroyage suivant la longitude et la latitude a été établi pour faciliter l'identification de chacune de 471 feuilles au 1/100000 recouvrant le territoire Malagasy (Carte n°01). Chaque feuillet mesure 24' sur la longitude et 18' sur la latitude.

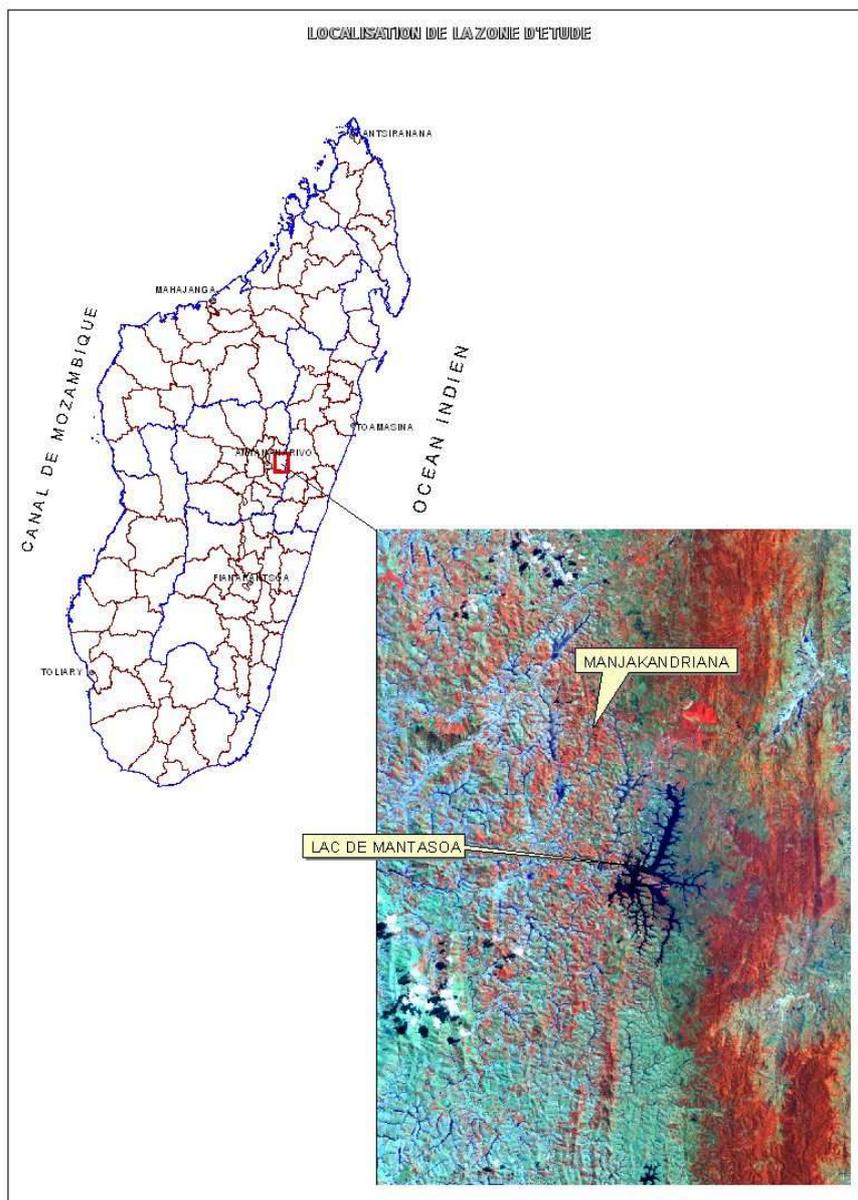
4- Présentation des images LANDSAT correspondantes :

La grille de Landsat-7 suit la ligne isomètre de la représentation plane de LABORDE pour la couverture de l'ensemble du territoire Malagasy. Pour cela 34 scènes suffisent pour représenter l'île entière. Chaque scène est identifiée par une numérotation ligne et colonne comme montre la carte n°03. Rappelons que chaque scène mesure 180Km*180Km.

DECOUPAGE DES FEUILLETS EN 1/100 000

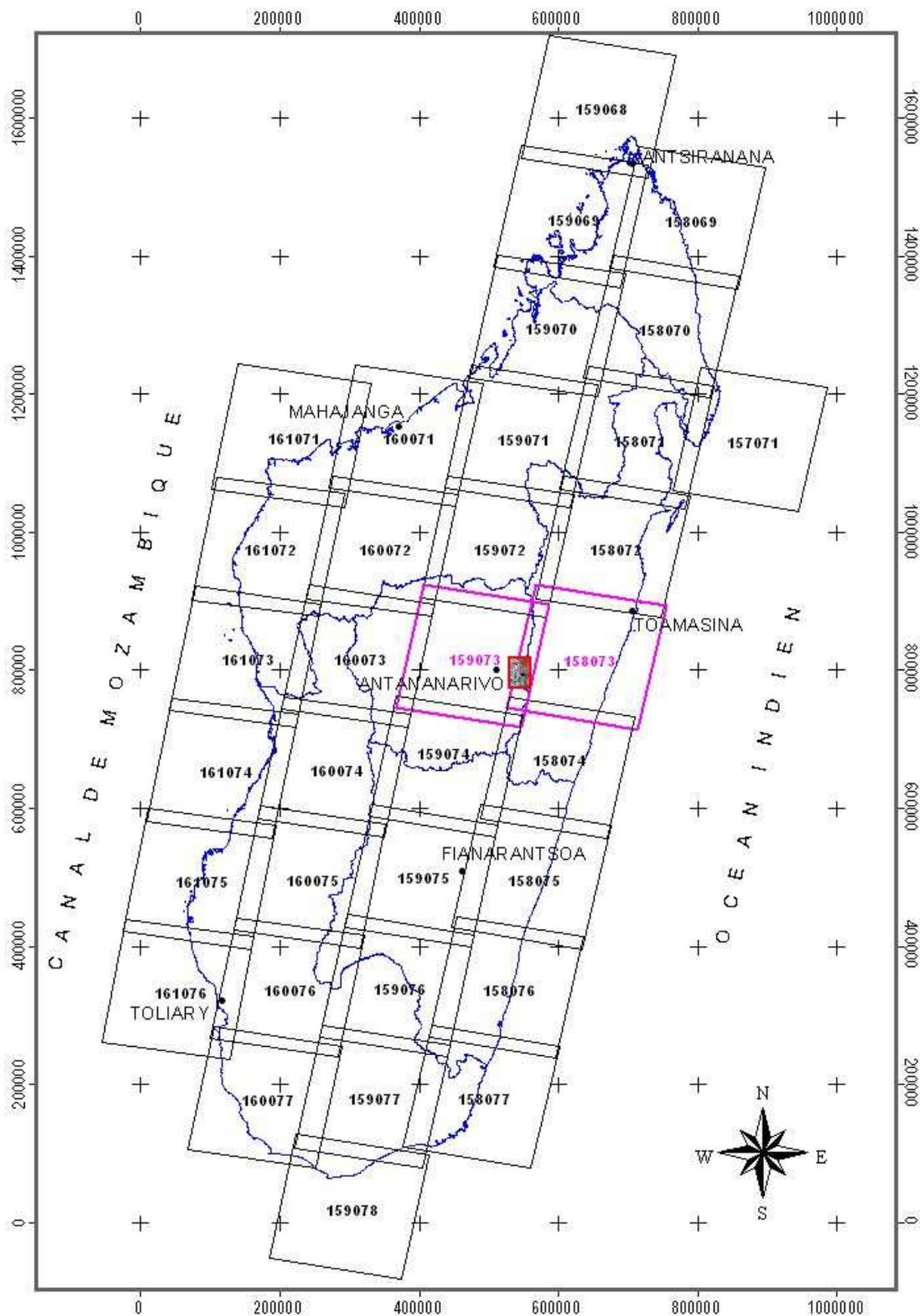


Carte n°01 : PRINCIPE DE DECOUPAGE DE MADAGASIKARA EN FEUILLETS A L'ECHELLE DE 1/100.000



Carte n°02 : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

REPRESENTATION GRAPHIQUE DU BALAYAGE LANDSAT



Carte n°03 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA GRILLE DE LANDSAT-7

5- Justification de choix :

Le choix de ces images se justifie techniquement et économiquement :

5.1- Justification technique :

D'un coté, rappelons que les images de Landsat admettent une précision géométrique de 30m en mode multispectral et 15m en mode panchromatique. Après mixage de canaux, on peut, par ré-échantillonnage, avoir une image pseudo-multispectral de résolution 15m. Il s'ensuit qu'à l'échelle de 1/100000, la précision 0.2mm d'une carte (soit 20m sur terrain), peut être atteinte.

D'autre coté, Landsat possède six (06) images multispectrales qui présentent une richesse en qualité.

5.2- Justification économique :

Pour l'extension de l'étude sur une région ou sur l'île entière, une scène de Landsat qui recouvre 180 * 180Km, présente un intérêt économique énorme.

Chapitre II : PRESENTATION DU LOGICIEL

ERDAS IMAGINE

1- Description du logiciel :

Erdas imagine est un logiciel SIG (Raster et Vecteur) qui permet de créer et de spécifier les spatiochartes, depuis le traitement du fond-image jusqu'à la présentation finale. Il se présente non seulement comme un simple logiciel DAO ou CAO, mais aussi comme un outil permettant d'une part, de traiter la géométrie et la radiométrie d'une image et d'autre part, d'analyser et représenter les données géographiques spatiales et aériennes. Ainsi, le logiciel Erdas Imagine est susceptible de rendre plus performant et plus agréable la visualisation et l'analyse de ces informations géographiques. Les données traitées par ce logiciel peuvent comprendre :

1.1- Les données Raster :

☐ Données-satellite acquises dans les gammes de longueur d'ondes du Visible à l'Infrarouge ;

- ☒ Image Radar ;
- ☒ Photographies aériennes ;
- ☒ Modèle Numérique du Terrain (MNT).

1.2- Les données Vecteur :

- ☒ Fichier ARCINFO de format GENERATE ;
- ☒ Fichier CAD de format DXF ;
- ☒ Autres fichier pouvant se relier avec le format TIFF ou TFW ;

2- Exploration des principaux modules :

Le logiciel Erdas imagine a été conçu de façon modulaire afin de permettre facilement des adaptations ou des extensions. A l'intérieur de chaque module sont rangées des fonctions exécutables. Chaque module est rangé dans cinq (05) catégories indépendantes comme montre l'organigramme n°3.

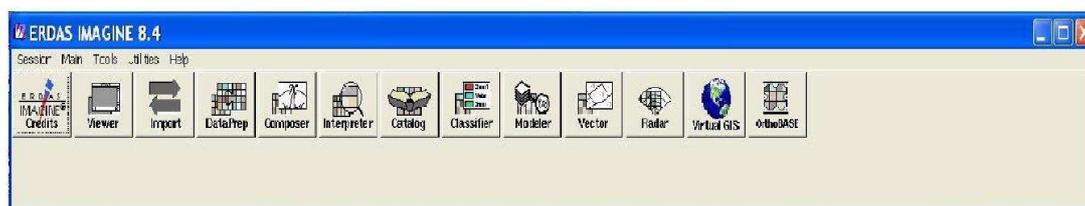
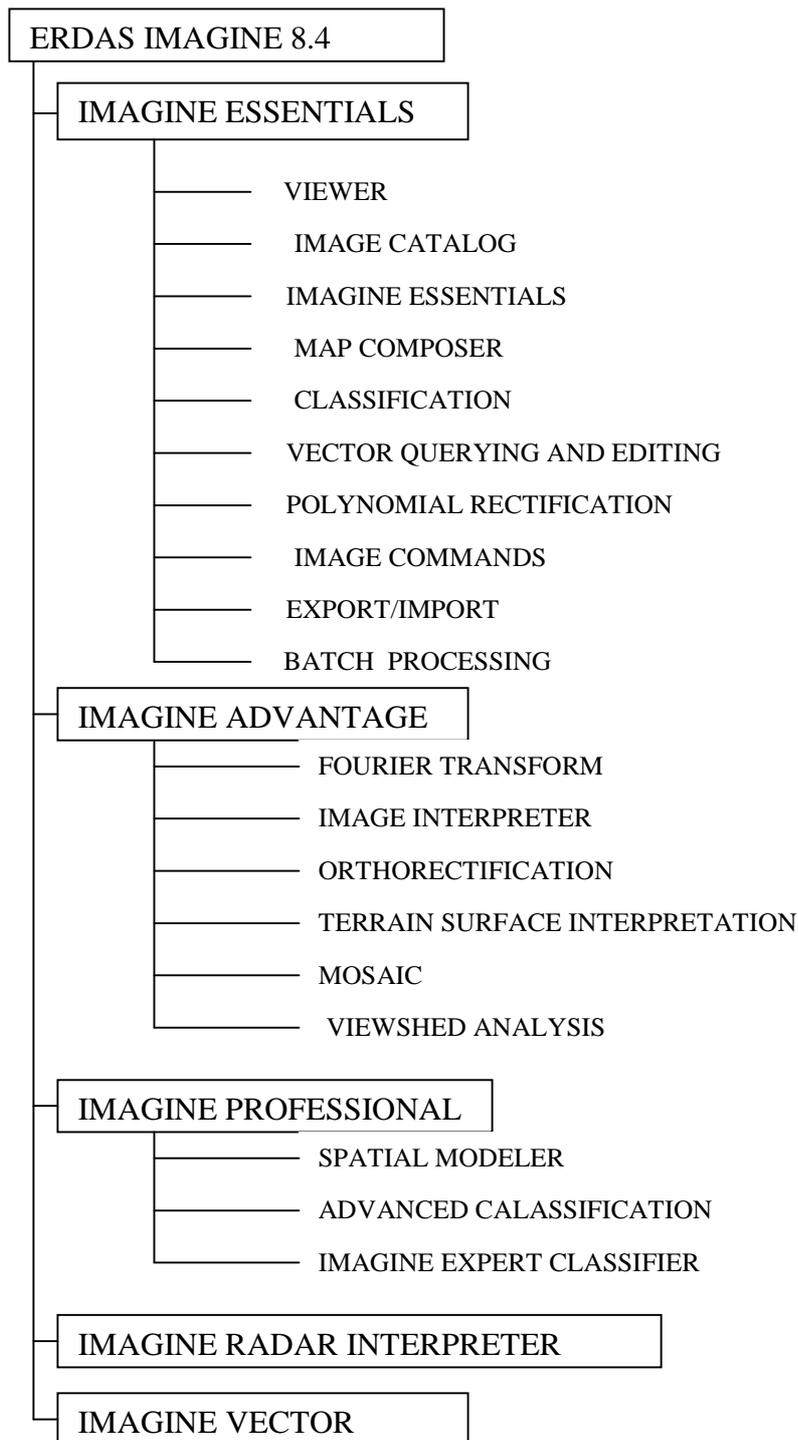


Fig.08 : LE PANNEAU DE CONFIGURATION DE ERDAS IMAGINE



Organigramme n°03 : LES PRINCIPAUX MODULES DANS ERDAS IMAGINE

N.B : Tous ces modules présents sont en version anglaise.

3- Performances du logiciel :

Le volume des images pouvant être stockées dans le logiciel dépend de la capacité du disque de l'ordinateur où il réside. On reconnaît les performances du logiciel Erdas Imagine non seulement sur la qualité des produits traités, mais surtout sur sa capacité d'exécuter, dans un délai plus court, des traitements qui dépassent ou non la capacité des autres logiciels SIG.

En particulier, les fonctions et les modules suivants permettent de juger la perfection du logiciel Erdas Imagine :

∞ Le module « **Image catalog** » : c'est un module servant comme système de gestion des fichiers-image dans le logiciel. Il rattache toutes les images géoréférencées (selon la projection correspondante) à leur localisation respectives sur la carte géographique du monde. La gestion inclut l'ajout, la suppression, la recherche et l'analyse des fichiers-image.

∞ **Les corrections géométriques** : les corrections concernent les images satellites (particulièrement SPOT HRV, LANDSAT MSS, LANDSAT TM, RADARSAT). Le logiciel peut corriger les données brutes selon le niveau voulu jusqu'au niveau de l'ortho-image ou orthophotographie. Les mosaïques et le MNT générés du logiciel Erdas sont de meilleure qualité, du point de vue radiométrique et géométrique comparés à ceux effectués dans d'autres logiciels comme IDRISI.

∞ **Les corrections radiométriques** : Plusieurs dizaines de fonctions sont disponibles dans des modules d'Erdas Imagine, destinées à améliorer la radiométrie de l'image. En particulier, les modules :

- « **Imagine Interpreter** » présente des fonctions pour enlever les bruits, augmenter les contrastes et analyser les textures d'une image ;
- « **Fourier Analysis** » permet de filtrer les images ;
- « **Classification** », « **Advanced Classification** » et « **Imagine Expert Classifier** » sont des modules permettant d'effectuer des classifications supervisées et non supervisées.

∞ **Analyses visuelles** : Erdas Imagine présente des modules permettant d'exécuter une analyse visuelle des informations géographiques, qui est souvent

appliquée en téléphonie mobile, planification des travaux de génie civil, planning de mission,...

Citons la présence du module « **Virtual GIS** » et « **Image Drape** » qui sont des visualisations dynamiques en trois dimensions d'une image.

⌘ **Automatisations des traitements :**

La spécificité d'Erdas Imagine réside essentiellement dans l'existence de langage de programmation EML (Erdas Macro Language) qui lui est propre, permettant d'optimiser les tâches. De même sa possession de module «Batch processing » permet l'exécution en même temps d'une ou de plusieurs commandes sur un ou plusieurs fichiers. Enfin, le « Model Maker » est un module de modélisation graphique de toutes les étapes et les fonctions exécutées sur les données afin de faciliter la vérification et la modification.

⌘ **Création d'une carte :** Le module « **Map Composer** » permet l'élaboration d'une carte : extraction de feuillet, superposition des couches (rasters, vecteurs), habillage, édition analogique ou numérique.

Chapitre III : ELABORATION DE SPATIOCARTE DE BASE : feuille Q47

1- Collecte des données :

1.1- Le fond image :

La feuille Q47 est comprise dans deux scènes connexes 158073 et 159073 issues du satellite Landsat-7 (carte n°03), prises respectivement le 28 Octobre 2000 et 12 Mai 2000. Ce sont des images reçues originellement par le centre de réception d'image Landsat, avec le format GEOTIFF dans la projection UTM, mais reformatées en « generic binary » et reprojetées en « Hotine Oblique Mercator » avant d'être livrées au FTM. En déduction ce sont des images de niveau 8 [p.45].

1.2- Les données exogènes :

1.2.1- Les données topographiques planimétriques :

- ❖ **Le réseau routier** : route de grand parcours, route carrossable toute l'année, route praticable une partie de l'année, piste jeepable ou non et sentier.
- ❖ **Les toponymes** : quartier, chef lieu de Fokontany, chef lieu de commune, chef lieu de district.
- ❖ **Les hydrographies** : cours d'eau permanent ou périodique, sources, rivières, lacs ;
- ❖ **Limites administratives** : limite de faritany, limite de région, limite de district, limite de commune.
- ❖ **Lignes téléphoniques et télégraphiques et câble transporteur d'énergies électriques ;**
- ❖ **Chemins de fer ;**
- ❖ **Escarpement rocheux et talus noir;**

1.2.2- Les données topographiques altimétriques :

- ❖ **Orographie** : courbes de niveau maîtresses et normales.
- ❖ **Points altimétriques** : points cotés et points géodésiques.

Mode d'acquisition des données exogènes : La numérisation

C'est la technique de conversion de données graphiques (carte) en éléments numériques. Elle a été faite manuellement en utilisant la table à digitaliser, à partir de planche-mère ou carte topographique. Sa réalisation suit les étapes suivantes :

- ◆ Introduction de 4 points (situés sur les 4 coins de la carte) servant de calage de la carte ; le calage permet le passage de coordonnées table vers les coordonnées cartographiques.
- ◆ Suivi point par point des éléments identifiés ;
- ◆ Vérification du rendu vecteur et reprise éventuelle des omissions constatées ;

C'est une opération longue et fastidieuse mais précise et n'exige pas de logistique complexe par rapport aux autres méthodes telles que restitution photogrammétrique, numérisation semi-automatique (scannérisation).

2- Traitement du fond image :

2.1- Import des images :

La première étape du traitement consiste bien sûr à importer les scènes à traiter dans le logiciel de traitement. Rappelons que chacune des bandes comprend deux fichiers :

- ◆ Le fichier d'en-tête qui comporte toutes les informations concernant la bande ;
- ◆ Le fichier image.

L'importation comprend aussi le changement de format de « generic binary » vers « imagine » qui est le format spécial du logiciel Erdas Imagine.

2.2- Correction radiométrique :

2.2.1- Réalisation de la composition colorée RVB :

La composition colorée RVB consiste à attribuer aux trois canaux sélectionnés selon l'étude, les trois couleurs primitives Rouge, Vert et Bleu. Quelques expériences ont été réalisées et nous avons pris en note les constats suivants :

- La composition 321 permet de visualiser la couleur naturelle de l'image.
- La composition 453 qui facilite la discrimination des différentes classes d'occupation des sols.

2.2.2- Transformation ITS :

Elle permet de séparer l'information spatiale (Intensité) de l'information spectrale (teinte et saturation). Nous remarquons que tout comme le canal panchromatique TM8, le canal « Intensité » contient une information de type spatial. Ainsi, nous remplaçons l'un par l'autre ; puis, nous effectuons la transformation inverse.

Ce processus permet de renforcer la discrimination de sols nus au détriment de la végétation. Comme notre étude concerne une zone moyennement agricole et forestière, nous avons procédé à remplacer la bande TM8 en $1/3 * [2 *(TM8) + TM4]$. Cette nouvelle composition facilite l'identification des objets linéaire dans les images dans les deux dates différentes. Pourtant, elle n'est utilisée que pour faciliter la correction géométrique.

2.2.3- Amélioration de contraste :

Nous avons procédé à une amélioration de contraste par l'étalement des dynamiques de l'image. Dans le logiciel Erdas Imagine, l'étalement peut être fait par :

- Etalement linéaire ;
- Etalement non-linéaire ;
- « Piecewise » linéaire ;

Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode « piecewise » linéaire. Le but est de rehausser le contraste des zones sous ombre. On a aussi recours à l'utilisation d'une fonction appelée « breakpoints » qui facilite l'étalement par la manipulation de l'histogramme de chaque couleur.

2.2.4- Filtrage :

Le filtre de passe haut a été sélectionné afin de rehausser les éléments linéaires et les limites zonales.

2.3 Correction géométrique :

Comme les images que nous traitons ont déjà subi une correction de niveau 8, il nous reste alors à introduire des points d'appui et le modèle numérique de terrain afin d'avoir un fond ortho-image. Le logiciel Erdas imagine effectue automatiquement la correction géométrique en entrant les points d'appui et le MNT.

2.3.1- Fabrication du MNT :

Le MNT a été généré à partir :

- Des points altimétriques dont la densité est de 1 point/4km² ;
- Des courbes de niveau dont l'équidistance est de 25m ;

Avec le module « Terrain Surface », du logiciel Erdas imagine on introduit les fichiers contenant les courbes de niveau et les points altimétriques. Le logiciel transforme ces données en mode vecteur en données tabulaires avant d'exécuter automatiquement l'opération en utilisant la méthode d'interpolation TIN (Triangulated Interpolation Network). La table résultante est composée de 237640 points et donne une moyenne de 2 points/ha.

2.3.2- Piquage des points d'appui :

Les coordonnées référence des points d'appui sont obtenues à l'aide de la couche hydrographique numérisée. Ces points sont choisis de façon qu'ils soient plus identifiables dans l'image à corriger : confluences de cours d'eau, carrefour,... Des améliorations ont été apportées sur le contraste de cette image pour faciliter l'identification des points.

Le polynôme du modèle de déformation que nous avons utilisé est d'ordre 2. Dans ce cas, 6 points d'appui permettent la résolution du système et dans la pratique, nous avons relevé 30 points dont le résultat final en précision donne :

$$\text{RMS} = 47 \text{ m}$$

Ce résultat est suffisant car la tolérance requise par l'opération de correction géométrique est de 2 pixels soit 60 mètres.

2.3.3- Rectification de l'image:

Avec le modèle de déformation défini par les points d'appui, on exécute maintenant la rectification de l'image. Le logiciel Erdas imagine demande, pour l'orthorectification :

- ❖ l'introduction des points d'appui ;
- ❖ l'intégration du MNT ;
- ❖ le choix de fonction d'interpolation pour le ré-échantillonnage.

2.4 - Mosaïquage et extraction de la zone d'intérêt :

Les images corrigées séparément, le temps est venu de les assembler pour former une unité. L'exécution de l'opération suit la procédure suivante :

- ❖ Amélioration de contraste pour avoir une radiométrie semblable ;
- ❖ Détermination de la zone de recouvrement, la ligne de jointure, la mieux adaptée pour rendre le raccordement le plus discret possible en conservant les comptes numériques de chacune des images de leur côté respectif de la ligne.
- ❖ Exécution de l'opération de mosaïquage.
- ❖ Délimitation et extraction de la zone intéressante : la limite du feuillet Q47 est donnée par une couche vecteur nommée « coup100 ».

3- La mission « vérité-terrain » :

3.1-L'objectif :

Pour l'élaboration de spatiocarte topographique, la mission « vérité-terrain » comprend la vérification sur terrain de l'existence, de la nature, de la dimension, de l'état et de la position des éléments topographiques tels que réseau routier, localités, limites administratives, hydrographie.

3.2- Préparation :

Les matériels utilisés comprennent :

- GPS de poche ;
- Ruban ;
- Carte topographique ;
- Représentation cartographique des éléments topographiques à vérifier sur terrain.

On étudie les trajets à parcourir en fonctions des données à vérifier.

3.3- Principe de réalisation :

3.3.1- Le réseau routier :

- Localiser avec le GPS l'endroit où on est, puis rapporter les coordonnées géographiques sur la carte topographique.
- Mesurer la dimension réelle de la route en question.
- Constater l'état de la route.

3.3.2- Le réseau hydrographique :

- Se localiser avec le GPS ;
- Mesurer la dimension du lit de cours d'eau ;

- Se renseigner de l'état de l'eau dans les saisons différentes.

3.3.3- Les localités :

Localiser avec le GPS la position géographique de chacune des localités.

Faute de moyen et de temps de notre stage, nous n'avons pu faire que constater quelques échantillons de ces informations données par la BD100 produite au FTM.

3.4- Le résultat de la mission « vérité terrain » :

La mission sur terrain permet de déduire les constatations suivantes :

3.4.1- Les éléments planimétriques :

➤ *Route de grand parcours :*

On distingue les routes nationales bitumées, non bitumées et praticables une partie de l'années.

Route nationale bitumée : Dans cette zone, nous observons la RN2 (Antananarivo vers Toamasina) qui est en bonne état. Sa largeur moyenne est de 6m.

Route nationale non bitumée : Une partie de la route de cette classe est anciennement bitumée (vers la Première République). Actuellement, cette route est en mauvais état surtout en période de pluie. Toutefois, elle est praticable toute l'année. En général, les véhicules lourds utilisent les routes toute l'année pour le transport des produits et des voyageurs. Ex : Manjakandriana - Merikanjaka

Route nationale praticable une partie de l'année : Cette classe ne présente pas cette zone.

➤ *Route carrossable toute l'année :*

Le tronçon Maharidaza – Anjepy est une route dont la couche de revêtement est un mélange de gravillon et de liant. La largeur moyenne de la chaussée est de 4m.

➤ *Route praticable une partie de l'année :*

C'est la classe des routes dont l'utilisation est contrôlée durant la saison pluvieuse. En général, une barrière est utilisée pour limiter ou interdire les voitures servant les routes. Par exemple, la route de Mantasoa – Miadanandriana qui traverse une zone inondable et aucune voiture ne peut y traverser en période de pluie.

➤ *Piste :*

Par définition, la piste est une route en terre dont la structure est composée uniquement d'un sol support reprofilé.

On regroupe dans le nom « piste jeepable » les pistes dont l'utilisation n'est possible que pour les voitures spéciales (jeep, 4*4, ...) ou des charrettes.

Les principales utilisations des pistes sont pour l'évacuation des produits locaux des fins fond de communes.

Nous constatons aussi la présence de piste améliorée ; Par exemple la piste reliant le chef lieu de commune d'Anjepy vers Manankavaly. on a surmonté au sol support une couche de roulement composée de graveleux latéritique.

➤ **Sentier :**

Nous regroupons dans cette classe les chemins d'exploitation et les sentiers qui sont servis pour la circulation piétonnière. En général, sa largeur ne dépasse pas de 1 mètre.

3.4.2- Les éléments hydrographiques :

➤ **Les cours d'eaux :**

Trois classes sont englobées dans cet ensemble. Les cours d'eau intermittents qui partent des sources situées généralement sur des zones à hautes altitudes. Ils alimentent les cours d'eau permanents. Ces derniers, ayant une largeur moyenne de 2 mètres, alimentent à leur tour les rivières et ou les lacs.

➤ **Les lacs :**

Dans cette zones les lacs sont permanent toute l'année. Pourtant, on constate une retraite des eaux dans la saison sèche.

4- L'ajout des surcharges, habillage et édition :

4.1- Les surcharges :

Les surcharges recueillies et vérifiées ou non sont dans cette étape ajoutées au fond image orthorectifié. A l'aide du logiciel Erdas Imagine la superposition des informations doivent se faire avant la présentation de la spatiocarte. Toutefois, il faut choisir la dimension et l'emplacement convenable des informations attributaires pour avoir une bonne présentation : la position des descriptions sémantiques des objets (ex :

toponymes) doit être standardisée si possible et ne doit pas en général empiéter sur les autres informations.

4.2- L'habillage :

Les indications périphériques comprennent :

4.2.1- Données géométriques :

- ★ Carroyage avec des coordonnées géographiques et rectangulaires,
- ★ échelle graphique et numérique ;

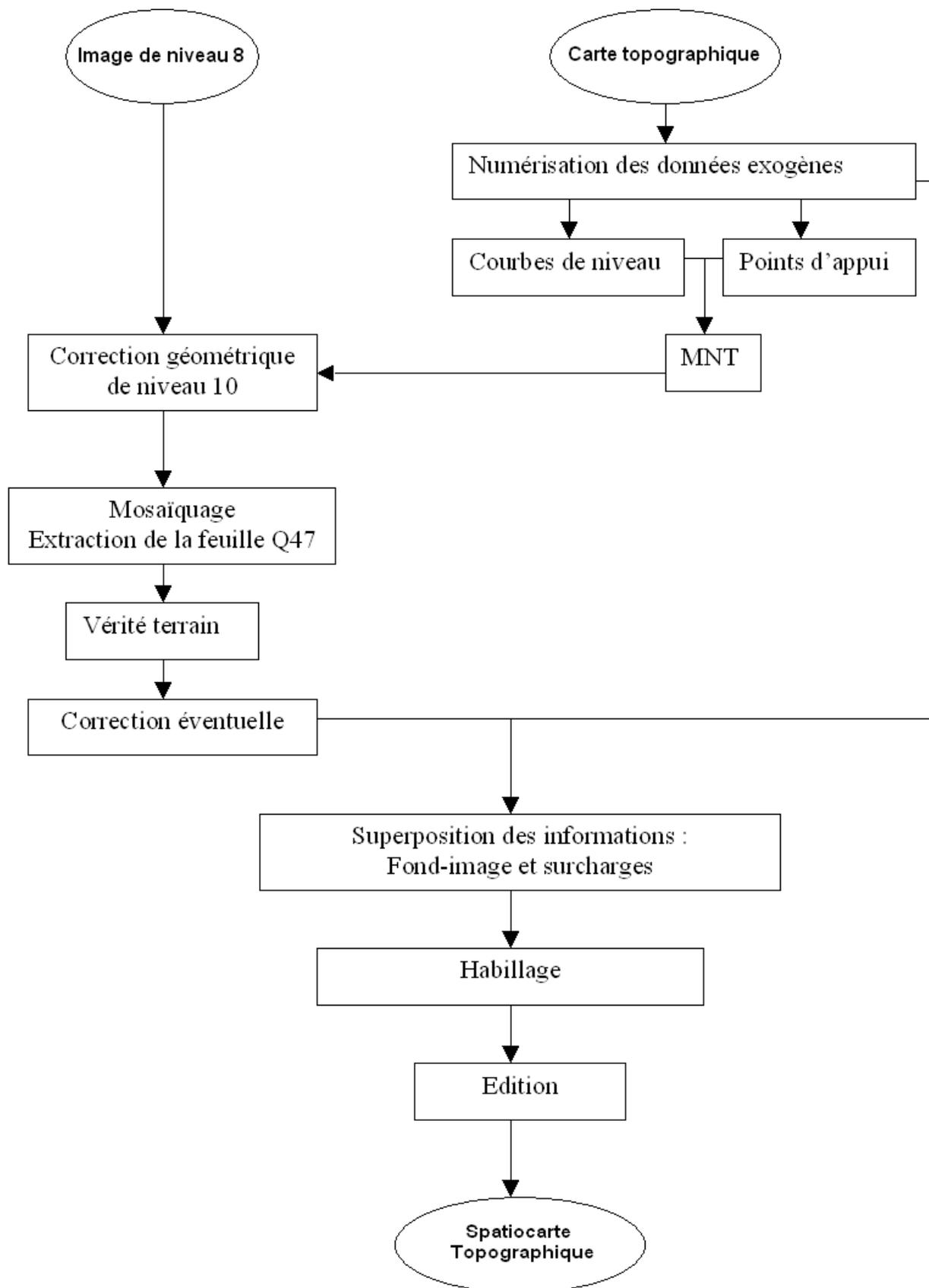
4.2.2- Des informations générales pour l'utilisation de spatiocartes :

- ★ titre : C'est l'identifiant de la spatiocarte. Il est choisi de façon à bien refléter l'identifiant et le but de la spatiocarte.
- ★ La légende : elle inclut les interprétation des symboles utilisés pour représentation des éléments topographiques et infrastructures.
- ★ La description du fond-image : la composition colorée, le niveau de traitement géométrique, le satellite.

Le choix de l'emplacement de chacun des éléments doit tenir compte de l'esthétique de la spatiocarte.

4.3- Edition :

Avant d'éditer la spatiocarte, il faut déterminer la taille occupée par la spatiocarte (y compris le corps de la carte et les indications périphériques), afin de déterminer la dimension du papier pour l'éditer. Comme chaque feuillet au 1/100 000 est découpé suivant une dimension de 32km*44km, le papier utilisé est le format A2. Pour l'impression, dans Erdas imagine, la carte composée porte le format « map » qui est directement connu par l'imprimante.



Organigramme n°04 : RESUME DE L'ELABORATION DE SPATIOCARTÉ TOPOGRAPHIQUE

Chapitre IV : ELABORATION DE SPATIOCARTE THEMATIQUE : Feuillet Q47

1- Traitement du fond image

Le fond image ayant été orthorectifié, la spatiocarte thématique permet de donner au lecteur les synonymes des différents thèmes représentés dans l'image. Nous avons utilisé respectivement les bandes 4, 5 et 3 en composition colorée RVB. Cette composition en fausse couleur permet de rehausser les différents thèmes d'occupation des sols. Cette interprétation se base sur la connaissance des valeurs radiométriques de chaque pixel qui sont fonction de la réflectance de l'objet terrestre. Ainsi, et avec l'aide de la carte topographique existante dans cette zone, et de la BD100 en possession du FTM, nous avons pu affirmer la classe de chaque pixel. Pourtant, l'assurance des affirmations reste à confirmer par une mission « vérité-terrain ».

2- La mission vérité terrain :

2.1- Préparation de mission :

On commence par rassembler les documents et appareils suivants :

- ◆ Carte topographique de référence Q47 ;
- ◆ GPS de poche.
- ◆ Carte routière;
- ◆ Appareil photographique et jumelle.

2.2-Choix de site-test

Les sites-test sont choisis aux endroits accessibles où un ou plusieurs thèmes sont douteux, afin de déterminer les trajets à parcourir. Nous avons choisi 9 sites dont la répartition est donnée sur la carte n°04.

2.3- Réalisation :

Elle se fait en suivant le parcours étudié précédemment. Les différentes perceptions que l'on peut confronter avec les réalités, au cours du chemin peuvent être :

- ★ Observation ponctuelle qui se fait sur un point et consiste à vérifier que ce point correspond exactement au résultat obtenu au bureau ;

- ★ Observation stationnelle qui s'effectue sur une surface pouvant être parcourue totalement ou partiellement suivant l'incertitude à laquelle ces surfaces sont entachées.
- ★ Perception linéaire qui est la suite d'observations successives le long d'un axe ou d'une route.

Toutes les observations peuvent être localisées. La localisation se fait avec le GPS de la manière suivante : on stationne au point localisé et grâce à une communication par voie hertzienne entre satellite et station, on connaît en temps réel la position des observations (longitude et latitude géographique).

2.4- Résultat de l'opération « vérité terrain » :

Nous avons recueilli sur terrain les informations représentées dans la figure suivante :

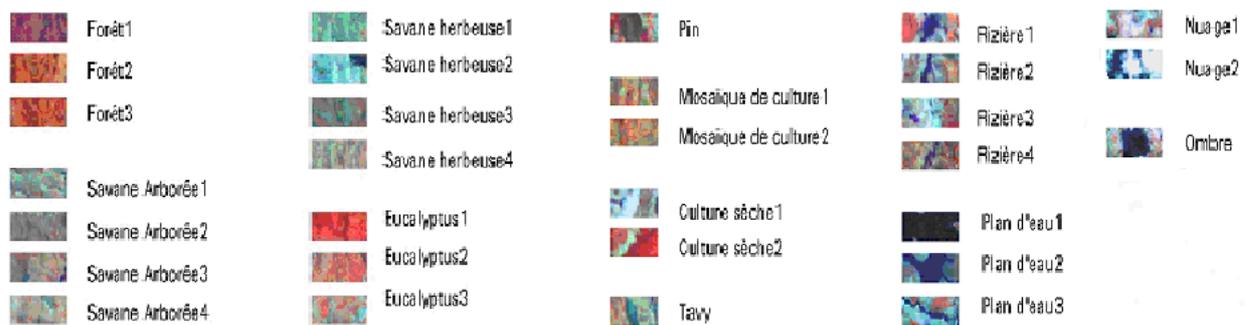


Fig.09 : IDENTIFICATION DES DIFFERENTES CLASSES DANS LA COMPOSITION 453

2.4.1- Les forêts :

Trois types de forêts sont bien distincts dans la composition colorée 453 :

Forêt 1 : Forêt primaire ayant l'état original de la forêt vierge de l'Est. C'est une forêt dense et humide à haute et moyenne altitude.

Forêt 2 : Forêt entamée. Par l'activité humaine, certains arbres de la forêt sont coupés. La forêt est plus claire par rapport à sa primitive. La radiométrie résulte de la reflectance de la forêt qui occupe encore une majeure partie et du sol au fond.

Forêt 3 : Forêt dégradée. Cet échantillon montre une étape plus manifestée de la forêt.

2.4.2- Les savanes arborées :

On groupe dans cette classe les parcelles dont les éléments structuraux sont les herbes et des clans de bois. La condition de l'environnement des savanes arborées permet de les grouper suivantes 4 classes suivantes :

Savane arborée 1 : Pour les herbes plus courtes en milieu humide, le sol humide a un impact sur la réflectance de la parcelle. Cette classe se localise dans la région de haute terre.

Savane arborée 2 : Contrairement à cette première classe, les herbes sont très longues.

Savane arborée 3 : Cette classe est composée d'une majorité d'arbre.

Savane arborée 4 : En réalité les herbes sont colorées en jaune, indiquant le manque de l'eau sur la zone.

2.4.3- Les savanes herbeuses :

Ce sont les parcelles occupées totalement par des herbes. Quatre classes sont mises en évidence dans cette zone. En fait, le mot « savane herbeuse » que nous utilisons dans la classification résulte de la convention

Savane herbeuse 1 : C'est la couverture du sol en steppe en milieu humide.

Savane herbeuse 2 : En milieu de haute altitude, la steppe est plus courte et le sol est dénudé et influe sur la réflectance.

Savane herbeuse 3 : auprès du las de Mantasoa nous avons constaté la présence de savane qui admet une taille plus longue.

2.4.4- Eucalyptus

Des variations sont mises en évidence dans la composition 453 pour représenter les eucalyptus selon les correspondances suivantes :

Eucalyptus 1 : Eucalyptus vif ;

Eucalyptus 2 : Eucalyptus clairsemé ;

Eucalyptus 3 : Boisement récent ;

2.4.5- Pin :

Le pin vif admet une couleur « rouge sang ».

2.4.6- Mosaïque de culture :

Mosaïque de culture 1 et 2 sont des nuances de culture dont les éléments texturaux sont les arbres fruitiers ou non et des cultures sèches.

2.4.7- Cultures sèches :

Culture sèche 1 : culture de maïs, maniocs, haricots,...dans les rizières au moment où les riz ont déjà été récoltés, ou aux environs des villages.

Culture sèche 2 : cela représente les mêmes cultures pratiquées à des zones montagneuses.

2.4.8- Tavy :

Par convention, on regroupe dans cette classe les parcelles dont les forêts sont coupées pour cultiver du riz.

2.4.9- Rizières :

Rizière 1 : Rizière dont les riz viennent d'être récoltés (mois de Mai). La réflectance de l'eau domine.

Rizière 2 : La couleur violacée marque la présence de riz mûr et de l'eau au fond.

Rizière 3 : La rizière dans l'autre portion d'image prise en Octobre, dépourvue de l'eau. Des cultures sèches sont pratiquées durant la saison sèche.

Rizière 4 : Cette portion très violette montre une rizière dont le riz est en pleine croissance. Cette couleur résulte d'une composition de la réflectance de l'eau est celle de la plante de riz en pleine croissance.

2.4.10- Plans d'eau :

La composition colorée 453 met en évidence la différence entre les trois types de plan d'eau suivants :

Plan d'eau 1 : eau de haute profondeur ;

Plan d'eau 2 : eau de faible profondeur ;

Plan d'eau 3 : cours d'eau bordée par des herbes.

2.4.11- Nuages :

Ce sont des nuages présents lors du moments de prise de vue.

Nuage 1 : c'est un nuage qui se trouve dans la zone de recouvrement de l'image. La teinte rouge sur le nuage est le reflet de l'élément terrestre situé dans l'image au second plan.

Nuage 2 : nuage pur.

2.4.12- Ombres :

Ce sont les ombres des nuages. Ils ont une réflectance presque confondus au plan d'eau.

3- Classification en vue de l'élaboration de spatiocarte d'occupation des sols :

Après la correction géométrique du fond-image et l'opération de « vérité terrain » élaborées précédemment, on cherche une représentation synthétique pour faciliter la lecture des différents thèmes d'occupation des sols. Notons qu'après l'opération « vérité-terrain », un thème peut être représenté en différentes teintes dans la composition colorée, en fonction des environnements où il se trouve.

4- L'ajout de surcharges, l'habillage :

4.1- Les surcharges :

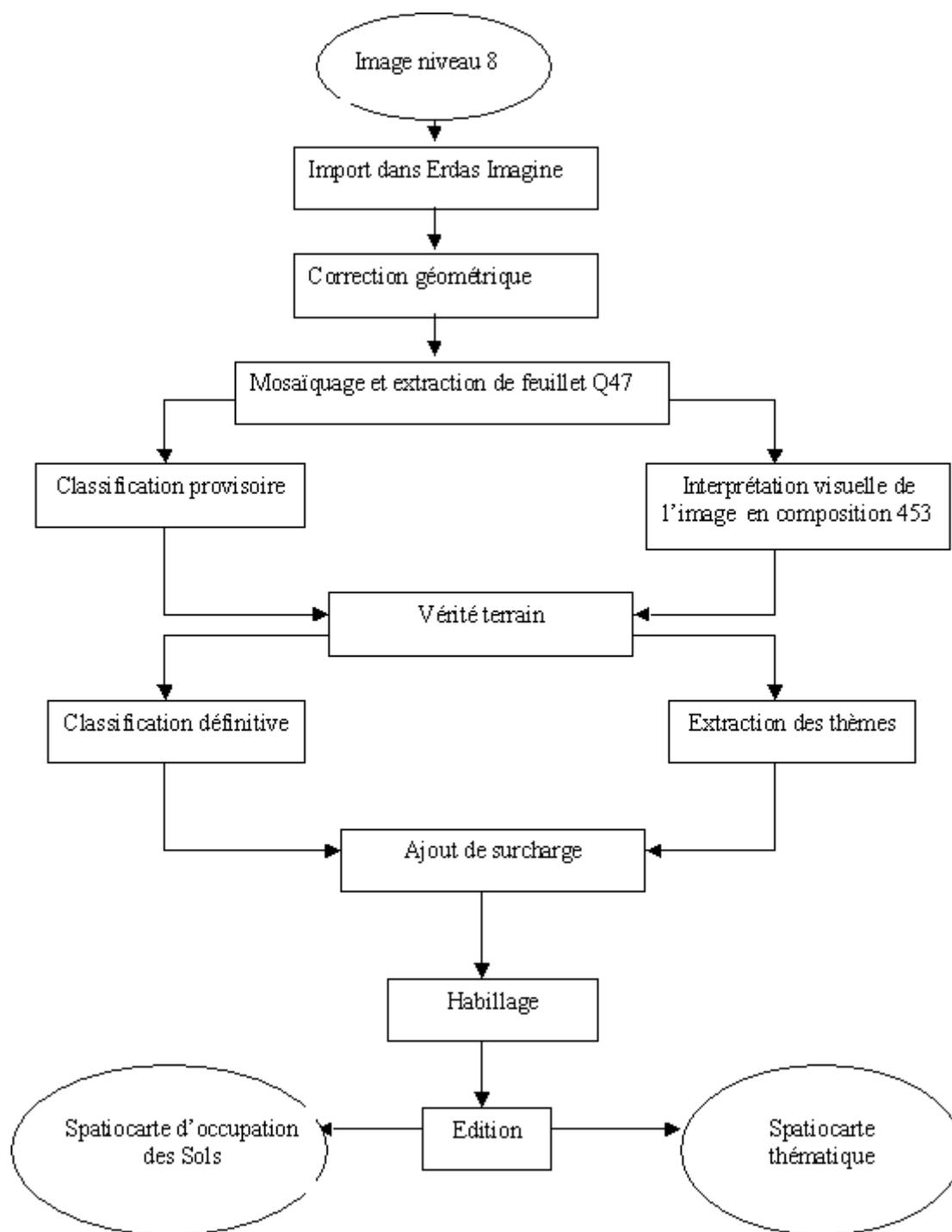
Les surcharges sont sélectionnées de façon à assurer une meilleure interprétation de la spatiocarte thématique. Elles comprennent :

- Les routes de grand parcours ;
- Les routes carrossable toute l'année ;
- Piste et sentier ;
- Les chefs lieu de commune ;

4.2- L'habillage :

Les indications périphériques comprennent :

- Titre de la carte ;
- Carroyage avec les coordonnées géographiques et cartographiques ;
- Echelle numérique et graphique ;
- Légende qui comprend des extractions du fond image pour chaque thème et interprétation des surcharges.
- Description de l'acquisition de l'image.
- Indication du nord géographique ;



Organigramme n°05 : RESUME DE L'ELABORATION PRATIQUE DES SPATIOCARTES THEMATIQUE ET D'OCCUPATION DES SOLS :

QUATRIEME PARTIE :
PRESENTATION DES RESULTATS

Chapitre I : OBSERVATIONS ET INTERPRETATIONS

1- Le logiciel Erdas Imagine :

Chaque étape a été comparée à la capacité et aux qualités de produit des autres logiciels en possession de FTM : ARCINFO, ARCVIEW (pour le traitement des vecteurs), VISTA ET IDRISI (pour le traitement des rasters). En général, nous observons que le logiciel Erdas imagine possède un atout majeur du point de vue temps de calcul, alors que la précision et la qualité du produit restent dans le même ordre de grandeur. Ce constat concerne le traitement géométrique et radiométrique des images.

Notons toutefois que du fait de l'insuffisance logistique, la numérisation de l'hydrographie et l'orographie ainsi que leur vérification ont été réalisées avec l'assistance du logiciel ARCINFO. Et les résultats de cette opération sont transmis dans le logiciel Erdas Imagine.

Aussi, nous constatons une faiblesse du logiciel Erdas Imagine lors de la manipulation des vecteurs par rapport à Mapinfo et Arcview. Par exemple, pour éviter l'empiètement des toponymes entre-eux ou avec les autres informations (réseau routier), une opération manuelle de déplacement de texte est nécessaire ; avec le logiciel Arcview, cette opération est aisée alors que dans le logiciel Erdas Imagine, elle est refusée. Cela résulte de l'insuffisance de fonction dans le module de Erdas Imagine.

Du point de vue sémiologique, Mapinfo possède plus de symboles linéaires, ponctuels et zonaux que Erdas Imagine.

Ces observations justifient que pour une représentation des résultats une utilisation conjointement de ces logiciels précités est souhaitable de la façon suivante.

- Traitement du fond image : Erdas imagine ;
- Acquisition des surcharges : Arcinfo ;
- Habillage de spatiocarte topographique : Arcview ;
- Habillage de spatiocarte thématique : Erdas Imagine.

2- La spatiocarte topographique :

Les images suivantes comprennent des images géoréférencées niveau 8 et 10, à chacune d'elles est superposée une couche d'hydrographie numérisée, permettant de visualiser leurs précisions respectives.



ORTHOIMAGE

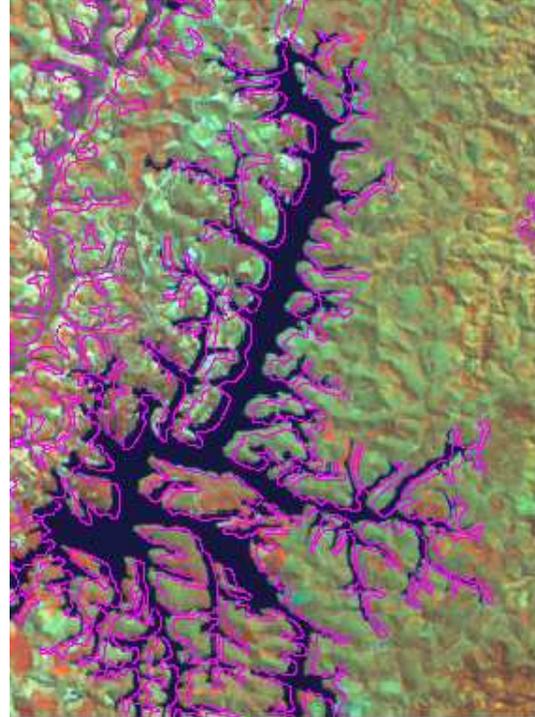


IMAGE NIVEAU 8

Carte n°05 : COMPARAISON D'UNE ORTHOIMAGE ET UNE IMAGE DE NIVEAU 8

Cette portion met en évidence l'importance de la correction géométrique de niveau 10 (Orthoimage).

Dans la mise en place des surcharges, nous avons utilisé des symboles et couleurs spécifiques dans les spatiocartes de façon à faciliter la lecture et à assurer une bonne esthétique (cartes n°06, 07, 08).

3- La spatiocarte thématique:

Après opération « vérité terrain » réalisée sur les « sites-test », nous avons pu dresser la spatiocarte thématique données par la carte n°06. Nous pouvons aussi interpréter dans la composition 453 une simple correspondance suivante :

- Le rouge dans la combinaison 453 représente l'existence de végétation.
- Le noir indique la présence de l'eau.
- Le blanc est un signe du reflet de sol.

Les éléments d'occupation des sols sont ensuite interprétés à partir de la composition de ces éléments principaux.

Aussi, la date de prise de vue doit être tenue en compte dans l'interprétation de l'image. Toutefois, la réalité sur terrain permet les interprétations suivantes :

3.1- Les forêts :

D'après une comparaison de la carte référence évoquant la réalité en 1958, et l'image satellite prise en 2000, les forêts primaires ont subi une dégradation progressive de telle sorte qu'il n'en reste plus que quelques lambeaux forestiers. Cette dégradation se manifeste sur les zones riveraines de route, agglomération et cours d'eau. D'un côté, Les gens utilisent les routes et le cours d'eau pour le moyen de transport des bois qui sont à leur tour utilisés pour le bois de chauffe et la construction des habitations. D'un autre côté, la cause de la dégradation de forêt est la pratique de culture sur brûlis : tavy, culture sèche, et mosaïque de culture.

3.2- Les Eucalyptus :

La zone de Manjakandriana présente des parcelles boisées en eucalyptus qui fournissent presque la totalité de besoins en bois de chauffe de la ville d'Antananarivo. On constate aussi la présence d'une parcelle, située à Mandràka, anciennement forestière mais boisée en eucalyptus actuellement.

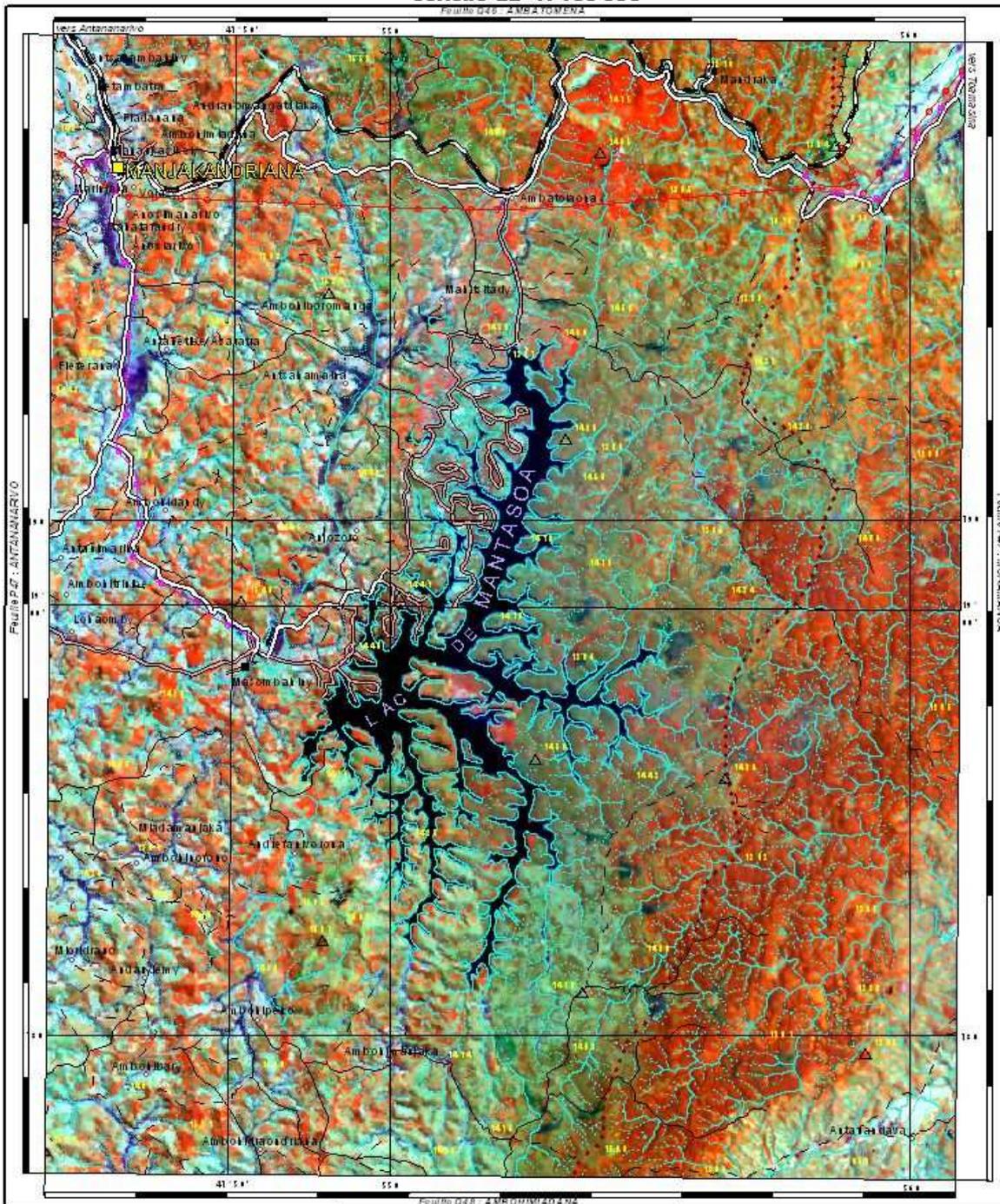
3.3- Les savanes arborées :

Les zones occupées par ces éléments sont répandues aux périphériques de la zone de forêts et de la zone de boisement d'eucalyptus. Cette classe se confond étroitement à la classe mosaïque de culture.

3.4- Les rizières :

La culture de riz se fait deux fois par an dans les zones environnant la forêt primaire. Pour les autres zones, la culture sèche occupe la rizière durant la saison sèche.

EXTRAIT DE SPATIOCARTÉ DE BASE
Feuille Q47 : MANJAKANDRIANA
échelle au 1:100 000



Rendim age orthorectifié et en composition 4/3, le sultat d'une mosaïque des deux scènes :16/07/3 du 25/10/00 et 16/07/3 du 12/05/00, issues de Landsat-7 ETM+.

Projection conforme LA B O R D E :
Origine de la projection et du quadrillage :
Longitude : 49° Est Paris, X = 800km,
latitude : 21gr Sud, Y = +600km.

Données obtenues par numérisation de carte au 1/100.000. En collaboration avec FTM.
MNT obtenue à partir des courbes de niveau dont l'équidistance est de 25m, et de 2 points cotés.

- Câble transporteur d'énergie électrique
- Ligne télégraphique et téléphonique
- Escarpement rocheux
- Route de grand parcours
- Route carrossable toute l'année
- Route praticable une partie de l'année
- Piste
- Piste leopold
- Sentier
- Chemin de fer

- Chef-lieu de district
- Chef-lieu de commune
- Chef-lieu de fokontany
- Point coté
- Point géodésique
- Unité de district

- Rivière
- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent
- Unité de lacs permanents
- Unité de lacs pédoniques

Repérage du feuillet :
Coupe d'arrivée de la carte internationale du monde au 1/1 000 000.
Position de la zone par rapport à six scènes voisines

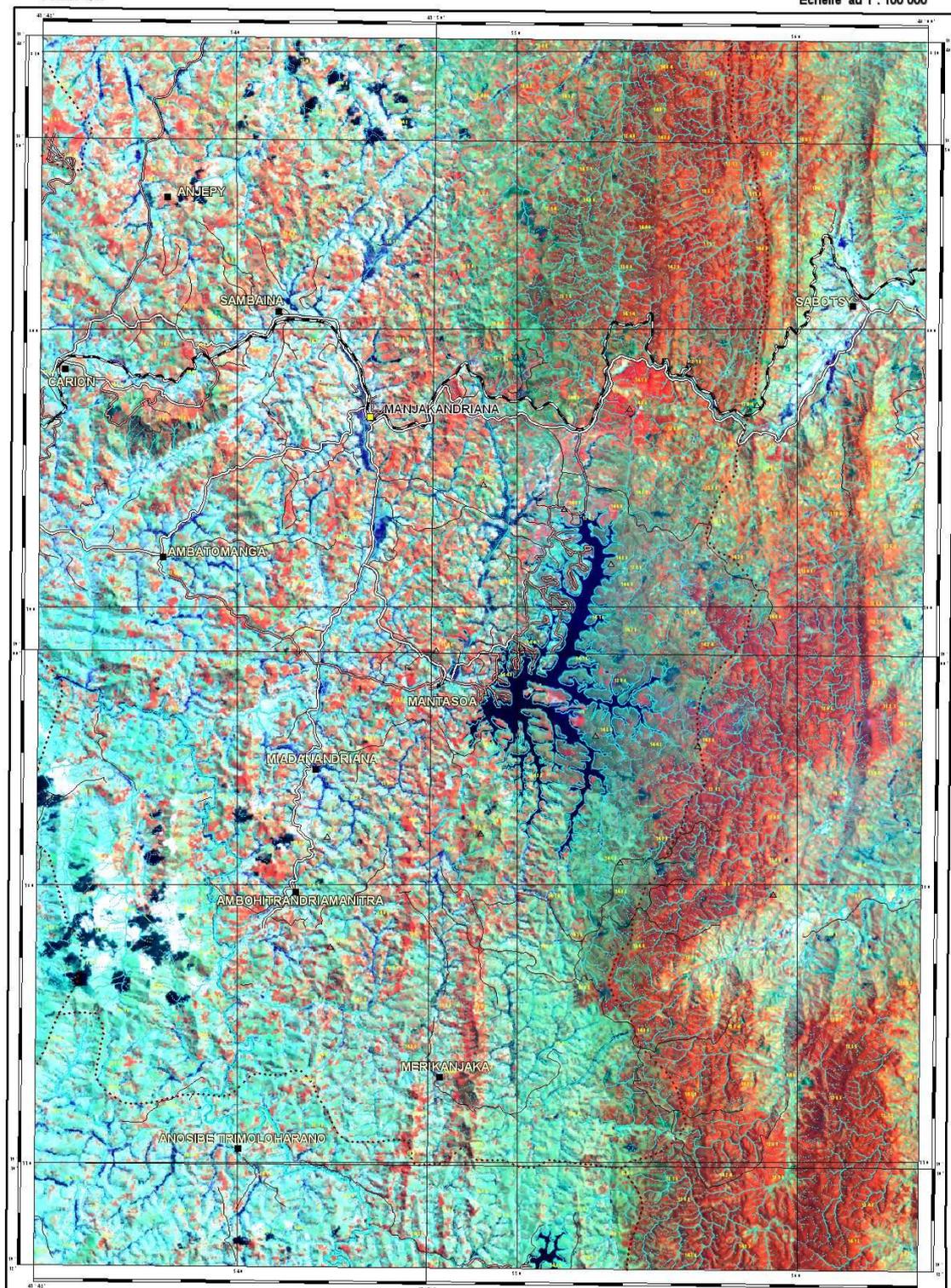


Carte n°06 : EXTRAIT DU PRODUIT SPATIOCARTÉ DE BASE

Feuille Q47

SPATIOCARTE THEMATIQUE DE MANJAKANDRIANA

Echelle au 1 : 100 000



Fond de carte orthorectifié et en coordonnées UTM, résultant d'une mosaïque de deux scènes : 159073 du 28/10/00 et 159073 du 12/05/00, issues de Landsat-7 ETM+.

Projection coniforme LABORDE
 Origine de la projection et du quadrillage :
 Longitude : 49° Est Paris, X = 800km
 latitude : 21° Sud, Y = 400km

Surcharges obtenues par numérisation de carte au 1/100.000. En collaboration avec FTM.
 MNT obtenu à partir des courbes de niveau dont l'équidistance est de 25m, et de des points cotés.

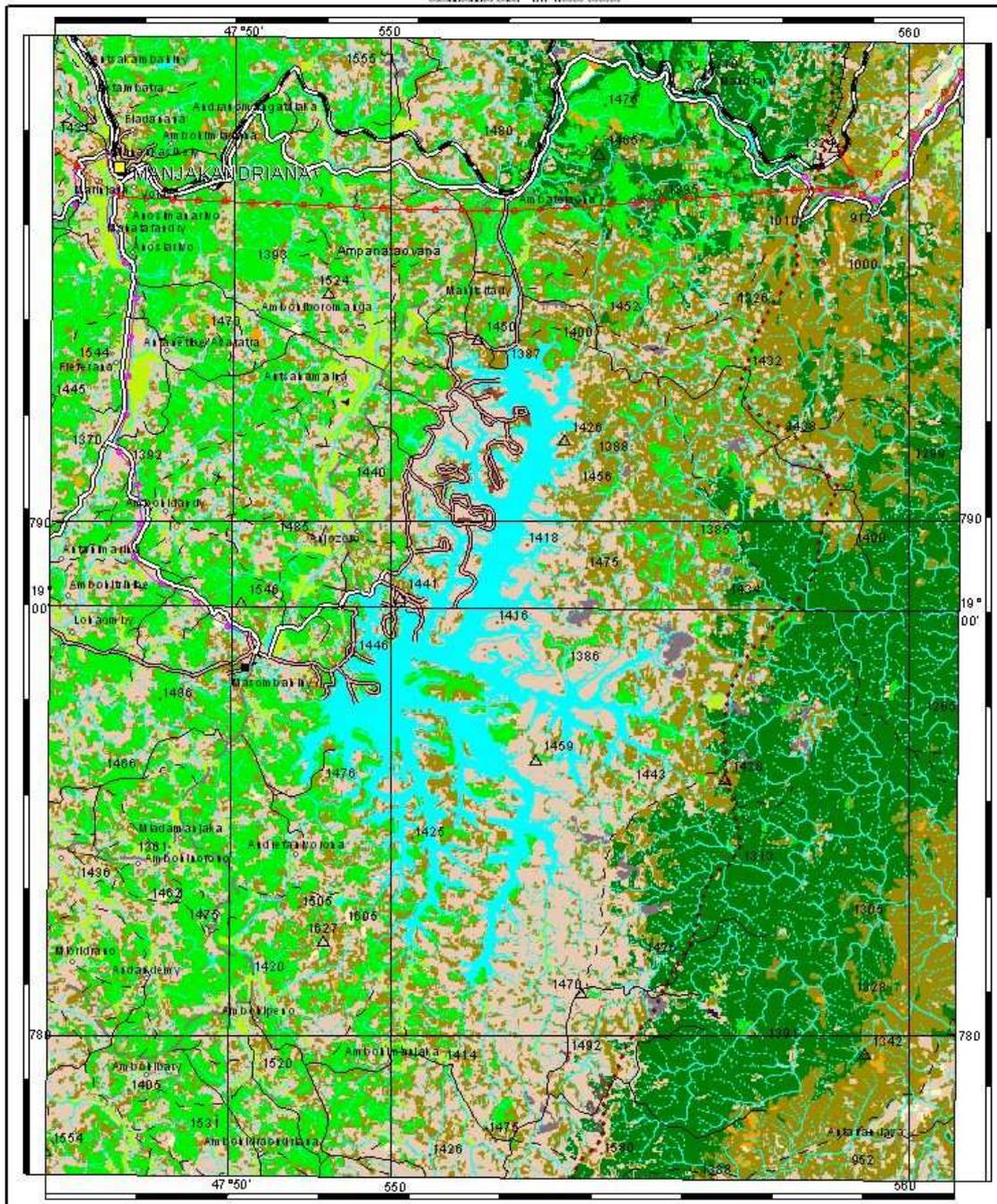
Forêt 1	Savane herbacée 1	Pin	Rizière 1	Nuage 1	Répérage du feuille : Coupeur dérivée de la carte internationale du 1/1 000 000. Position de la zone par rapport aux scènes voisines
Forêt 2	Savane herbacée 2	Mosaïque de culture 1	Rizière 2	Nuage 2	
Forêt 3	Savane herbacée 3	Mosaïque de culture 2	Rizière 3	Ombre	
Savane arborée 1	Eucalyptus 1	Culture sèche 1	Rizière 4		
Savane arborée 2	Eucalyptus 2	Culture sèche 2	Plan d'eau 1		0 5 10 15 Km
Savane arborée 3	Eucalyptus 3	Tavy	Plan d'eau 2		
Savane arborée 4			Plan d'eau 3		

Carte n°06 : EXTRAIT DU PRODUIT SPATIOCARTE THEMATIQUE

EXTRAIT DE SPATIOCARTE D'OCCUPATION DES SOLS

Feuille 047 : MANJAKANDRIANA

échelle au 1: 100 000



Occupation des sols résultant d'une classification superposée des scènes Landsat-7, 160073 du 20/10/00 et 169 073 du 12/08/00. Vérification sur terrain effectuée au mois de mars 2006. Éléments les plus petits classifiés : 10m

Projection conforme LAMORDE :
 Origine de la projection et du quadrillage :
 Longitude : 49gr Est Paris : X = 600 km.
 Latitude : 21gr Sud : Y = 400 km.

Surélevées obtenues par numérisation de carte au 1/100.000. En collaboration avec FTM. MNT obtenu à partir de courbes de niveau d'ort (équidistance est de 25m), et des points cotés.

Forêt	Bucalyus	Rizière	Rizière
Savane Arboree	Pin	Plan d'eau	Cours d'eau permanent
Mosaïque de culture	Culture sèche	Rugée	Cours d'eau intermittent
Savane herbueuse	Tavy	Ombre	Roule de grand parcours
			Roule carrossable toute l'année
			Roule praticable une partie de l'année
			Piste
			Chemin de fer



Carte n°08 : EXTRAIT DU PRODUIT SPATIOCARTE D'OCCUPATION DES SOLS

Chapitre II : ETUDES COMPARATIVES ET **PERSPECTIVES**

Les études comparatives portent essentiellement sur les aspects techniques et financiers d'élaborations et d'exploitation de spatiocartes face aux cartes traditionnelles. Rappelons que les cartes traditionnelles sont élaborées avec des photographies aériennes.

1- Aspects techniques :

1.1- Durée d'élaboration :

En dépit de l'exploitation opérationnelle récente des moyens logistiques et de la technique d'élaboration de spatiocartes, nous pouvons affirmer que la qualité du résultat, la durée de chaque opération et la précision géométrique des produits sont en croissance croissante. D'ailleurs, l'exploitation d'un tel logiciel demande une expérience. Le nombre de personnels très limité entraîne un contrôle facile des opérations quant avec l'aide du réseau informatique. Citons à titre d'exemple qu'un atelier français, IGN Espace sis à Toulouse, composé d'une vingtaine de personnes peut produire de l'ordre de 150 spatiocartes (feuillet) par mois. Par simple extrapolation, Madagasikara composé de 453 feuilles à l'échelle de 1/100 000 pourra donc être couvert de spatiocartes dans trois mois.

1.2- Précision de spatiocartes :

La précision de la spatiocarte est directement liée à la précision de la correction géométrique du fond-image il n'en reste pas moins que les surcharges doivent être correctement positionnées et se rapprocher le plus possible de l'objet correspondant, tout en restant bien lisible. Pour notre cas pratique, la précision géométrique des spatiocartes est de $\frac{47}{100}$ mm.

Avec le logiciel Erdas Imagine, l'évaluation de spatiocarte peut être faite visuellement en utilisant le « drapage d'image » qui est un module de visualisation de l'image en 3D sur l'écran.

1.3- Perspectives :

1.3.1- Intégration de spatiocartes numériques dans le SIG et bases de données :

La forme numérique présente un intérêt majeur sur la possibilité de combiner les informations géographiques issues de la spatiocarte à d'autres sources d'informations géographiques numériques. Le développement récent de SIG permettant de gérer de façon dynamique, les informations géographiques numériques par l'intermédiaire de bases de données géographiques, a ouvert une nouvelle voie à l'utilisation des spatiocartes. En effet, le SIG manipule des données provenant de sources diverses et hétérogènes qui devraient être cohérentes géométriquement. A ce titre, les spatiocartes peut être une référence géométrique dans un SIG. D'ailleurs, de par la richesse thématique des images de télédétection, la spatiocarte est une source énorme d'information géoréférencées.

1.3.2- Cartographie d'urgence :

Quand 'il s'agit de réaliser des produits cartographiques dans des temps relativement courts (de l'ordre de la semaine à quelques mois), il est absolument impossible de mettre en œuvre uniquement les moyens traditionnels ; la spatiocarte apporte une réponse.

1.3.3- Cartographie nécessitant un suivi de phénomènes :

Pour suivre ou étudier les évolutions des phénomènes naturels ou activités humains (érosions, exploitation forestière,...), seules les images satellitaires présentent la possibilité à des coûts raisonnables.

1.3.4- Cartographie des zones difficilement accessibles :

Certaines régions du monde sont encore difficilement accessibles soit au sol, soit même par moyens aériens : éloignement des aéroports, difficulté d'obtenir des autorisations de survol,... Ces problèmes sont surmontés par les images-satellite.

1.3.5- Mises à jour des cartes traditionnelles :

Enfin, les images-satellite géoréférencées favorisent les opérations de rajout de nouvelles infrastructures et modification de certains paysages.

2- Aspects financiers :

L'estimation relève de multiples contingences car la répartition de toutes les zones de l'île n'est pas identique et l'ampleur du travail varie suivant la difficulté d'accès.

L'évaluation des coûts est liée à de nombreux paramètres :

- Coûts des matériels et des données :
- Coûts des analyses et traitement des données ;
- Coûts de l'opération « vérité-terrain » ;

Pourtant, pour offrir une idée générale des évaluations de coût estimatif de l'élaboration de spatiocartes, on est conduit à faire une comparaison, à l'échelle nationale, de la mise en œuvre de cette méthodologie et de la fabrication de carte traditionnelle.

Dans plusieurs opérations, les deux méthodes convergent. Nous attirons donc l'attention des lecteurs sur les opérations qui différencient les deux méthodes.

2.1- Coût des matériels et des données :

Au total (à l'échelle nationale):

- 34 scènes Landsat ;
- 12852 clichés de photographies aériennes.

L'acquisition des photographies aériennes est une des missions de l'institut FTM, tandis que pour l'image satellite, il faut demander une programmation spéciale à la société productrice. Donc pour fournir une certaine comparaison, nous prenons le prix de vente qu'utilise FTM concernant ces deux données.

Désignation	unité	Nombre	Prix unitaire (Ar)	Total (Ar)
Photographie aérienne	cliché	12.852	17.000	218.484.000
Image Landsat-7	scène	34	21.000	714.000

Tableau n°04 : COMPARAISON DE COUT

Ce qui nous permet de traduire facilement une grande différence entre les deux.

2.2- Coût des analyses et traitement des données :

Le coût dépend essentiellement de la durée de l'opération sur chaque station de travail qui est alors fonction de l'expérience de l'opérateur et de la nature de la station (station de traitement d'image, de numérisation et d'édition). Cependant, comme c'est

une nouvelle méthodologie, il est difficile d'estimer la durée du traitement des images qu'après apprentissage des opérateurs concernés. D'après notre étude pratique, les opérations d'élaboration de spatiocartes sont plus simples par rapport aux opérations d'élaboration de cartes traditionnelles.

DESIGNATION	SPATIOCARTE	CARTE TRADITIONNELLE
Acquisition des données	<u>Fond image</u> : Télédétection <u>Surcharges</u> : Numérisation ou levé topographique	Numérisation, levé topographique
Vérité terrain	Détermination de clé d'interprétation	Détermination de tous les objets et thèmes illicites
Nature de données à manipuler	Numérique	Analogique
Mise à jour	Facile	Coûteuse
Temps de réalisation d'une unité	D'une semaine à quelque mois	Quelques mois
Territoire Cartographiable	Globe terrestre	Endroit accessible
Quantité d'informations	Informations continues	Informations thématiques
Descripteurs géométriques	Référentiels cartographiques	Référentiels cartographiques
Descripteurs sémantiques	De inexistants à explicites	Explicites (Légende)
Descripteurs topologiques	Implicites	Implicites
Représentation thématique	Définition de l'état d'un thème	Représentation générale d'un thème

Tableau n°05 : COMPARAISON DE SPATIOCARTE ET DE CARTE TRADITIONNELLE

CHAPITRE III : NOS SUGGESTIONS

1- Limite de la méthodologie :

Durant cette étude, nous avons constaté que le choix de l'image-satellite Landsat, demeure valide sur l'élaboration de spatiocartes à l'échelle moyenne 1/100 000. Au delà de cette échelle, les écarts dus à la précision de la correction géométrique sont manifestes. Ce qui permet de conclure qu'au besoin en spatiocarte aux échelles plus élevées, le choix des images Landsat n'est plus souhaitable.

Avec les faiblesses du logiciel Erdas Imagine que nous avons cité au chapitre I de cette partie, un recours aux autres logiciels permet d'optimiser les résultats attendus.

2- Amélioration de la méthodologie :

Pour améliorer la qualité de produit, un ajout de fonction ou création de module est souhaitable. Cette recherche suppose une bonne connaissance en macro langage (EML).

Toujours dans le but d'élaborer de spatiocarte à moyenne échelle plus fiables pour les années à venir, nous proposons l'exécution d'une mission de révision de la base de données de l'île entière. Rappelons que ces données sont obtenues par numérisation des cartes topographiques établies vers 1950. Certaines informations ne représentent plus la réalité actuelle.

A long terme, nous sollicitons aussi une opération fréquente de mise à jour des spatiocartes établies.

Nous conseillons d'utiliser la méthode de « spatiotriangulation » pour assurer une géométrie homogène dans toute une zone de vaste étendue.

Sachant la limite de l'utilisation d'image Landsat au point de vue échelle, nous proposons alors d'utiliser, pour un besoin en spatiocarte d'échelle plus grande (>1/25 000), des images issues de satellite SPOT-5 ayant comme résolution géométrique 5m au sol en mode panchromatique. Cela laisse envisager une utilisation opérationnelle pour la révision cartographique à l'échelle de 1/25000 et un développement des applications de l'imagerie spatiale dans de nouveaux domaines comme par exemple l'urbanisme.

3- Extension à l'échelle nationale :

Les spatiocartes au 1/100000 couvrant la totalité du territoire national malagasy sont les plus appropriées pour l'inventaire, la gestion, la protection, surveillance et l'aménagement des ressources existantes ou à étudier.

Nous jugeons donc important de projeter cette nouvelle technologie à l'échelle nationale avec les améliorations que nous avons élaborées au paragraphe précédent. Dans ce cas, une automatisation permet d'améliorer le rendement. Cette automatisation sera faite en utilisant la fonction « Batch processing » dans Erdas Imagine.

Enfin, vu l'ancienneté des cartes nationales à moyenne échelle, la méthodologie que nous venons d'élaborer dans la présente étude apporte une solution adéquate d'aide aux dirigeants à la mise en place du développement rapide et durable du pays.

CONCLUSION

La télédétection, le SIG et la cartographie qui ont évolué séparément sont actuellement, selon cette étude, utilisés conjointement de manière interactive et complémentaire. L'utilisation de la télédétection dans la cartographie fournit une alimentation idéale en données géographiques géoréférencées au SIG. En fait, la télédétection acquiert les informations géographiques avec un délai relativement court et ouvre une perspective à la cartographie spatiale à moyenne échelle. Son intégration dans le SIG permet aux spatiocartes d'être :

- Un outil incontournable d'aide à la décision ;
- Une assurance aux décisions prises ;
- Un gage de la bonne gouvernance.

La spatiocarte est à l'heure actuelle, le produit cartographique opérationnel le plus élaboré dans le domaine des applications de la télédétection. Elle est, cependant, encore en pleine évolution et ses potentialités d'utilisation s'étoffent de jour en jour. Elle occupe d'ores et déjà une place charnière au sein des produits cartographiques.

La spatiocarte apporte un intérêt énorme du point de vue temps et coût. De plus, sa précision est comparable à celle de la carte traditionnelle. Pourtant, l'ancienne méthode reste toujours le complément de cette nouvelle méthode : elles devront être utilisées de façon interactive lors de complément de blanc d'une image, réalisation de la mission « vérité terrain ».

Aussi, n'oublions pas de mentionner le profit qu'apporte la mise en œuvre de la méthodologie d'élaboration de spatiocartes avec le logiciel Erdas Imagine sur le temps et la précision des différentes étapes. Ce logiciel possède un atout majeur au niveau de traitement géométrique et radiométrique du fond image. Une amélioration particulière devra être apportée au niveau de traitement de vecteurs et de habillage de spatiocarte de base.

Ensuite, nous sollicitons un début de réflexion aux autorités compétentes sur l'éventualité d'une réforme des cartes de base nationales à moyennes échelles. Cette

reformé sera surtout axé sur l'élaboration de spatiocartes au 1/100.000 dont la méthodologie et le prototype ont été exposés dans le présent ouvrage.

Enfin, nous souhaitons que cette étude puisse contribuer à une meilleure exploitation pour le FTM d'une part, et un document de base mis à la disposition de l'ESPA d'autre part.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES :

- 1- A. REYET : « Leçons sur la projection des cartes géographiques », 1965.
- 2- BONN F. & ROCHON G. : « Précis de la télédétection : principe et méthode », 1992.
- 3- BRUNO L. : « La télédétection par satellite de deuxième génération : un nouvel outil pour l'aménagement et la foresterie », 1986.
- 4- CIRARD C.M. & M.C. CIRARD : « Télédétection appliquée: zones tempérées et intertropicales », 1989.
- 5- CNES & IGN : « Cartographie spatiale de la terre », 1979.
- 6- DATA EXPERT : « Concepts généraux : Etats-Unis data image », 1997.
- 7- DIZIER & OLIVIER LEO : « Télédétection technique et application cartographique », 1991.
- 8- E. DURET & B. BORDIN : « Le serveur éducatif de l'IGN et de l'éducation nationale sur l'information géographique », 2000.
- 9- ERDAS : « Erdas Imagine : tour guides », 1999.
- 10- ERDAS : « Erdas Imagine : guide field », 1999.
- 11- FAO : « Application de la télédétection à la pêche marine », Document technique 295, 1992.
- 12- FTM : « Cartes anciennes et cartographie moderne », 1981.
- 13- G. ALINHAC : « Cartographie théorique et technique », 1966.
- 14- GDTA : « Les spatiocartes : Méthodes et exemple de la réalisation », 1993.
- 15- GDTA : « MNT, aspects stéréoscopiques de spot", 1995.
- 16- GDTA : « Base physique de la télédétection », 1993.
- 17- J. PHILLIPE DUFOUR : « Représentation plane en usage à Madagascar », 1996.
- 18- LIBOUTRY L. : « Science géométrique et télédétection », 1979.
- 19- R. CUENIN : « Cartographie générale : notions générales et principe d'élaboration », 1972.
- 20- SFPT : « Etude de faisabilité pour l'élaboration d'une cartographie statistique d'inventaire des vergers, café et cacao en Cote d'Ivoire par télédétection spatiale », Bulletin n° 157.

COURS :

21- RAMANANTSIZEHENA Pascal : « Télédétection », 3^{ème} année GEO-TOPO, 2002.

22- LI HAN TING Solo : « Initiation à la télédétection », 5^{ème} année MINES, 2004.

23- RAHAINGOALISON Narizo Mahefa : « Cartographie thématique », 5^{ème} année GEO-TOPO, 2004.

24- RAKOTOARISON Max : « Géodésie », 3^{ème} année GEO-TOPO, 2002.

25- RAVELOMANANTSOA Josoa : « SIG », 4^{ème} année GEO-TOPO, 2003.

26- HERILALAO Nary Iarivo : « Instrument topographique », 3^{ème} année GEO-TOPO, 2002.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES :

27- RANDRIAMANANA Fidèle : « Le GPS dans les travaux en Information géographique », 2000.

28- RAOMBA Jérôme Elysé : « MNT : amélioration de calcul de MNT maillé obtenu par le logiciel utilisé au FTM », 1997.

29- LI HAN TING Solo & RANDIANAIVOARIVONY Jeannot : « Contribution dans l'inventaire et l'étude de l'évolution de l'occupation des sols à l'aide des outils de télédétection et d'analyse cartographique dans la région de Menabe », 1993.

30- RANBENANDRASANA Jean Clarck : « Contribution de la télédétection sur l'inventaire des superficies rizicoles : application pratique sur la région d'Antanifotsy et Ambohibary », 1995.

Annexe I : NOTION DE RE-ECHANTILLONNAGE

L'ensemble de pixels d'une image peut être considéré comme un échantillon d'un signal continu (le terrain). Le ré-échantillonnage peut être défini comme la conversion d'un échantillon du signal en un autre échantillon. Ce dernier représente le signal continu d'origine comme il serait apparu après un échantillonnage réalisé avec des paramètres différents de l'échantillonnage initial. La valeur d'un point nouveau signal ré-échantillonné est déterminé par interpolation sur les valeurs voisines connues sur le signal origine. Chaque terme de cette approximation est pondéré en fonction de sa distance au point considéré.

Ce facteur de pondération est donnée par la fonction h telle que : $g(x) = \delta[f(x) \cdot h(x-x_i)]$ pour tout x_i situé au voisinage de x .

Dans notre cas, l'interpolation consiste donc en un produit de convolution bi-dimensionnel entre la fonction image brute $f(p,q)$ et le filtre interpolateur $h(p,q)$. En pratique, on effectue l'interpolation au point calculé (p',q') situé à des distance respectives (a_i, b_j) de ses voisins (p_i, q_j) .

$$a_i = p - p_i ;$$

$$b_j = q - q_j ;$$

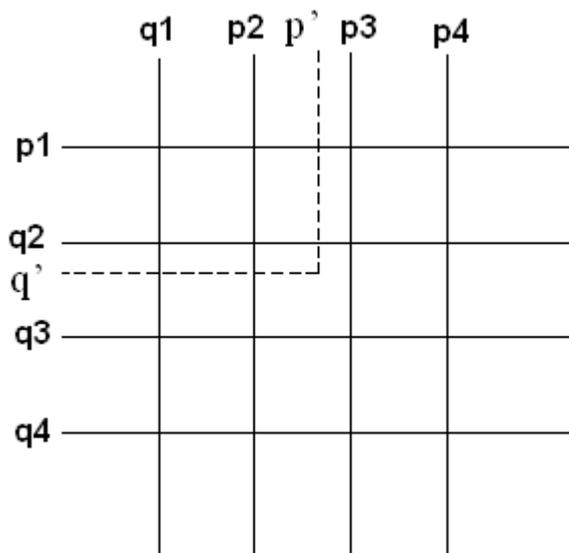


Figure : Ecart entre le point calculé et ses voisins dans l'image brute

Interpolation bicubique :

Elle fait appel à des polynômes de degré 3 sur un domaine 4x4 pixels.

$$h(a_i) = a_i^3 - 3a_i^2 + 1 \text{ pour } 0 < a_i < 1 \text{ (4 voisins immédiats) ;}$$

$$h(a_i) = -a_i^3 + 5a_i^2 + 1 \text{ pour } 1 < a_i < 2 \text{ (12 autres voisins) ;}$$

$$h(a_i) = 0 \text{ pour } a_i > 2 ;$$

Note : les $h(b_j)$ sont de la même forme.

Les coefficients du filtre sont alors de la forme : $C_{ij} = h(a_i) \cdot h(b_j)$;

Performances :

- Très peu d'amplification des moyennes fréquences ;
- Bon comportement vis à vis du repliement du spectre ;

- Bonne qualité de phase ;
- Rebondissement radiométrique réduit.

Du fait de ses qualités et de sa simplicité de mise en œuvre, ce filtre est très répandu. Cependant, le temps de calcul sont longs.

Interpolation bilinéaire :

Cette interpolation est linéaire en ce sens que les coefficients $C_{ij}(a,b)$ dépendent linéairement de a_i et b_j . Elle est bilinéaire puisqu'elle est à deux dimensions :

$$h(a_i) = a_i \text{ pour } 0 < a_i < 1 ;$$

$$h(a_i) = 0 \text{ pour } a_i > 1 ;$$

$$C_{ij}(a,b) = h(a_i) \cdot h(b_j);$$

Elle s'applique sur un domaine de deux pixels.

Caractéristiques :

- Forte altération des fréquences moyennes ;
- Peu d'erreurs de repliement ;
- Bonne qualité de phase ;
- Pas de rebondissement radiométrique ;
- Economie de calcul.

Cette interpolation est un bon compromis entre les performances et le temps de calcul. Elle est par contre inadaptée chaque fois que l'utilisateur s'intéresse aux détails radiométriques fins de l'image.

La règle de plus proche voisin :

Cette règle consiste à affecter au point courant de l'image corrigée la radiométrie du point le plus proche dans l'image brute. Il ne s'agit pas là d'une véritable interpolation puisque l'écart (a,b) au point courant n'est pas pris en compte.

Performances :

- Atténuation des fréquences moyennes ;
- Erreurs importantes de repliement du spectre ;
- Erreurs importantes de phase ;
- Apparition de discontinuité ;
- Pas de calculs, méthode très rapide.

Annexe II : COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DES SATELLITES SPOT ET LANDSAT

Les satellites Landsat (Américain) et Spot (Français) sont deux importants satellites d'acquisition de données. Ces systèmes fournissent la majorité des données image en usage actuel. Ils ont des caractéristiques données par le tableau suivant.

Spécifications	Landsat-7 ETM +	Spot-5 HRV
Bandes multispectrales	1 : 0.45 – 0.52 μm (30m) 2 : 0.53 – 0.61 μm (30m) 3 : 0.63 – 0.69 μm (30m) 4 : 0.75 – 0.90 μm (30m) 5 : 1.55 – 1.75 μm (30m) 7 : 2.09 – 2.35 μm (30m)	1 : 0.50 – 0.59 μm (20m) 2 : 0.61 – 0.68 μm (20m) 3 : 0.79 – 0.89 μm (20m) 4 : 1.58 – 1.75 μm (20m)
Bande thermique	6 : 10.40 – 12.50 μm (60m)	
Bande Panchromatique	8 : 0.52 – 0.90 μm (15m)	P: 0.61 – 0.68 μm (10m)
Orbite	Héliosynchrone	Héliosynchrone
Passage à l'équateur	9h40'	9h30'
Inclinaison	98°25'	98°7'
Période	98.9'	101.4'
Altitude	705km	832km
Angle de visée	15°	4.1°
Taille d'une scène	185km * 185km	80km * 80km
Passages successifs	16 jours	26 jours

Annexe III : REPRESENTATION LABORDE DE MADAGASIKARA

1-Définition :

Représentation oblique de Mercator sécante définie par « double représentation ».

2- Coordonnées transverses de Laborde – Madagasikara :

2.1- Définition :

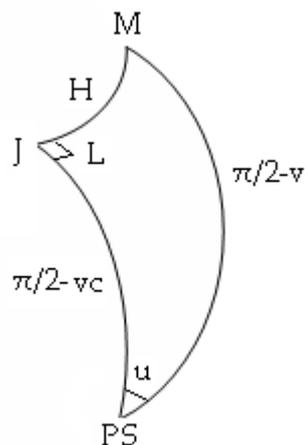
Pseudo coordonnées transverses (L, H) d'un point M dans le pseudo canevas défini par l'intersection C du pseudo équateur et du pseudo méridien origine :

- L : pseudo longitude ;
- H : pseudo latitude.

Si C (u_c, v_c), alors P ($u_c + \pi/2, 0$).

2.2- Détermination de coordonnées transverses L et H :

Considérons le triangle sphérique (PS, M, J).



Détermination (L, H) en fonction de (u, v) :

$\sin H = \cos v \cdot \sin u$ (formule des sinus)

$\tan (L + \pi/2 - v_c) = \cos u \cdot \cotan v$ (formule des cotangentes)

Détermination (u, v) en fonction de (L, H) :

$\cotan u = \cotan H \sin (L + \pi/2 - v_c)$ (formule des cotangentes)

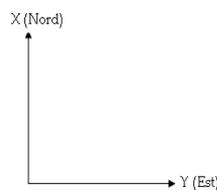
$\cot v = \sin H / \sin u$ (formule des sinus)

3- Inclinaison du pseudo équateur :

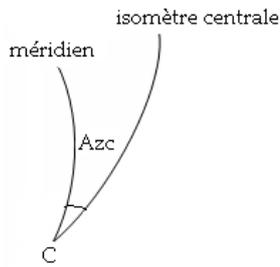
3.1- Principe :

Modification de la représentation de telle sorte que la ligne isomètre centrale devienne le grand cercle passant par C incliné de Az_c .

Convention de l'orientation :



Utilisation des formules polynomiales :



$$X = x - 3 Bx^2y - 3Axy^2 + By^3 + X_c$$

$$Y = y - Bx^3 + 3Ax^2y - 3Bxy^2 - Ay^3 + Y_c$$

$$\text{Avec } A = (1 - \cos 2Azc) / (12r^2) \text{ et } B = (\sin 2Azc) / 12r^2$$

Passage de (λ, φ) à (X, Y) :

$$\mathcal{L}_S(v) = \mathcal{L}_S(v_c) + n^{(1)} (\mathcal{L}_E(\varphi) - \mathcal{L}_E(\varphi_c))$$

$$u = n^{(1)} (\lambda - \lambda_c)$$

$$L = \arctan(\cos u * \cotan v) - \pi/2 - v_c$$

$$H = \arcsin(\sin u * \cos v);$$

$$X_{(2)} = n^{(2)} u;$$

$$Y_{(2)} = n^{(2)} * \mathcal{L}_S(H);$$

$$X_{(3)} = X_{(2)} - 3 B X_{(2)}^2 Y_{(2)} - 3 A X_{(2)} Y_{(2)}^2 + B Y_{(2)}^3 + X_c ;$$

$$Y_{(3)} = Y_{(2)} - B X_{(2)}^3 + 3 A X_{(2)}^2 Y_{(2)} - 3 B X_{(2)} Y_{(2)}^2 - A Y_{(2)}^3 + Y_c ;$$

3.2- Les spécifications de la projection :

Ellipsoïde International 1924 :

Demi grand axe $a = 6\,378\,388,0\text{m}$

Aplatissement : $f = 1/297$

Les constantes de la représentation :

$\lambda_c = 21\text{gr Sud}$ (Longitude de C)

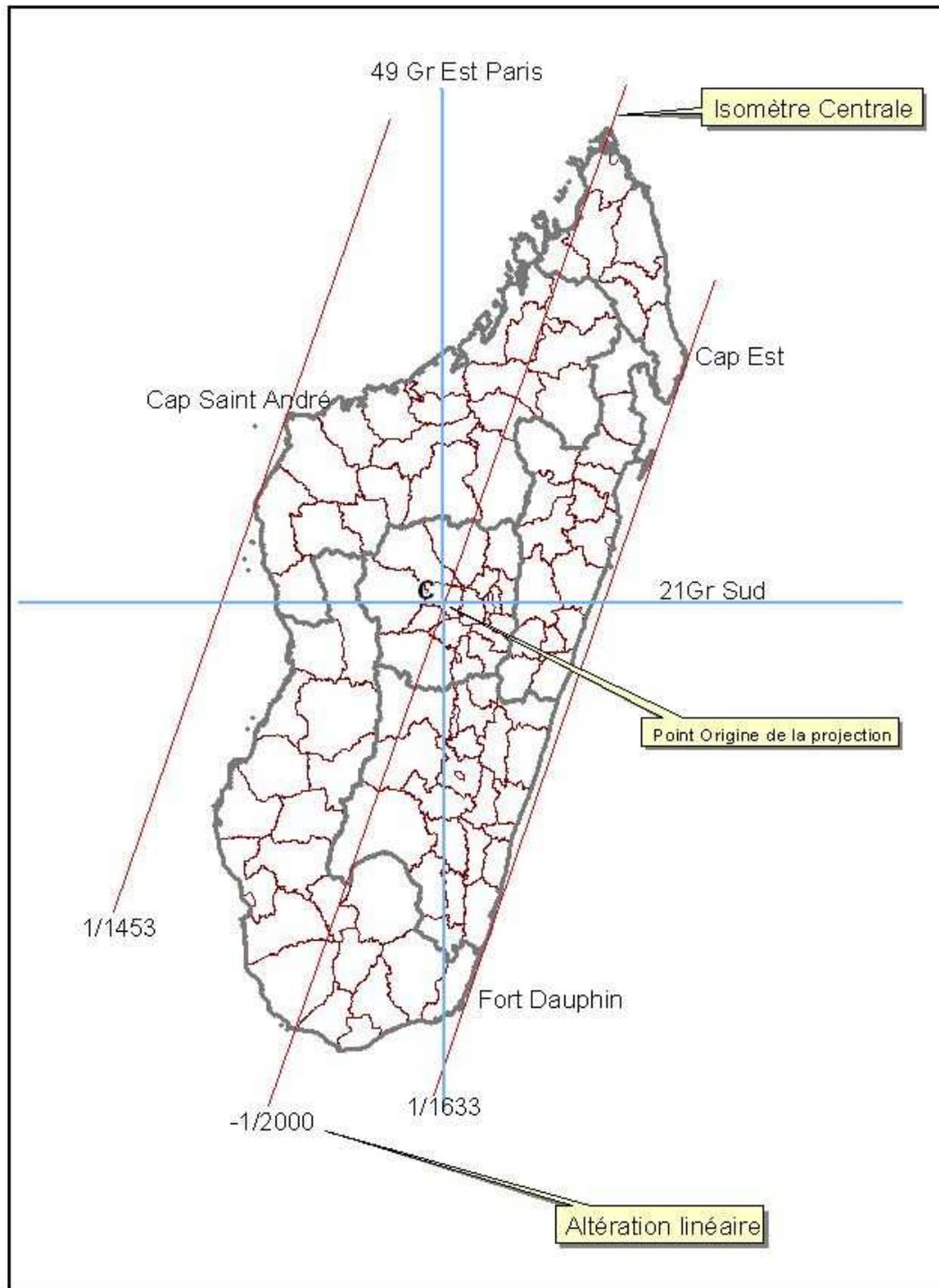
$\varphi_c = 49\text{gr Est}$ (Latitude de C)

$Azc = 21\text{gr}$ (Azimut de la ligne centrale)

$Ko = 0.9995$ (facteur d'échelle)

Les coordonnées du point Origine

$X_c = 800\,000\text{m}$ et $Y_c = 400\,000\text{m}$.



Annexe IV : LA PROJECTION MERCATOR OBLIQUE

Mercator Oblique est la projection la plus proche de la projection Laborde de Madagasikara à $\beta\varepsilon^5$ près.

En effet, si l'altération linéaire dans la projection Laborde est de $\varepsilon_L = X_L + iY_L$

Alors, celle dans la projection Mercator Oblique est de $\varepsilon_M = \varepsilon_L + \beta\varepsilon^5$

Où : $\beta = 1/16R^4(0.804 + i 0.0106)$ et R représente le rayon de la terre (~6 400km)

Les caractéristiques de la projection sont :

Ellipsoïde : International Hayford 1909

Facteur d'échelle le long de la ligne centrale : 0.9995

Longitude du point origine : 46.4372° Est Greenwich

Latitude du point origine : -18.9°

Azimut de la ligne centrale : 18.9°

Coordonnées de l'origine

X₀ 1 113 136.314 600m

Y₀ 2 882 900.727 900m

Annexe V : LISTE DE POINTS DE LA MISSION VERITE TERRAIN

N	Latitude φ dd mm ss	Longitude λ dd mm ss	Hauteur h(m)	X (m)	Y(m)	Z(m)
2	-18 52 57.2	47 58 36.4	893	562173.314	801375.999	894.472
3	-18 53 11.1	47 58 53.9	885	562681.696	800944.306	886.463
5	-18 53 24.2	47 58 53.9	889	562678.222	800541.613	890.454
6	-18 54 29.6	47 57 58.8	902	561048.830	798545.072	903.403
7	-18 55 21.6	47 57 21.8	915	559952.758	796955.827	916.363
8	-18 55 03.9	47 57 30.0	898	560197.272	797497.883	899.376
9	-18 55 57.5	47 56 17.0	920	558047.835	795868.289	921.333
10	-18 55 38.2	47 56 27.7	970	558365.827	796458.932	971.347
11	-18 55 28.5	47 55 49.5	1077	557250.855	796766.479	1078.351
12	-18 55 17.0	47 55 44.4	1116	557104.615	797121.230	1117.359
13	-18 54 43.4	47 55 07.3	1208	556027.859	798163.104	1209.379
14	-18 54 20.6	47 54 12.6	1316	554433.341	798877.153	1317.391
15	-18 54 36.1	47 53 32.2	1388	553247.507	798410.353	1389.377
16	-18 55 43.3	47 52 57.3	1370	552209.776	796352.970	1371.326
17	-18 56 21.1	47 53 00.0	1373	552279.344	795190.388	1374.300
18	-18 56 32.9	47 53 05.2	1382	552428.504	794826.431	1383.292
19	-18 57 03.2	47 53 05.9	1387	552441.421	793894.863	1388.271
20	-18 57 07.7	47 53 -18.6	1426	552811.751	793753.516	1427.268
21	-18 57 08.8	47 53 37.6	1437	553367.193	793715.172	1438.269
22	-18 57 38.9	47 52 22.5	1423	551163.203	792807.730	1424.242
23	-18 58 23.4	47 52 09.3	1412	550766.155	791442.935	1413.209
24	-18 59 10.8	47 52 27.6	1429	551289.574	789981.575	1430.177
25	-18 59 39.7	47 51 41.2	1427	549925.625	789104.108	1428.153
26	-19 00 34.9	47 50 21.9	1392	547593.458	787425.715	1393.107
27	-19 02 25.4	47 47 39.8	1403	542828.056	784065.832	1404.015
28	-19 01 58.1	47 47 11.1	1368	541995.467	784911.404	1369.032
29	-19 02 20.5	47 47 29.3	1382	542522.266	784218.798	1383.018
30	-19 02 05.1	47 47 27.4	1373	542470.334	784692.604	1374.028
31	-19 02 46.4	47 47 13.8	1395	542063.106	783426.107	1395.998
32	-19 03 12.2	47 47 13.4	1438	542045.379	782633.125	1438.980
33	-18 55 13.8	47 48 36.5	1399	544587.851	797319.980	1400.326
34	-18 54 53.0	47 48 34.6	1394	544537.185	797959.766	1395.340
35	-18 53 37.5	47 48 00.9	1421	543569.034	800288.054	1422.391
36	-18 52 52.0	47 48 34.4	1445	544559.895	801679.143	1446.426
37	-18 53 31.9	47 46 52.3	1441	541563.271	800475.387	1442.389
38	-18 53 28.3	47 43 28.1	1525	535589.720	800630.029	1526.374
39	-18 52 10.2	47 44 06.8	1490	536739.410	803022.437	1491.433
40	-18 51 05.3	47 44 03.2	1480	536648.531	805018.057	1481.478
41	-18 51 11.3	47 44 54.0	1500	538133.801	804822.802	1501.478
42	-18 50 33.2	47 42 50.7	1476	534533.927	806019.974	1477.495
43	-18 50 21.1	47 42 16.6	1494	533538.608	806398.982	1495.500
44	-18 50 41.3	47 42 39.2	1520	534195.603	805773.400	1521.488

Annexe VI METHODE DE TRANSFORMATION DE COORDONNEES GPS EN COORDONNEES CARTOGRAPHIQUES

La transformation de coordonnées géographiques (longitude, latitude) de la projection WGS84 à coordonnées cartographiques (X,Y,Z) de la projection Laborde de Madagasikara a été faite à l'aide du logiciel COMAD.

En général la formule de passage de (λ, φ, h) vers (X, Y, Z) est donnée par :

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda ;$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda ;$$

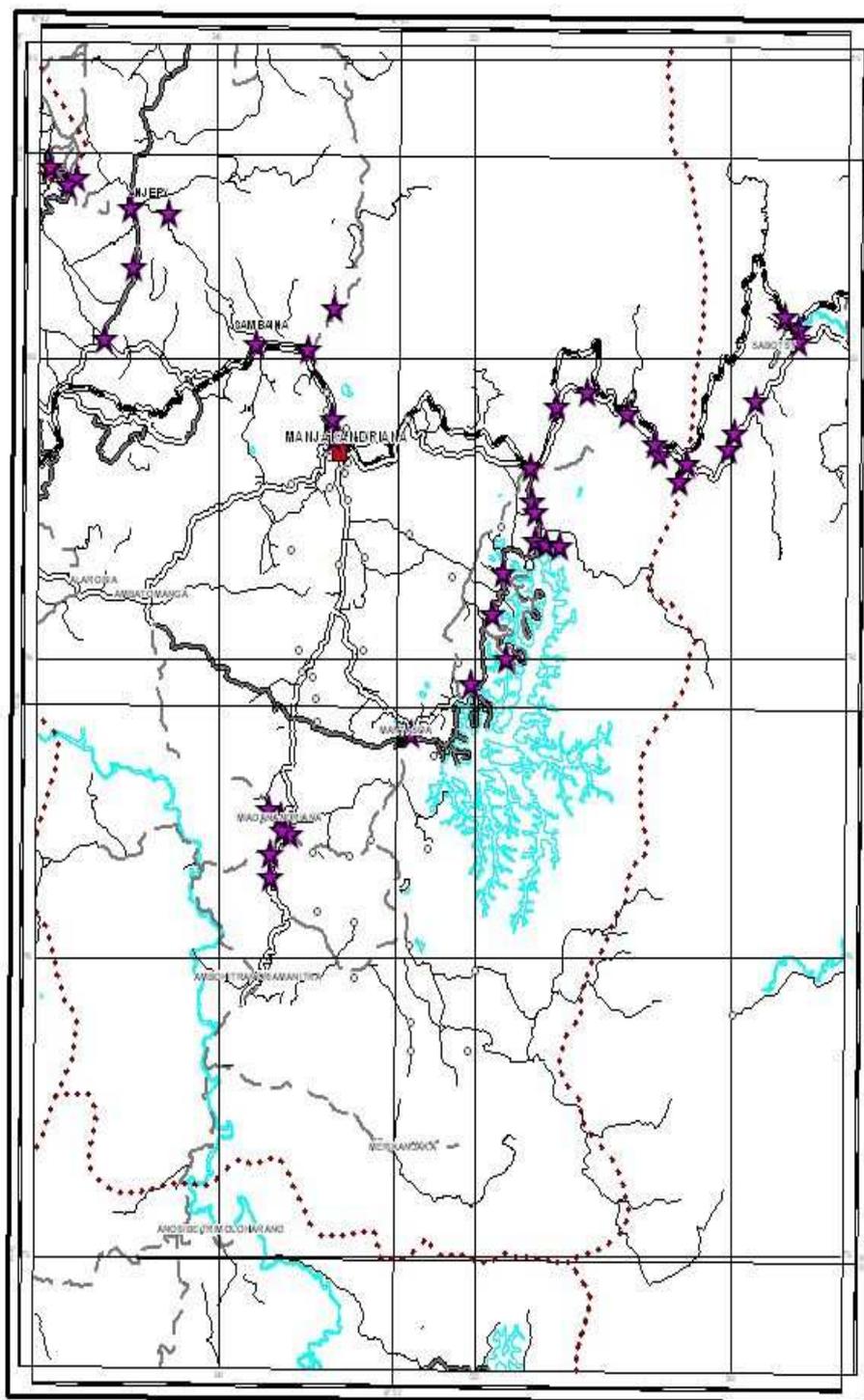
$$Z = [N (1 - e^2) + h] \sin \varphi ;$$

$$\text{Avec } N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}$$

$$\text{Et } e = (a^2 - b^2) / a^2$$

Où $a = 6\,378\,157.0\text{m}$ le demi-grand axe et $b = 6\,356\,752.3142\text{m}$ le demi-petit axe de l'ellipsoïde GRS80 associé à la projection WGS84.

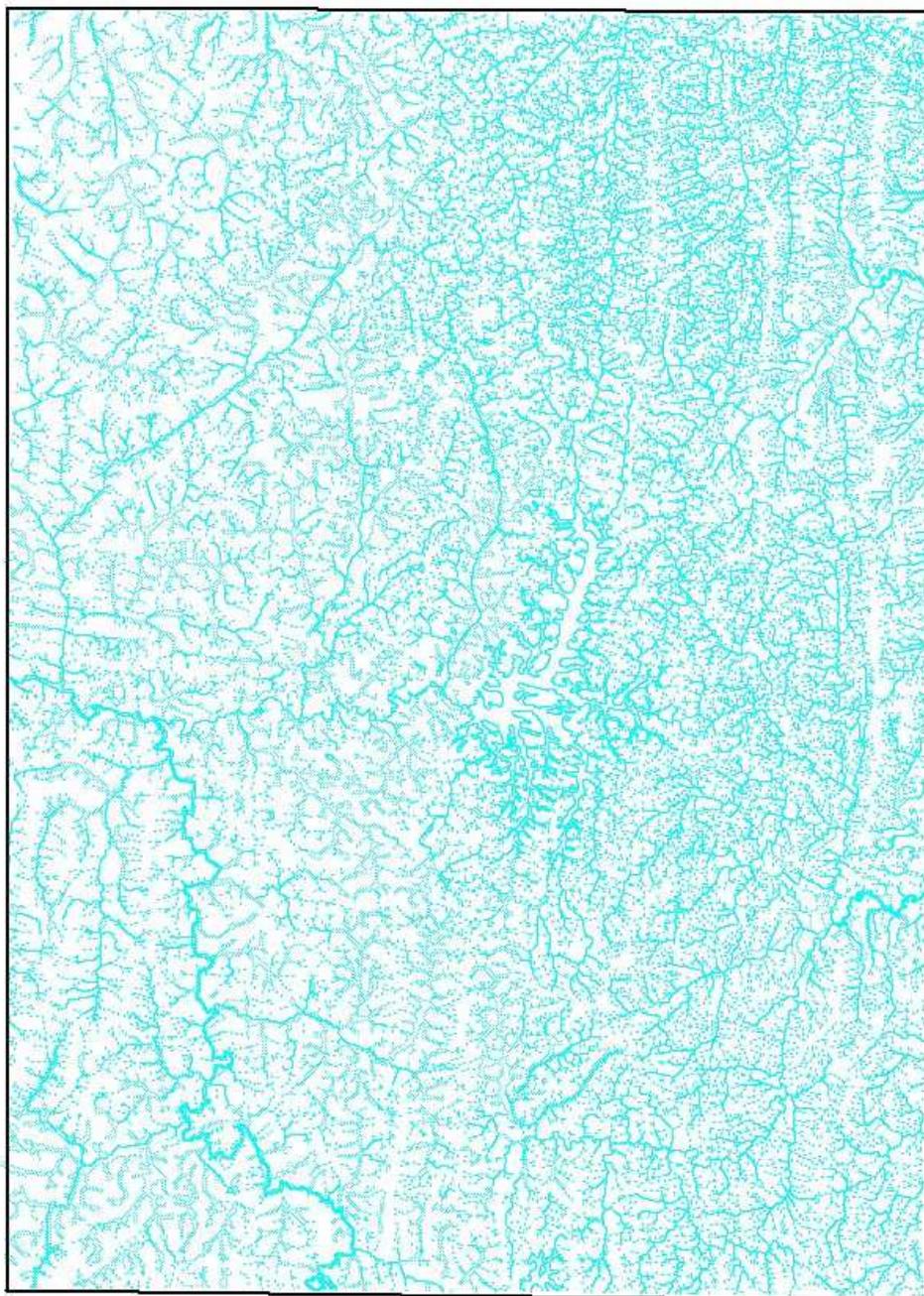
Annexe VII REPRESENTATION GRAPHIQUES DES POINTS GPS RECUEILLIS SU TERRAIN



	Route de grand parcours		Limite de District		Chef lieu de Fivondronana
	Route carrossable toute l'année		Bord des rivières doubles		Chef lieu de Commune
	Route praticable une partie de l'année		Limite des lacs permanents		Chef lieu de Fokontany
	Piste				Points GPS
	Piste jeepable				
	Chemin de fer				

Annexe VIII HYDROGRAPHIE DE MANJAKANDRIANA

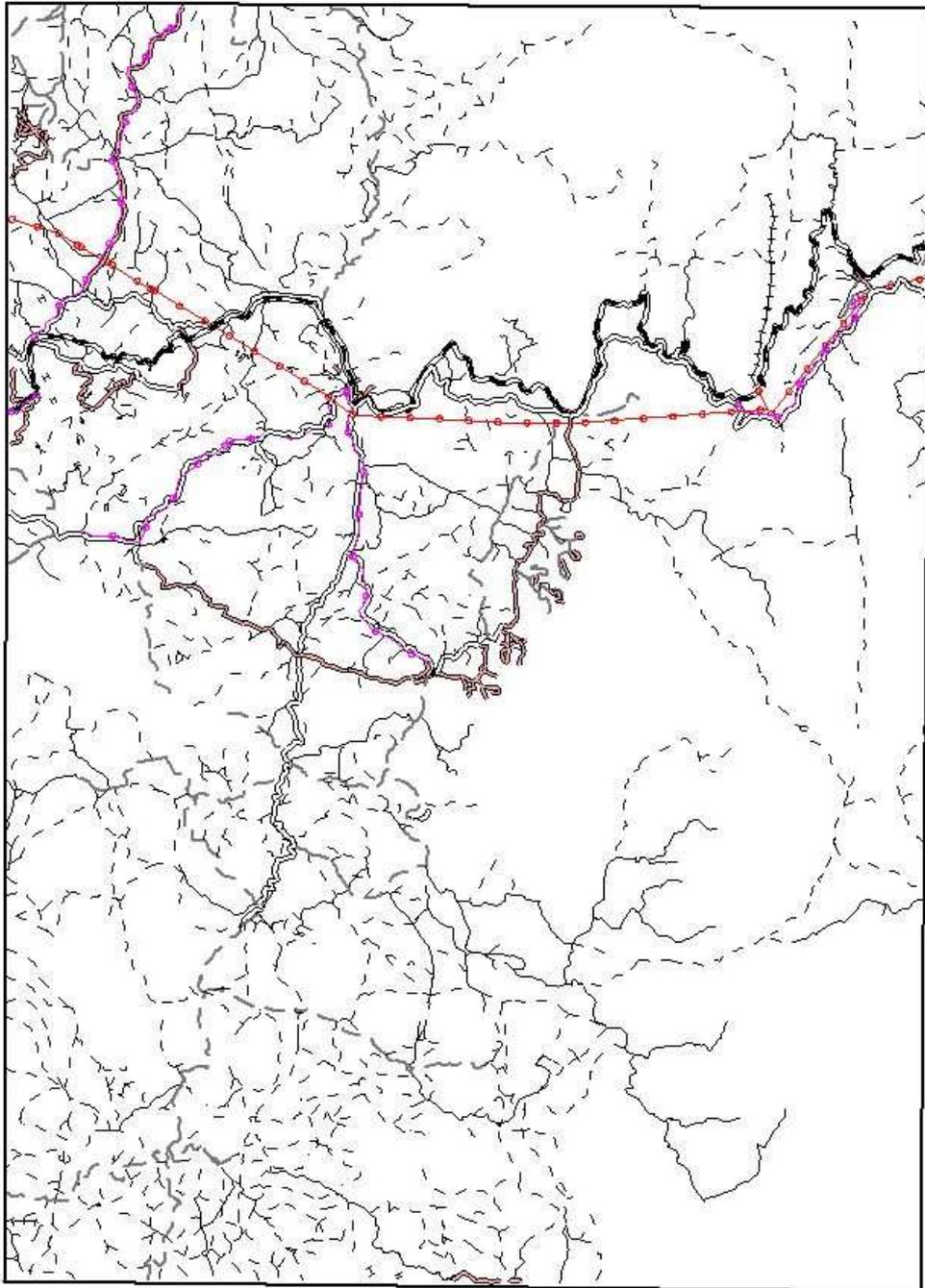
HYDROGRAPHIE DE MANJAKANDRIANA Feuille Q47



	Bord des rivières doubles		Limite des rizières
	Cours d'eau intermittent		Marais
	Cours d'eau permanent		Vase
	Limite des lacs périodiques		Zone inondable
	Limite des lacs permanents		

Annexe IX LES DONNEES PLANIMETRIQUES DE MANJAKANDRIANA

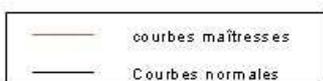
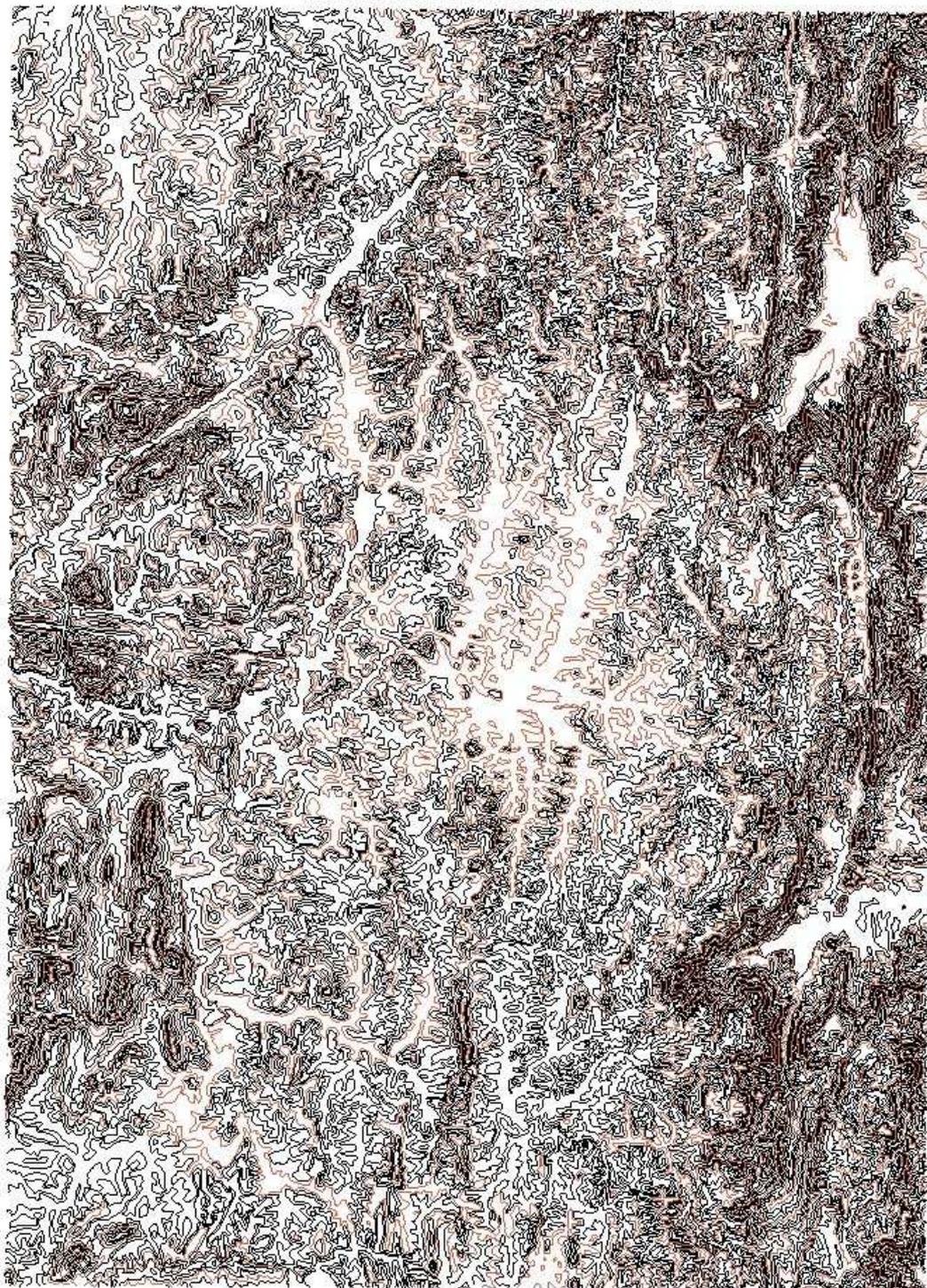
DONNEES PLANIMETRIQUES DE MANJAKANDRIANA
Feuille Q47



	Route de grand parours		Sentier
	Route carrossable toute l'année		Chemin de fer
	Route praticable une partie de l'année		Cable trasporteur d'energie électrique
	Piste		Ligne télégraphique et téléphonique
	Piste jeepable		Escarpement rocheux

Annexe X OROGRAPHIE DE MANJAKANDRIANA

OROGRAPHIE DE MANJAKANDRIANA



RESUME

La présente étude porte sur l'élaboration de spatiocartes à moyenne échelle avec le logiciel ERDAS IMAGINE. Conscient de la place qu'occupe les spatiocartes dans l'étude et la prise de décision sur les secteurs d'activités humaines et l'ancienneté des cartes à moyenne échelle couvrant l'ensemble du territoire malagasy, nous sommes amenés à proposer une méthodologie d'élaboration utilisant un logiciel SIG plus performant qu'est Erdas Imagine.

L'ouvrage offre une méthodologie générale de fabrication de spatiocartes topographique et thématique. Des prototypes ont été réalisés sur la zone de Manjakandriana, feuille Q47, à l'échelle au 1/100.000. Ils comprennent une spatiocarte topographique, une spatiocarte thématique et une spatiocarte d'occupation des sols.

Le choix de cette zone d'étude repose sur le fait qu'elle présente un cas extrême de traitement : nécessité de mosaïquage, richesse thématique et données de base disponibles au sein de FTM.

Les images issues du satellite LANDSAT-7 répondent au besoin en précision avec un coût plus raisonnable. C'est la raison pour laquelle elles sont choisies.

Enfin, la méthode consiste à construire un fond image « orthorectifié » sur lequel est superposé des éléments topographiques et/ou géographiques permettant une meilleure interprétation de l'image.

MOTS CLES : *Spatiocarte, Spatiotriangulation, Mosaïquage, Géocodage, Ortho-image, Projection Laborde*

Nom et Prénoms : RAMASIMBAMALAZA Olivier José Michel

Titre de mémoire : Elaboration de spatiocartes à moyenne échelle avec le logiciel Erdas Imagine

Nombre de pages : 89

Nombre de figures : 10

Nombre d'organigrammes : 05

Nombre de tableaux : 05

Encadreurs : Professeur Pascal RAMANANTSIZEHENA

Monsieur LI HAN TING Solo

Adresse de l'Auteur : Lot AN 26/3609 Talatamaty Fianarantsoa I

Madagascar

Tél. 033 12 201 99

Mail rojmic@yahoo.fr