

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	i
ABSTRACT	ii
FAMINTINANA.....	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES ILLUSTRATIONS	vii
LISTE DES ANNEXES.....	ix
LISTE DES ACRONYMES ET DES SIGLES	x
GLOSSAIRE.....	xii
1. INTRODUCTION.....	1
2. MÉTHODOLOGIE	3
2.1 Problématique et hypothèses	3
2.1.1 Problématique.....	3
2.1.2 Hypothèses de recherche	5
2.2 Concept paysage.....	6
2.2.1 Définition	6
2.2.2 Élément du paysage.....	6
2.2.3 Caractéristiques d'un paysage	6
2.2.4 Dynamique des paysages	6
2.3 Matériels.....	7
2.3.1 Milieu d'étude	7
1.1.1 Caractéristique de la zone d'étude.....	7
1.2 Données satellitaires.....	11
1.2.1 Images satellitaires	11
1.2.2 Modèle numérique de terrain	12
1.2.3 Bases de données sur le bassin versant de Madagascar	13
1.3 Prétraitement des images.....	13

1.3.1	Calibration radiométrique	13
1.3.2	Correction atmosphérique	13
1.3.3	Mosaïque des images	14
1.4	Cartographie de l'occupation du sol.....	14
1.4.1	Classification semi-supervisée	14
1.5	Evaluation de la précision des classifications	15
1.5.1	Matrice de confusion.....	15
1.5.2	Evaluation de la classification par l'indice de kappa	16
1.6	Analyse de la dynamique de l'occupation du sol	17
1.6.1	Matrice de transition.....	17
1.6.2	Taux de changement net.....	18
1.6.3	Indice des structures spatiales	18
1.6.4	Taux annuel de déforestation	19
1.7	Les limites de l'étude	19
1.8	Cadre opératoire de recherche	20
1.9	Synthèse méthodologique	21
3.	RESULTATS ET INTERPRETATIONS	22
3.1	Caractéristiques des deux écorégions.....	22
3.1.1	Altitudes	22
3.2	Evolution spatio-temporelle de l'occupation du sol.....	23
3.2.1	Différents types de classes dans les deux écorégions.....	23
3.2.2	Matrice de confusion.....	25
3.2.3	Indice de Kappa.....	26
3.3	Etat de l'occupation du sol.....	26
3.3.1	Etat des occupations du sol versant Est.....	26
3.3.2	Etat des occupations du sol versant Ouest.....	29
3.3.3	Dynamique de la composition du paysage Ecorégion Ouest	32
3.3.4	Dynamique de la composition du paysage écorégion Est	35

3.3.5	Structure spatiale du paysage actuel de l' écorégion Est.....	38
3.3.6	Structure spatiale du paysage actuel de l' écorégion Ouest	39
3.3.7	Tendance des écosystèmes forestiers écorégion Est	41
3.3.8	Tendance des écosystèmes forestiers écorégion Ouest	42
4.	DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	44
4.1	Discussion sur la méthodologie.....	44
4.1.1	Vérification de la classification d'occupation du sol	44
4.1.2	Indice de structure spatiale actuelle du paysage.....	44
4.2	Discussion sur les résultats.....	45
4.2.1	Dynamique du paysage forestier	45
4.2.2	Dynamique forestière suivant la topographie du terrain	45
4.2.3	Taux de déforestation	46
4.2.4	Indice de structure spatiale	46
4.3	Discussion sur les hypothèses	47
4.4	Recommandations	48
4.4.1	Opérationnalisation de la recherche	48
5.	CONCLUSION	54
	BIBLIOGRAPHIE	56

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : composition du paysage écorégion Est.....	27
Figure 2 : Composition du paysage écorégion Ouest.....	29
Figure 3 : Changement net des classes d'occupation du sol écorégion Ouest entre 1994 et 2014.....	34
Figure 4 : Changement net des classes d'occupation du sol écorégion Est entre 1994 et 2014.....	37
Figure 5 : Répartition des taches dans l'écorégion Est	38
Figure 6 : Indice de dimension Fractale dans l'écorégion.....	38
Figure 7 : Densité de bord dans l'écorégion Est	38
Figure 8: Indice moyen de forme dans l'écorégion Est.....	38
Figure 9 : Répartition des taches dans l'écorégion Ouest	39
Figure 10 : Indice de dimension Fractale dans l'écorégion Ouest	39
Figure 11 : Densité de bord dans l'écorégion Ouest	40
Figure 12 : Indice moyen de forme dans l'écorégion Ouest	40
Figure 13 : Evolution de surface forestier par tranche d'altitude écorégion Est	41
Figure 14 : Evolution de surface forestier par tranche d'altitude écorégion Est	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de la zone d'étude	9
Tableau 2. Caractéristiques des images satellitaires utilisées	11
Tableau 3 :Technique d'élaboration d'une matrice de confusion	15
Tableau 4 : Interprétation de la valeur de l'indice de Kappa	17
Tableau 5 : Aperçu d'une matrice de transition	17
Tableau 6 : Liste des indices des structures spatiales.....	18
Tableau 7 : Cadre opératoire de la recherche	20
Tableau 8 : Proportion tranche d'altitude.....	23
Tableau 9 : Indice d'évaluation de la précision des classifications d'images 2014 écorégion Est	25

Tableau 10 : Indice d'évaluation de la précision des classifications d'images 2014 écorégion Ouest .	26
Tableau 11 : Proportion des classes d'occupation du sol écorégion Est	27
Tableau 12 : Proportion des classes d'occupation du sol écorégion	30
Tableau 13 : Matrice de transition de l'occupation du sol (en pourcentage) entre 1994, 2004 et 2014 de l'écorégion Ouest	33
Tableau 14 : Matrice de transition de l'occupation du sol en pourcentage entre 1994, 2004 et 2014 dans l'écorégion Est de Madagascar.	36
Tableau 15 : Couverture forestière et taux de déforestation par tranche d'altitude écorégion Est.....	41
Tableau 16 : Couverture forestière et taux de déforestation par tranche d'altitude écorégion Ouest ...	43
Tableau 17 : Comparaison des taux de déforestation avec les autres études	46
Tableau 18 : Cadre logique	50

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Zone d'étude.....	8
Carte 2 : Références des images LANDSAT utilisées	12
Carte 3 : Tranche d'altitude écorégion Est.....	22
Carte 4 : Tranche d'altitude écorégion Ouest.....	22
Carte 5 : Occupation du sol écorégion Est en 1994	28
Carte 6 : Occupation du sol écorégion Est 2004	28
Carte 7 : Occupation du sol écorégion Est 2014	28
Carte 8 : Occupation du sol écorégion Ouest 1994.....	31
Carte 9 : Occupation du sol écorégion Ouest 2014.....	31
Carte 10 : Occupation du sol écorégion Ouest 2004.....	31

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1 : Indice de Kappa	16
Équation 2 : Indice de kappa simplifié.....	16
Équation 3 : Taux de changement net entre deux classes	18
Équation 4 : Taux annuel de déforestation.....	19

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. : Hydrographie de la zone d'étude	I
Annexe 2: Matrice de transition de l'écorégion Est (valeur en Ha)	II
Annexe 3: Matrice de transition de l'écorégion Ouest (valeur en Ha)	III
Annexe 4 : Taux de changement net de l'écorégion Ouest 1994-2004 et 2004-2014	V
Annexe 5. Taux de changement net de l'écorégion Ouest 1994-2004 et 2004-2014	VI

LISTE DES ACRONYMES ET DES SIGLES

ASTER -	:	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer – Global Digital</i>
GDEM		<i>Elevation Model</i>
CDB	:	Convention sur la Diversité Biologique
CGIAR	:	<i>Consultative Group on International Agricultural Research Centers</i>
CI		Conservation International
CNEFEREF	:	Centre National de Formation, d'Etude et de Recherche en Environnement et Foresterie
CREAM	:	Centre de Recherches, d'Etudes et d'Appui à l'Analyse Economique à Madagascar
CSI	:	<i>Consortium for Spatial Information</i>
DOS	:	<i>Dark Object Subtraction</i>
ESSA	:	Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
FAO	:	Food and Agriculture Organisation
FCPF	:	<i>Forest Carbon Partnership Facility</i>
FTM		Foiben-Taotsaritanin'i Madagasikara
INSTAT	:	Institut National de la Statistique
IRT	:	Infra-Rouge Thermique
ISODATA	:	<i>Iterated Self-Organizing Data Analysis Technics</i>
MEA	:	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
MIR	:	Moyen Infra-Rouge
MNT	:	Modèle Numérique de Terrain
OLI	:	<i>Operational Land Imager</i>
ONE	:	Office National de l'Environnement
ONE	:	Office National pour l'Environnement
PANCHRO	:	Panchromatique
PIR	:	Proche Infra-Rouge
ROI	:	<i>Region Of interest</i>
SIG	:	Système d'Information Géographique

SPOT	: Système Pour l'Observation de la Terre
SRTM-DEM	: <i>Shuttle Radar Topographic Mission-Digital Elevation Model</i>
TIRS	: <i>Thermal InfraRed Sensor</i>
TM	: <i>Thematic Mapper</i>
UICN	: Union Internationale pour la Conservation de la Nature
USD	: <i>United State Dollar</i>
USGS	: <i>United States Geological Survey</i>
UTM	: <i>Universe Transverse Mercator</i>
WGS	: <i>Word Geodetic System</i>
WWF	: <i>World Wildlife Fund</i>

GLOSSAIRE

- **Déforestation** : Selon FAO, la déforestation est la conversion de la forêt pour une utilisation différente du terrain ou la réduction à long terme de la canopée arboricole en dessous du seuil minimum de 10% (FAO, 2007).
- **Développement durable** : satisfaction des besoins élémentaires de tous et, pour chacun, la possibilité de vie meilleur.
- **Écorégion**: partie d'une province caractérisée par des facteurs écologiques régionaux distincts par le climat, la géographie physique, la végétation, le sol, l'eau, la faune et l'utilisation de terres
- **Fragmentation** : Morcellement des éléments du paysage dont les effets sont différents selon les espèces, les types de paysages, l'espace, l'échelle et les zones géographique
- **Savoka** : Formation arborée qui s'installe après la destruction de la formation primaire par la pratique d'une agriculture basée sur l'usage du tavy.
- **Structures de paysages** : Système formés par des objets, élément matériels du territoire considérés, et les interrelations, matérielles ou immatérielles qui les lient entre eux et/ ou leur perception par les populations.
- **Tavy** : Expression des hauts plateaux Malgache pour désigner la destruction de forêts primaires suivie de brulis en vue de culture du sol
- **Télédétection** : Ensemble des procédures et techniques qui permettent d'acquérir à distance des informations sur les objets terrestres, en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises ou réfléchies par ces objets.
- **Système d'information géographique** : Outil informatisé capable de créer, transformer, afficher, analyser et stocker de l'information géographique. Il permet d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées, en vue notamment des plans et cartes. (Christine, 2013)

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

Tous les êtres vivants dans le monde dépendent des écosystèmes terrestres y compris les services qu'ils fournissent (MEA, 2005), les multiples fonctions qu'ils assurent et enfin les bénéfices qu'ils apportent tant sur le plan économique que social.

Cependant, au cours de ces 50 dernières années, ces ressources naturelles ont subi des pressions anthropiques croissantes qui ont entraîné le dysfonctionnement des différents écosystèmes terrestres et surtout des pertes en biodiversité (Roche, 1998). A cet effet, presque tous les écosystèmes terrestres ont subi d'importantes transformations. Les seuls écosystèmes terrestres n'ayant connu que des changements relativement mineurs sont les toundras et les forêts boréales. Néanmoins, l'impact du changement climatique se fait de plus en plus ressentir.(FAO, 2014)

A Madagascar, la plupart des modèles bioclimatiques indiquent l'existence d'un minimum de cinq (5) écorégions distinctes et différentes, allant des forêts humides sempervirentes de l'Est , aux milieux plus saisonniers, en passant par les forêts succulentes et épineuses et la brousse des terres arides du Sud. Les 90% de ces écosystèmes ne sont rencontrés nulle part ailleurs dans le monde (Moat et Smith, 2007 ; Grady, 2011). Aucune écorégion comparable dans le monde ne présente ce niveau global. De plus, le niveau en biodiversité est élevé avec un endémisme aux échelons supérieurs de la famille et du genre. Une étude menée par la Banque Mondiale a révélé qu'en dehors des ressources minières, la valeur de la richesse en ressource naturelle de notre Ile est estimée à environ 65 milliards USD, soit 3 489 USD par habitant (*The World Bank*, 2010). Parmi ces écorégions, celles de l'Est et de l'Ouest présentent une hétérogénéité biologique et écologique marquée ce qui donne lieu à des taux d'endémisme local élevés.

Cependant, Madagascar figure parmi l'une des plus grandes priorités de conservation au monde, à cause de cette richesse importante (Dufils, 2003;Zinner *et al.*, 2014) qui est grandement menacée par les pressions anthropiques (Mama, 2013). A Madagascar, près 70 % de la population dépendent des biens et services que cette forêt tropicale fournit par l'exploitation de ces ressources (Roelens *et al.*, 2010). De ce fait, la majorité des paysages sont transformées par la déforestation et la dégradation des forêts (ONE, 2013) alors que bon nombre d'espèces endémiques s'abritent dans ces 2 écorégions. Les forêts saisonnières de l'Ouest sont moins résilientes à une dégradation prononcée ou au défrichage et il est rare, voire impossible, qu'elles se régénèrent. Tandis que les forêts humides de l'Est semblent pouvoir se régénérer lentement sur une période de temps importante(MBG, 2013).

Pour mieux gérer ces ressources et contribuer au développement durable, il faut planifier la protection de ces écosystèmes. Il n'est pas moins important de connaître l'historique du paysage notamment son évolution au cours du temps, ce qui a fait l'objet de ce mémoire. Dans ce sens, cette étude utilise la télédétection pour pouvoir **analyser la dynamique des paysages forestiers de Madagascar suivant une échelle ecorégionale.**

Deux hypothèses sont posées afin de répondre à la problématique soulevée. La première stipule que la dynamique du paysage forestier est différente suivant les écorégions. La seconde évoque que le mode d'utilisation des terres est influencé par la topographie du terrain.

La présente étude se subdivise en cinq (5) grandes parties. Cette partie introductive permet de se cadrer dans le contexte général de l'étude. La seconde partie énonce la problématique suivie des matériels et méthodes développés dans cette étude. La troisième partie expose les résultats issus de la recherche. La quatrième partie sera réservée aux discussions suivies des propositions de recommandations. Et une conclusion clorera cette étude.

METHODOLOGIE

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Problématique et hypothèses

2.1.1 Problématique

La spécificité et la richesse de sa biodiversité ont permis à Madagascar d'être classée « *hotspot* » en biodiversité (FCPF, 2014). Mais bien avant ce classement, Madagascar est depuis 1991, considérée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme une priorité mondiale en matière de conservation de la nature. En effet, plus de 85% de la flore, 39% des oiseaux, 91% des reptiles, 99% des amphibiens et 100% des lémurien sont endémiques à Madagascar (PNUE, 2014).

De ce fait, les écorégions Est et Ouest de Madagascar sont des refuges de grands nombres d'espèces animales et végétales. L'écorégion Est est l'une des 35 écorégions mondiales prioritaires en raison de son niveau élevé d'endémicité et sa biodiversité exceptionnelle (Roelens *et al.*, 2010), tandis que l'écorégion Ouest abrite les forêts sèches qui sont choisies comme parmi les prioritaires au monde en matière de conservation de biodiversité notamment dans les écorégions prioritaires du WWF (WWF, 2004) à cause de l'existence de nombreuses espèces endémiques qui tendent à disparaître due à la fragilité de leurs écosystèmes (CNFEREF, 2014). De nombreuses communautés dans ces écorégions dépendent étroitement des biens et des services fournis par ces forêts tropicales.

Cette dépendance reflète la pauvreté de la population qui concerne 82% des ménages ruraux et qui, suite à l'évaluation effectuée par l'INSTAT en 2010, montre un taux d'incidence nationale de 69,6% en 2001, 72,1% en 2004 et 76,5% en 2010. Toutefois, la pauvreté n'entraîne pas seulement que la dépendance de la population. A cette situation de grande pauvreté s'ajoute la dégradation importante des paysages forestiers à cause des perturbations anthropiques, telles que la déforestation, l'agriculture, l'urbanisation et la surpopulation (Noumi *et al.*, 2011). Ainsi, la conquête de nouvelles terres devient une nécessité pour assurer la survie de la population locale afin de pouvoir étendre les superficies cultivées (Green et Sussman, 1990 ; Ramamonjisoa, 2004 ; Raharinarina, 2005)

L'homme est devenu la force majeure dans la dynamique des paysages naturels (Gardi *et al.*, 2011) et contribue à la conversion des catégories d'occupation du sol (FAO, 2010) dans ces 2 écorégions actuellement. Cela se traduit par une réduction de la couverture forestière de 24% à 28% du territoire national en 1950 et n'occupe que 16 à 17 % de l'île en 2003 (ONE, 2003). La couverture de forêt naturelle en 2010 a été évaluée à 9 220 040 ha, avec un rythme de déforestation d'environ 36 000 ha par an entre la période 2005 et 2010 (ONE, 2013). La déforestation se présente comme une menace réelle pour l'ensemble du paysage de l'île (Ramohavelo *et al.*, 2014). Cette réduction se présente sous différentes formes comme la réduction de la couverture en mosaïque ou fragment de taille différente. Mais la situation devient de plus en plus précaire dans les forêts sèches de l'écorégion de l'Ouest (CI, 2011). A cause de l'aridité de cette écorégion accentuée par les variations climatiques qui affectent la productivité

de la végétation et la survie des plantes (Hulme, 2005), la déforestation devient une solution précaire pour l'agriculture de subsistance d'où l'intensification de la culture sur brulis provoquant ainsi les fréquents feux de forêts. (PNUE, 2014). De ce fait, la connaissance des dynamiques spatio-temporelles de l'occupation et du mode d'utilisation des sols est considérée comme un des éléments fondamentaux depuis plusieurs années permettant de mesurer les impacts des activités anthropiques sur le paysage. (Matsushita *et al.*, 2006 ; Sarr, 2008).

Pour cela, en valorisant les méthodes pour l'analyse de système de la dynamique du paysage, les outils qualitatif et quantitatif de SIG et télédétection (Zheng *et al.*, 2007) par cartographie d'occupation du sol constituent une voie prometteuse pour la conservation des écosystèmes (Mama, 2013). En plus, comme il s'agit de la protection du paysage naturel des actions anthropiques (tavy, feux de brousse, etc.) (CI, 2011), ces outils de prise de décision pourraient servir d'aides aux aménagistes du territoire pour mieux gérer les ressources naturelles.

Des travaux ultérieurs de cartographie de la végétation en utilisant l'outil de SIG et télédétection plus particulièrement à l'échelle régionale ont été réalisés. Cette étude évoque généralement l'intensité de déforestation et sa principale cause par région (ONE, 2013) notamment en considérant les divisions phytogéographiques de Madagascar, à l'exemple l'étude menée sur le paysage naturel de différentes régions de Madagascar (Goodman, 2008).

Une autre étude sur les forêts denses humides de basse altitude dans la région Est de Madagascar, avec un climat tropical humide vue sous l'angle de télédétection affirme que les activités anthropiques, principalement l'agriculture itinérante, affectent le changement d'occupation du sol et provoquent la fragmentation du paysage et de l'habitat (Rabenilalana, 2011). De plus, l'étude des unités paysagères des forêts sèches en Nouvelle Calédonie à partir des cartographies fait ressortir une tendance de fragmentation des paysages au niveau écorégionale (Kelly, 2005).

La présente étude vise à analyser la dynamique du paysage forestier dans une zone tropicale avec des caractéristiques totalement différentes. Ainsi, cette étude se focalise sur une zone de forêt humide et une zone de forêt sèche : d'une part pour comprendre la tendance évolutive de l'écosystème, et d'autre part pour anticiper les mesures à prendre à la conservation de ces précieuses ressources faces aux différentes pressions qui affectent le paysage naturel.

A ce propos se pose la question de recherche suivante : **Comment le facteur bioécologique influe-t-il sur les paysages forestiers à l'échelle écorégionale ?**

Pour bien mener l'étude, les sous-questions suivantes ont été posées:

- Comment se manifeste-t-elle la dynamique des paysages forestiers dans ces 2 écorégions ?
- Comment évolue la structure du paysage actuel ?

- Comment se manifeste la dynamique des paysages forestiers suivant le gradient d'altitude de ces 2 écorégions ?
- Quelle est la principale cause de la fragmentation du paysage forestier ?
- Quelles sont les stratégies qui doivent être mises en place pour atténuer le rythme de la déforestation ?

2.1.2 Hypothèses de recherche

Pour répondre à la problématique, deux hypothèses sont avancées.

Hypothèse 1 : « *La dynamique spatio-temporelle du paysage forestier se différencie suivant l'écorégion.* »

Les écorégions Est et Ouest de Madagascar ont des caractéristiques tellement différents, ce qui définit les caractéristiques de la couverture végétale. Le changement du paysage forestier fait référence aux diverses conversions de la composition de paysage. Ce changement peut être dû à des processus naturels tels que la succession écologique et les perturbations naturelles ou anthropiques. Il en est par exemple la conversion de forêt dense humide en formation secondaire pour l'écorégion Est et la conversion de la forêt dense sèche en savane arborée. En fait, la méthode par élaboration de matrice de transition par croisement deux à deux des occupations du sol permet de détecter le taux de gain et de perte des occupations du sol pendant une période donnée.

Pour cela l'interprétation de la matrice de transition, la stabilité des classes et la tendance de l'écosystème forestier mais aussi la comparaison du taux de déforestation au niveau écorégional permettent de vérifier cette première hypothèse

Hypothèse 2 : « *Les modes d'utilisation des terres sont fortement influencés par le gradient d'altitude du terrain.* »

Les modes d'utilisation de terres reflètent les conjonctures économiques et sociales, les intérêts et motivations des ménages (Rakoto, 2014). Avec peu de capital à disposition, surtout la terre, les paysans dont la principale activité agricole est l'agriculture sur brûlis concentrent leurs efforts et leurs investissements dans cette activité (Locatelli, 2000) pour l'écorégion Est mais cela est amplifiée par le fréquent passage de feu pour l'écorégion Ouest. L'utilisation des terres fait référence aux diverses activités anthropiques qui sont les causes originelles de la diminution de la couverture forestière et de la fragmentation de la forêt. La méthode d'identification du paysage permet de connaître l'état du paysage actuel et l'effet de changement anthropique au sein du paysage. De plus la mise en relation de ce mode d'utilisation des terres suivant la topographie du terrain permet de déterminer le taux de déforestation de la couverture forestière suivant l'élévation d'altitude de deux écorégions et de déterminer la zone avec une forte pression.

2.2 Concept paysage

2.2.1 Définition

Une définition du concept « paysage » est nécessaire. Le paysage occupe une place privilégiée parmi les concepts qui nous relient à notre milieu (Burel et Baudry, 2003). Plusieurs autres définitions pertinentes ont été présentées par des scientifiques suivant leur formation. Selon Forman et Gordon, (1987) le concept du paysage correspond à « l'interaction, assemblage répété d'une manière similaire à travers le territoire ». Cela se résume comme : « un ensemble cohérent d'écosystèmes en interaction. » (Lorgulescu et Schlaepfer, 2002)

2.2.2 Élément du paysage

Forman et Gordon, 1987 ont proposé une distinction entre les différents éléments à savoir :

- Premièrement, les paysages sont considérés comme des mosaïques d'unités fonctionnelles ou « tache » (Forman et Godron, 1986 ; Burel et Baudry, 2000 ; Lorgulescu et Schlaepfer, 2002). Les taches peuvent largement varier en taille, en forme, en type, en hétérogénéité et en caractéristiques des frontières.
- Deuxièmement, les « corridors » qui sont des unités ayant une forme linéaire caractérisent et remplissent des fonctions écologiques de conduit (passage), de filtre ou de barrière. Ils sont souvent présents dans un paysage en forme d'un réseau. (Bogaert et Mahamane, 2005)
- Le dernier type est la matrice qui est résultant de l'ensemble des taches ayant des caractéristiques similaires pour le processus considéré « types » ou « classes ». Parmi les types, la « matrice » est le type le plus répandu et le moins fragmenté, (Lorgulescu et Schlaepfer, 2002)

Chaque écosystème peut être reconnu à partir de la distribution, de la taille, de la forme, du nombre et de la configuration dans l'espace de ces trois composantes de base (Forman et Godron, 1986, Burel et Baudry, 2003).

2.2.3 Caractéristiques d'un paysage

Un paysage est caractérisé par plusieurs critères ou paramètres, tels que les facteurs environnementaux qui ont créé ou modelé les paysages, le type géographique du paysage, l'impact anthropique sur le paysage, la végétation prédominante ou l'utilisation principale du sol (Lorgulescu et Schlaepfer, 2002 in Bogaert et Mahamane, 2005)

2.2.4 Dynamique des paysages

La distribution des éléments du paysage qui s'opère aux différentes échelles spatiales et temporelles dessine le patron paysager (Forman, 1995 ; Burel et Braudy, 2000 ; McGarigal et Cushman, 2002). Le patron du paysage actuel est donc le reflet des structures spatiales qui varient dans le temps.

Les changements de l'état et des propriétés des éléments du paysage dans le temps, lui impriment sa dynamique. Les variations temporelles des conditions de la structure représentent des variations dans la fonction écologique du paysage. Ces variations peuvent mener à des processus de fragmentation, de cohésion, de diversification ou d'homogénéisation du paysage (Burel et Braudy, 2000 ;Fujihara et Kikuchi, 2005 ;Venturelli et Galli, 2006).

2.3 Matériels

2.3.1 Milieu d'étude

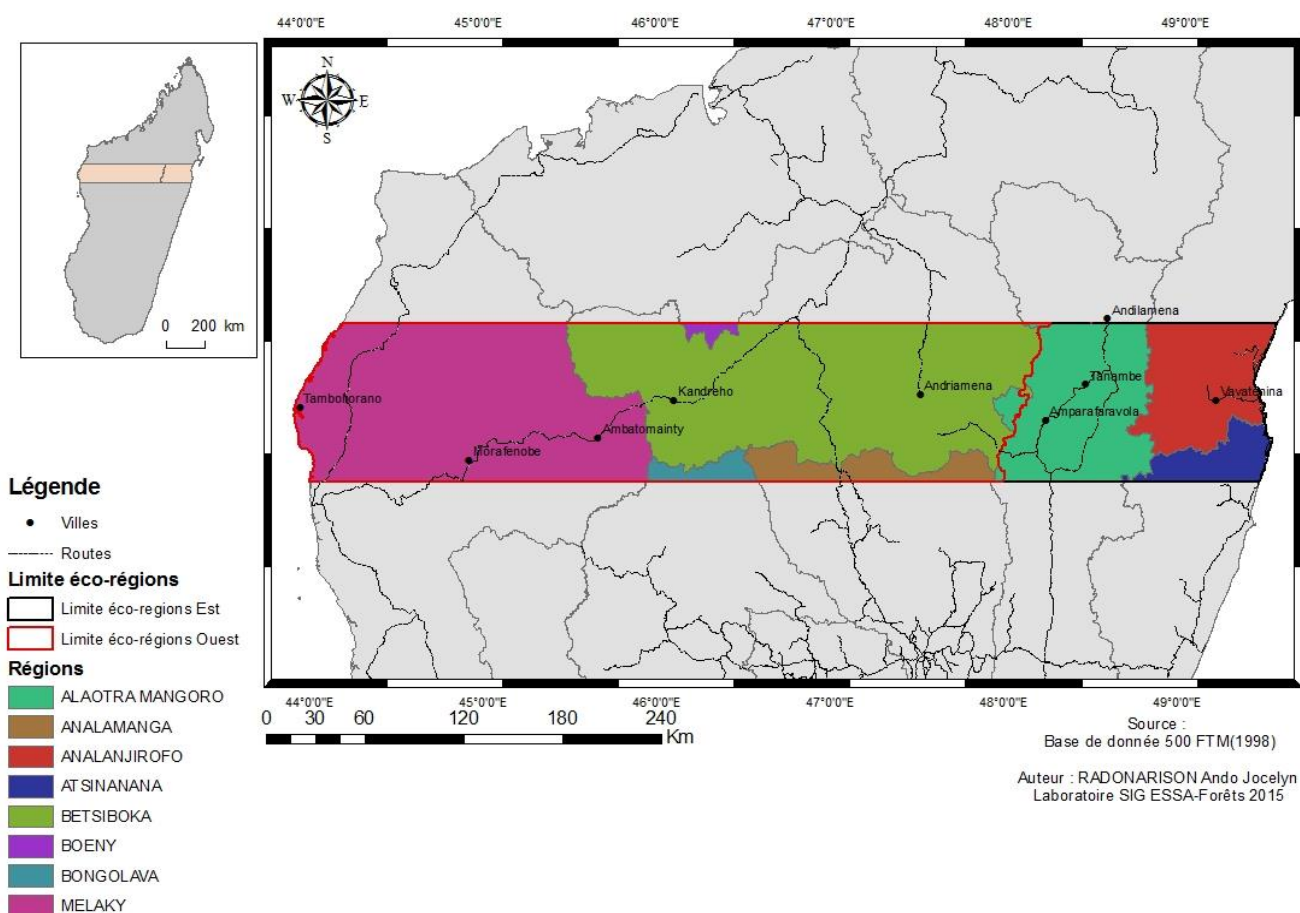
La zone d'étude est constituée administrativement d'un ensemble de huit (8) régions de Madagascar : Analanjirofo, Alaotra Mangoro, Analamanga, Antsinanana, Betsiboka, Bongolava, Boeny et Melaky (carte 1). Cet ensemble est limité à l'Est par l'Océan Indien et à l'Ouest par le Canal de Mozambique. Sur les huit (8) régions, la zone d'étude est dominée par 4 régions : Analanjirofo, Alaotra Mangoro, Betsiboka et Melaky.

La zone d'étude est délimitée par les coordonnées géographiques suivant :

- Nord-Est : 49°32'21,199"E - 17°1'31,935"S - Nord-Ouest : 44°12'58,355"E - 17°1'31,597"S
- Sud- Est: 49°26'50,682"E - 17°54'36,418"S - Sud-Ouest: 44°1'23,463"E - 17°55'5, 31"S

1.1.1 Caractéristique de la zone d'étude

Pour les conditions physiques, la zone présente une pédologie plus riche pour l'écorégion Ouest par l'abondance des types de sols. Puis, les deux écorégions ne manquent pas de réseaux hydrographiques par la présence de cours d'eau, de fleuves et de lacs. Quant au climat, il est de type tropical humide pour l'écorégion Est et tropical sec pour celle de l'Ouest. Ainsi, la flore de l'écorégion Est est caractérisée par des espèces des zones humide seulement alors que pour l'écorégion sèche de l'Ouest, des forêts dense sèches s'y rencontrent. 70 à 80 % de la population sont des ruraux (tableau 1)



Carte 1 : Zone d'étude

Tableau 1 : Caractéristiques de la zone d'étude

Facteurs	Ecorégion Est	Ecorégion Ouest
Climat	- Type tropical chaud et humide avec 7 à 8 mois de saison pluvieuse et 5 à 6 mois de saison sèche. - Précipitation moyenne annuelle : 1046 mm à 3677 mm - Température moyenne annuelle : 20,87°C à 23,7°C - Vent dominé par l'alizé et contrebalancé par une mousson qui souffle du Nord vers le Sud	- Type tropical chaud et sec avec 3 à 5 mois de saison chaude et pluvieuse et 7 à 9 mois de saisons sèches - Précipitation moyenne annuelle : 1000mm à 1500mm - Température moyenne annuelle : 22 °C à 25 °C - Vent modéré dominé par la mousson et l'alizé
Pédologie	- Sol de type ferrallitique de couleur rouge et jaune sur rouge. - Sol hydromorphe moyennement organique et hydromorphe tourbeux - Sol d'apport fluvial : « <i>Baiboho</i> » tout au long de la côte et en bordure des cours d'eau.	- Sol limoneux ou sablo-limoneux sur les plaines côtières - Sols hydromorphes - Sol latéritique rouge à la périphérie de Tampoketsa - Sol de colluvions sur le bas de la pente - <i>Baiboho</i> - Sol ferrallitique : soit de type brun jaune développé soit du type ferrallitique brun rouge formé à partir des glaciis

Hydrographie (Annexe 1)	- Ecorégion riche en divers fleuves et cours d'eaux - Ecorégion dotée d'un réseau lacustre très important	- Ecorégion largement drainée par un réseau hydrographique particulièrement dense
Flore et végétation	- Forêt humide : série de MYRISTICACEAE, <i>Anthostema</i>, et de la série à <i>Weinmannia</i> et <i>Tambourissa</i> - Forêt humide dégradée : <i>Harungana madagascariensis</i>, <i>Ravenala madagascariensis</i>, <i>Trema orientalis</i>, <i>Dombeya</i> spp, etc., et des espèces introduites dont <i>Solanum</i> spp.	- Forêt subhumide de l'Ouest : <i>Givotia madagascariensis</i>, <i>Colvillea racemosa</i> <i>Terminalia</i> spp., <i>Gyrocarpus americanus</i>, <i>Diospyros</i> spp., <i>Cordyla madagascariensis</i> - Forêt sèche de l'Ouest : série de <i>Dalbergia</i>, <i>Commiphora</i> et <i>Hildegardia</i>.
Démographie	- 4,4 individus/ménage (CREAM, 2013) - 81,4% à 83,7% de population rurale (CREAM, 2013)	- 4,9 à 5,4 individus/ménage (CREAM, 2013) - 77,3% à 88,3% de population rurale (CREAM, 2013)
Activités économiques	- Dominance du secteur agricole pour les populations actives (73,7 à 84,9% % des hommes et 69,6 à 90% des femmes) suivie de l'activité de vente	- Dominance du secteur agricole pour les populations actives (87,2 % à 89,5 % des hommes et 80 à 89,8% des femmes) suivie de l'activité de vente

Source : CREAM, 2013

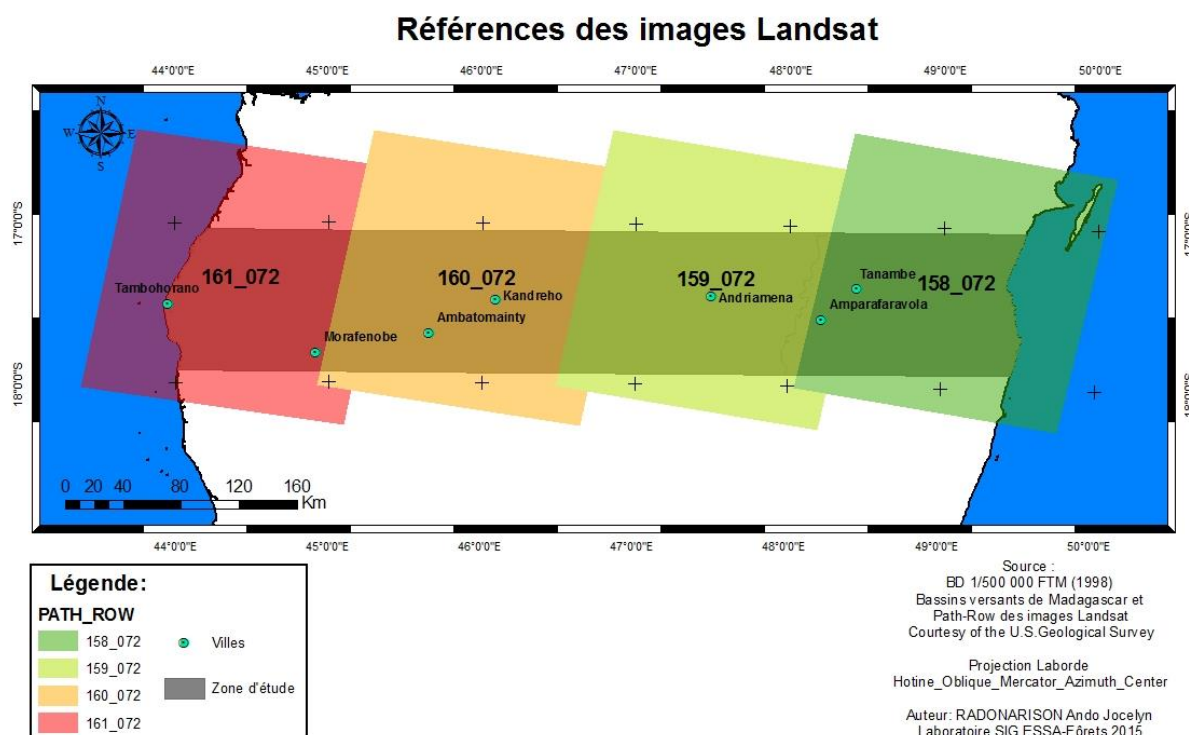
1.2 Données satellitaires

1.2.1 Images satellitaires

Le suivi de la dynamique de paysage a été réalisé à partir d'images issues du satellite à haute résolution spatiale *Landsat*. Pour mener à bien cette étude, le travail se base sur des images issues de 2 capteurs de série *Landsat TM (Thematic Mapper)* pour les années 1994 - 2004 et *ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)* pour les images 2014 dont les caractéristiques sont résumés dans le tableau 2. L'utilisation de ces images présente l'avantage d'être disponible gratuitement sur internet (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). De plus, la résolution spatiale de 30m de ces images permet de caractériser des éléments paysagers au sol de 900m² de superficie (Oszwald *et al.*, 2010). Ceci est suffisant pour cartographier l'occupation du sol de la zone d'étude afin d'extraire les informations d'analyse de la dynamique et des structures paysagères. Les images utilisées ont été au nombre de 12 scènes, les images ont été acquises pendant la saison sèche en générale (tableau 2). L'utilisation d'images acquises pendant la saison sèche permet également d'avoir des images dont la nébulosité est fortement réduite et de limiter ainsi les biais atmosphériques. (Hountondji, 2008 ; Oszwald *et al.*, 2010)

Tableau 2. Caractéristiques des images satellitaires utilisées

Satellite	Type de capteur	Bande spectrale (µm)	Résolution spectrale (mètre)	Path_Row	Date d'Acquisition
Landsat 5	TM	0.45-0.52 (Bleu)	30	158-072	08 Avril 1994
		0.52-0.60 (Vert)	30	159-072	25 Septembre 1994
		0.63-0.69 (Rouge)	30		
		0.76-0.90 (PIR)	30	160-072	15 Aout 1994
		1.55-1.75 (MIR)	30	161-072	07 Septembre 1994
		10.40-12.50 (IRT)	120	161-072	1 Aout 2004
		2.08-2.35 (IRM)	30	160-072	1 Aout 2004
				159-072	09 Octobre 2005
Landsat 8	OLI	0,433-0,453 (Aérosols)	30	158-072	24 Aout 2014
		0,450 - 0,515(Bleu)	30	159-072	12 Aout 2013
		0,525 - 0,600(Vert)	30		
		0,630 - 0,680 (Rouge)	30	160-072	03 juin 2014
		0,845 - 0,885 (PIR)	30	161-072	14 Septembre 2014
		1,560 - 1,660 (MIR1)	30		
		2,100 - 2,300 (MIR2)	30		
		0,500-0,680(PANCHRO)	15		
		1,360 - 1,390 (Cirrus)	30		
		10,30 - 11,30 (IRT)	100		
		11,50 - 12,50 (IRT2)	100		



Carte 2 : Références des images LANDSAT utilisées

1.2.2 Modèle numérique de terrain

Un DEM est une représentation numérique de la surface terrestre, de la topographie mais aussi connu comme outil d'analyse numérique de terrain ou de géomorphométrie (Evans et Minár, 2011). Les données du DEM ont été obtenues à partir du radar de navette comme le SRTM et les ASTER. Actuellement les communautés scientifiques ont vu un grand nombre d'application de SRTM DEM pour diverses applications (Yang *et al.*, 2011). Les modèles numériques de terrain sont nécessaires et parfois indispensables aux diverses applications thématiques (environnement, cartographie géologique, aménagement.)

Pour cette présente étude, les données SRTM version 4.1 ont été téléchargées sur le site du CGIAR-CSI (*Consortium of International Agricultural Research Centers – Consortium for Spatial Information*). Les données d'origine proviennent de l'USGS/NASA. Elles ont été traitées par les CGIAR-CSI pour fournir une topographie homogène et continue. 2 dalles de 6000 x 6000 pixels ont été téléchargées pour couvrir la zone d'étude que sont respectivement : SRTM_45_16 et SRTM_46_16. Ces 2 images sont assemblées en choisissant comme masque d'analyse les contours de la zone d'étude dans le logiciel Arc gis 9.3.

La classification d'altitude a été faite en tenant compte de la classification de Puy et Moat en 1996 et Faramalala 1995 (in Goodman 2008).

1.2.3 Bases de données sur le bassin versant de Madagascar

Les données sur les bassins versants ont été utilisées pour extraire les écorégions et pour délimiter la zone d'étude. Elles contiennent toutes les écorégions de Madagascar qui ont été dissociées pour obtenir l'écorégion Est et Ouest. Ces données ont été ensuite coupées par une couche de vecteur (*shapefile*) de 100 km de largeur et 687 km de longueur pour constituer la zone d'étude.

Ce matériel est issu des études menées par l'équipe de Lucienne Wilmé en 2006 lors de leur travail de recherche dans le domaine des centres d'endémisme des lémurien à Madagascar.

1.3 Prétraitement des images

1.3.1 Calibration radiométrique

Cette technique a été appliquée sur les images pour réaffecter à chaque pixel une valeur radiométrique la plus proche possible de celle mesurée sur terrain. Cet ajustement se fait à l'aide de métadonnées livrées avec les images dans ENVI 4.7 par l'utilisation des modules *Landsat calibration*.

La calibration radiométrique sur chaque image se fait dans le but de rectifier les erreurs de dérayage découlant du capteur afin d'augmenter la lisibilité des images et de faciliter leur interprétation. Ces anomalies peuvent être dues aux vieillissements des capteurs, aux dérèglements ou aux défauts.

La valeur de radiance est mise en échelle de valeur de 8 bits représentant les numéros numériques calibrés (Qcal) avant de sortir le capteur.

L'équation suivante est utilisée pour effectuer la conversion de cette Qcal en radiance.

$$L = L_{min} + \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{calmax}} \right) Q_{cal}$$

Avec L : Radiance spectrale en W/ (m².sr. μ m)

Qcal : Valeur quantifiée calibré en *Digital number* (DN)

Qcalmax : Pixel maximal calibre DN=255 correspond à L max

Qcalmin : Pixel minimal calibre DN=0 correspond à L min

1.3.2 Correction atmosphérique

Les corrections atmosphériques sur les images permettent d'extraire au signal des informations indépendantes des effets de l'atmosphère et concernant uniquement la surface de la terre.

Elles visent donc à extraire toutes les modifications des signaux lumineux qui traversent 2 fois l'atmosphère terrestre mais aussi il interagit avec les oxygènes, l'ozone, la vapeur d'eau et les aérosols (poussières, pollens). Il est à noter aussi que la contribution de l'atmosphère dans la valeur radiométrique d'un pixel peut ainsi dépasser de 50% dans certaines longueurs d'ondes comme le bleu par exemples.

Beaucoup de recherches ont été menées au cours des 30 dernières années pour la correction atmosphérique des données *Landsat TM* et des autres données spectrales. Il existe donc des modèles tels que le 6S (Seconde Simulation du Signal Satellitaire dans le spectre solaire), MODTRAN, DOS (*Dark Object Subtraction*). Cependant, pour cette présente étude les modèles à base d'images DOS dans le logiciel ENVI 4.7 ont été appliqués parce qu'ils dépendent uniquement des images intrinsèques. Le modèle DOS est un modèle approximatif qui consiste à soustraire, pour chaque bande, la valeur minimale rencontrée dans telle bande de la valeur de chaque pixel (Benvenuti, 1996 in Ratovoson, 2011).

1.3.3 Mosaïque des images

Dans cette étape se déroule l'assemblage des images par la fonction *Mosaicking* du logiciel ENVI4.7. Pour le cas du versant Ouest, 3 images sont assemblées pour couvrir la totalité de la zone à étudier. Ce sont les scènes 159_072, 160_072 et 161_072. Par contre pour le versant Est, 2 images sont assemblées 158_072 et 159_072 pour couvrir la zone. Afin d'obtenir la zone d'étude, une extraction des images en utilisant de fichier vecteur a été effectuée.

1.4 Cartographie de l'occupation du sol

1.4.1 Classification semi-supervisée

Le type de classification appliquée pour obtenir les cartes d'occupation de sol est la classification semi-supervisée (Carone et Simoniello, 2006).

Il s'agit de la combinaison de deux types de classification empirique qui sont la classification supervisée et non-supervisée.

Dans un premier temps, une classification non-supervisée *ISODATA* a été appliquée sur les images prétraitées. Ce type de classification détermine automatiquement les classes à partir du regroupement des pixels sur base de signatures spectrales similaires. Les résultats obtenus ont été suivi d'identification des zones d'interventions et d'interprétation visuelles. En termes de télédétection, une zone d'entraînement est un ensemble de pixels présentant une certaine homogénéité spectrale (visible sur la composition colorée de l'image satellite), qui peut être reliée à une certaine classe thématique (Catherine, 2012). Ensuite, la méthode supervisée avec l'algorithme « *Maximum likelihood* » (Mahamane *et al.*, 2007) a été utilisée pour affiner les résultats de la classification précédente et pour produire des fichiers matriciels classifiés.

1.5 Evaluation de la précision des classifications

La précision de la classification a été estimée par le biais des matrices de confusion. Ainsi pour chaque classification, les variables suivantes ont été appréciées pour la précision globale et l'indice de kappa (Abd El-Kawy *et al.*, 2011)

Afin d'assurer la précision de la classification, les résultats obtenus ont été évalués à l'aide, de la matrice de confusion pour les 2 écorégions.

1.5.1 Matrice de confusion

La matrice de confusion est un bon critère d'évaluation de la qualité d'une classification (Radja, 2008). C'est une matrice carrée établie entre l'image issue de la classification et la vérité de terrain. Cette matrice de confusion a permis d'évaluer les précisions (Mama, 2013) des classifications supervisées assistées par le *Maximum de vraisemblance*.

Mais en raison de la grandeur de la zone à étudier et l'indisponibilité de tous les points de référence sur les zones étudiées, les images satellites de très haute résolution de *Google Earth* ont été utilisées.

Dans la matrice de confusion, les lignes contiennent les informations sur les classes thématiques issues de la procédure de classification et les colonnes, les classes thématiques associées aux points de contrôle. Les cellules de la matrice contiennent un nombre de pixels ou d'unités géographiques élémentaires (Tableau 3).

Tableau 3 : Technique d'élaboration d'une matrice de confusion

		Points de contrôle				Total	Erreur de commission
		Classe 1	Classe 2	...	Classe i		
Classification	Classe 1	$x_{11}(Cl_1 \rightarrow Cl_1)$	$x_{12}(Cl_1 \rightarrow Cl_2)$		$x_{1i}(Cl_1 \rightarrow Cl_i)$	$\sum x_{1+}$	
	Classe 2	$x_{21}(Cl_2 \rightarrow Cl_1)$	$x_{22}(Cl_2 \rightarrow Cl_2)$		$x_{2i}(Cl_2 \rightarrow Cl_i)$	$\sum x_{2+}$	
	...						
	Classe i	$x_{i1}(Cl_i \rightarrow Cl_1)$	$x_{i2}(Cl_i \rightarrow Cl_2)$	...	$x_{ii}(Cl_i \rightarrow Cl_i)$	$\sum x_{i+}$	
Total		$\sum x_{+1}$	$\sum x_{+2}$	...	$\sum x_{+i}$	$\sum x_{ii}$	
Erreur d'omission							

La somme des éléments de la diagonale représente le nombre total de pixels correctement classés. Le rapport de ce nombre et du nombre total de pixels de la matrice donne la « précision globale » de la classification (Benhadj, 2008). Les erreurs de classification sont de deux types : omission et commission. Les erreurs d'omission surviennent chaque fois qu'un pixel qui aurait dû être affecté à une classe n'a pas été reconnu. Les erreurs de commission apparaissent quand les pixels associés à une classe sont incorrectement identifiés.

1.5.2 Evaluation de la classification par l'indice de kappa

Cet indice proposé par Cohen en 1960 a été utilisé pour évaluer la précision globale de la classification à partir de la confrontation des résultats de la classification et les données de référence (Radja 2008).

Il exprime la réduction proportionnelle de l'erreur obtenue par une classification, comparée à l'erreur obtenue par une classification complètement au hasard.

Cet indice est obtenu à partir des valeurs fournies par la matrice de confusion et donné par la formule proposée par (Congalton et Mead, 1983 ; Congalton, 1991)

Equation 1. Indice Kappa (Congalton, 1991)

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

Équation 1 : Indice de Kappa

Source : (Congalton, 1991)

Avec r : Nombre de lignes dans la matrice de confusion

x_{ii} : Nombre d'observations sur la ligne i et la colonne i

x_{i+} et x_{+i} : Totaux marginaux de la ligne i et de la colonne i respectivement

N : Nombre d'observations total

L'écriture de cet indice peut être simplifiée de la manière suivante (Cf. Equation 4).

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Équation 2 : Indice de kappa simplifié

Source : (Campbell, 2002)

Avec P_o : Pourcentage réel obtenu de la classification des éléments de l'occupation du sol

P_c : Estimation de la probabilité d'obtenir une classification correcte

Les techniques mises en concordance ici concernent d'une part, la classification des images et d'autre part, les points de contrôle sur les images de référence. Les variables sont définies par les catégories d'occupation du sol observées.

Tableau 4 : Interprétation de la valeur de l'indice de Kappa

K	Niveau d'agreement
< 0,4	Modéré
0,4-0,75	Bon
>0,75	Excellent

Source : (Landis et Koch, 1977)

De plus, une étude portant sur l'occupation des terres peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50% et 75% (Pontius, 2000)

1.6 Analyse de la dynamique de l'occupation du sol

L'étude de l'évolution de l'unité de paysage est fondée sur 3 cas qui sont la modification, la conversion et le changement du paysage. La matrice de transition a été utilisée pour connaître cette dynamique.

1.6.1 Matrice de transition

La matrice de transition est une méthode permettant de décrire de manière condensée, sous forme de matrice carrée, les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée (Bell, 1974 ; Turner, 1988 ; Schlaepfer, 2002 in Bamba, 2010). Les changements d'occupation se font de la ligne i vers la colonne j .

La matrice de transition a été élaborée à l'aide du module *CrossTab* du logiciel IDRISI qui évalue le nombre de pixels ayant été transférés entre les catégories d'occupation du sol durant les deux dates.

Tableau 5 : Aperçu d'une matrice de transition

	T ₂				Total
T ₁	Classe 1	Classe 2	...	Classe i	
Classe 1	P _{1,1}	P _{1,2}	...	P _{1,i}	P _{1,1} + ... + P _{1,i}
Classe 2	P _{2,1}	P _{2,2}	...	P _{2,i}	P _{1,2} + ... + P _{2,i}
...	...	...	...	...	...
Classe i	P _{i,1}	P _{i,2}	...	P _{i,i}	P _{i,1} + ... + P _{i,i}
Total	P _{1,1} + ... + P _{i,1}	P _{1,2} + ... + P _{i,2}	...	P _{1,i} + ... + P _{i,i}	

P = proportion ou fréquence de conversion de i vers j

P_{i,j} = Classe d'occupation du sol au temps T₁ convertie en une classe j au temps T₂

1.6.2 Taux de changement net

Ce taux est calculé sur l'ensemble du paysage pour quantifier l'occupation du sol en considérant la formule utilisée par la FAO en 1996.

$$T = S2 - S1$$

Équation 3 : Taux de changement net entre deux classes

Source : (Taibou et Dieynaba, 2012)

Ou

T= taux,

S1 = superficie année 1

S2= superficie année 2

1.6.3 Indice des structures spatiales

L'analyse de la structure du paysage considère toute série de métrique issue de l'écologie de paysage. Plusieurs indices ont été proposés pour analyser la structure spatiale des paysage (Bogaert *et al.*, 2008 ; Bamba, 2010) Pour cette étude, les indices qui montrent la fragmentation du paysage et l'effet anthropique ont été utilisés. Ces métriques sont calculées sur le logiciel *Patch analyst* 5.0

Tableau 6 : Liste des indices des structures spatiales

Indice	Algorithme	Description
Nombre de taches (NP- Number of patches)	$NP = n_i$	Nombre de taches au niveau des classes
Indice moyen de forme (MSI – Mean Shape Index)	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{P_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}} \right)}{n_i}$	Estimation de l'indice moyenne de forme d'une tache par hectare
Dimension fractale (MPFD – Mean Patch Fractal Dimension)	$MPFD = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{2 \ln P_{ij}}{\ln a_{ij}} \right)}{n_i}$ $1 \leq MPFD \leq 2$	Estimation de l'indice fractale moyen des taches pour montrer l'effet anthropique
Densité de la Bordure (ED- Edge Density)	$ED = \frac{\sum_{j=1}^n e_{ik}}{A} (10000)$ $ED \geq 0, \text{ sans limite}$	Somme de contours des taches correspondant à une classe par hectare

1.6.4 Taux annuel de déforestation

Dans le cadre de la présente étude, le taux de déforestation est obtenu par la simplification de la formule proposée par Barima en 2009 et Bogaert *et al.*, en 2011.

$$T = \left(1 - \left(\frac{Sf}{Si}\right)^{\frac{1}{(Tf-Ti)}}\right) \times 100$$

Équation 4 : Taux annuel de déforestation

Source : (Barima, 2009)

Ou T= taux de déforestation annuel

Sf : Surface finale

Si : Surface initiale

1.7 Les limites de l'étude

L'étude est limitée par l'indisponibilité des images *Landsat* choisies, certaines images des années de référence correspondent aux saisons voulues ne sont pas disponibles. Pour cela, ces images ont été abandonnées et remplacées par d'autres images rapprochant, de même saison ou des années rapprochées du référentiel temporel. Quant à la scène des images, seules les images des saisons sèches sont prises pour les trois dates de l'étude. Celles de la saison humide ont été abandonnées à cause d'une forte nébulosité d'une grande partie de la zone étudiée pendant la période des pluies empêchant l'identification des éléments au-dessous de ces zones. Malgré cela, il existe encore quelque zone nuageuse dans la zone étudiée pour les scènes d'images prises pendant la saison sèche. Ainsi, ces zones nuageuses ne sont pas considérées dans cette étude.

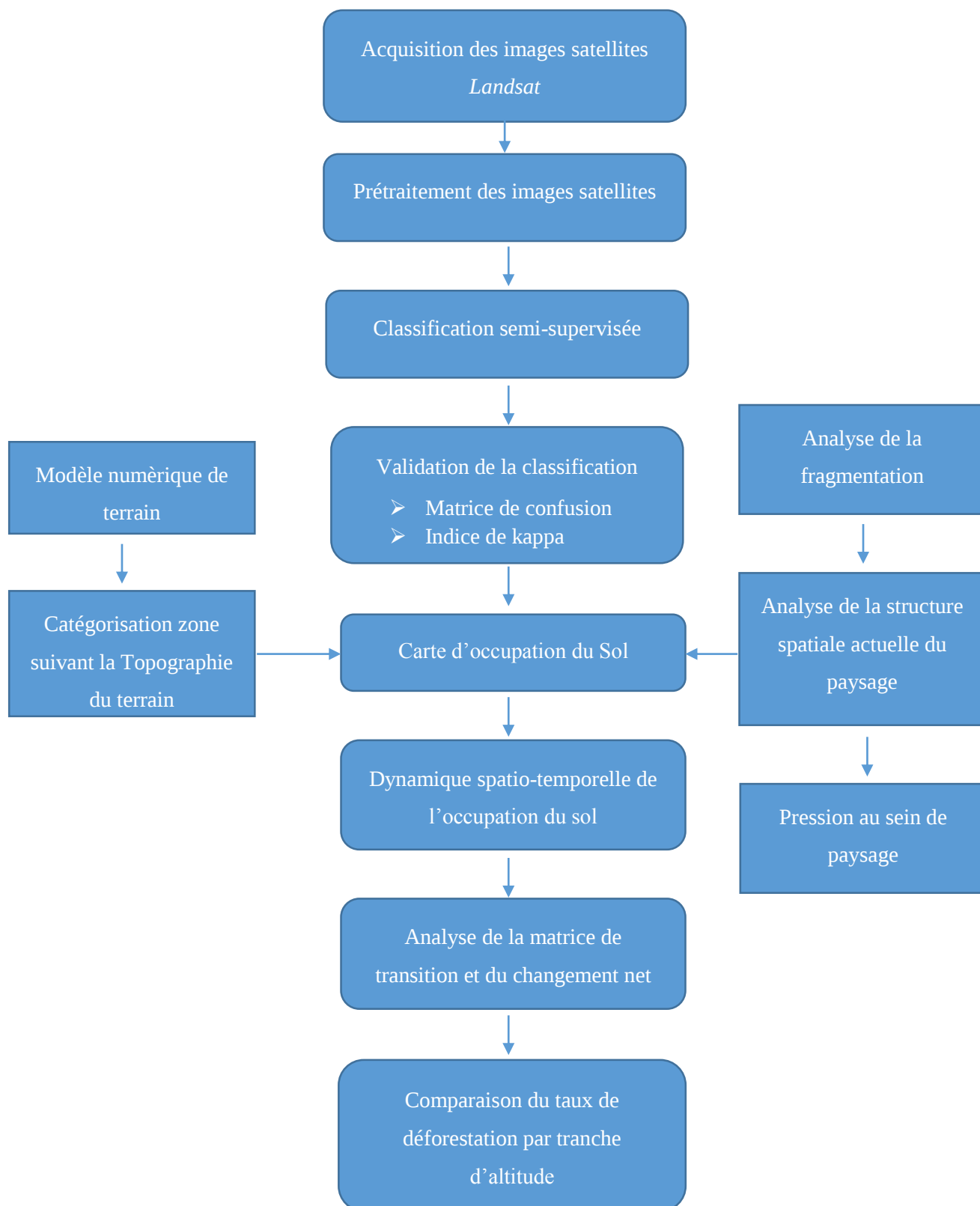
L'absence des investigations sur terrain constitue aussi une limite méthodologique de l'évaluation de la carte. Cependant, l'utilisation des images à très haute résolution de *Google Earth* permet de remédier largement à cause de sa qualité élevée en termes de visibilité.

1.8Cadre opératoire de recherche

Tableau 7 : Cadre opératoire de la recherche

Problématique	Hypothèse	Indicateur	Méthodologie
Comment le facteur bioécologique influe-t-il les paysages forestiers à l'échelle éco-régionale ?	<i>La dynamique spatio-temporelle du paysage forestier se différencie suivant l'écorégion</i>	Réduction de la couverture forestière donnée par la transition des classes d'occupation du sol en une autre classe à l'échelle éco régionale	- Analyse spatiale - Elaboration des matrices de transition entre 1994-2004, 2004-2014 et 1994 -2014 dans Idrisi selva - Analyse du changement net de l'occupation du sol
	<i>Les modes d'utilisation des terres sont fortement influencés par le gradient d'altitude du terrain.</i>	Taux de change de couverture forestière par tranche d'altitude	- Modélisation topographique du terrain - Détermination de la superficie forestière sur les trois dates (1994, 2004 et 2014) suivant le gradient d'altitude - Comparer le taux de déforestation par tranche d'altitude
		Indice de structure spatiale actuel	- Calcul de l'indice de structure spatiale par <i>Patch analyst</i> 5.0 (Nombre de tache, densité de bord, dimension fractale, indice moyen de forme) - Analyse de la structure spatiale actuelle du paysage

1.9 Synthèse méthodologique



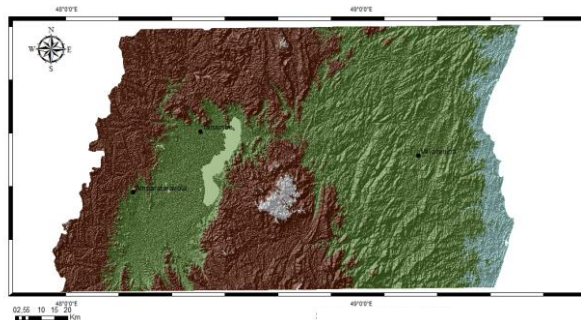
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

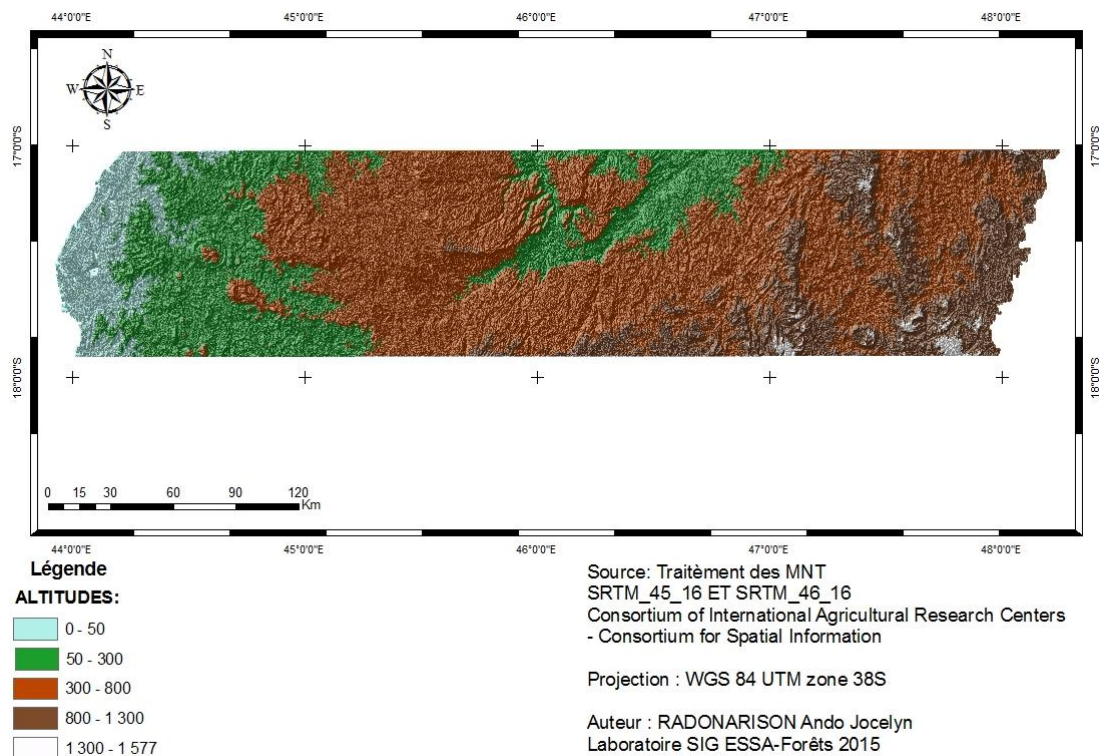
3.1 Caractéristiques des deux écorégions

3.1.1 Altitudes

L'altitude des deux écorégions constitue un facteur important de la dynamique du paysage. A la suite de l'extraction de l'altitude, 4 zones ont pu être classifiées pour l'écorégion Est (Carte 3) tandis que l'écorégion Ouest est divisée en 5 zones. (Carte 5)



Carte 3 : Tranche d'altitude écorégion Est



Carte 4 : Tranche d'altitude écorégion Ouest

Tableau 8 : Proportion tranche d'altitude

Altitude (m)	Pourcentage superficie (%)	
	Ecorégion Est (m)	Ecorégion Ouest (m)
0-50	5.55	6.41
50-300	53.12	24.58
300-800		51.99
800 – 1300	40.25	16.13
1300-1600	1.08	0.9

Il est constaté que les zones de basse et moyenne altitude dominent les écorégions Est (50-800 m et 800-1300) et Ouest (50-300 et 300-800m) (Tableau 8) tandis que la zone de haute altitude et zone montagneuse ont une faible proportion. Toutefois, en faisant une comparaison entre les deux écorégions, il est nettement clair que l'écorégion Est est plus élevée avec plus de 40,25% de la zone ayant une altitude entre 800 et 1300m par rapport à l'écorégion Ouest qui ne dispose que de 16,13% de zone ayant une altitude entre 800 et 1300m.

3.2 Evolution spatio-temporelle de l'occupation du sol.

3.2.1 Différents types de classes dans les deux écorégions

Dans l'analyse de l'évolution globale de l'occupation du sol, six (6) catégories de classe ont été retenues pour l'écorégion Est tandis que sept (7) classes ont été retenues pour l'écorégion Ouest.

3.2.1.1 *Forêt dense humide (FDH)*

La classe FDH correspond à l'information spectrale de couleur rouge foncée. Cela est particulièrement dû à l'absorption très intense de la bande proche infrarouge du spectre électromagnétique. La forêt dense humide comprenant les aires protégées et les corridors forestiers de l'Est constitue globalement cette classe. La classe de FDH présente une très forte activité photosynthétique.

3.2.1.2 *Forêt sèche (FDS)*

Cette classe FDS correspond à la couleur verte foncée due à la réflectance des feuilles des arbres. Avec la composition colorée des bandes 5, 4, 3. Cette classe a une réflectance avoisinant la couleur rouge foncée dans la zone occidentale. Cette classe est l'équivalente de forêt naturelle et de forêt sèche caducifoliée. Humbert et Cours Darne (1965) classifient ce type en tant que série à *Dalbergia-Commiphora-Hildegardia*.

3.2.1.3 *Formation secondaire (FS)*

La classe FS se distingue de la classe FDH par sa couleur rouge plus claire observée dans la bande infra-rouge. Cela concerne les formations végétales à faible recouvrement expliquées par une anthropisation

de la zone. Elle comprend les forêts en stade de dégradation comme les lisières ou en phase de reconstitution comme les *savoka*.

3.2.1.4 *Savane herbeuse (SAV)*

La classe SAV correspond aux espaces qui diffusent, une réflectance autre que le rouge, localisés essentiellement sur les reliefs accidentés du bassin. L'absence de couverture forestière est remplacée par une dominance de la formation graminéenne. Les troués dans les forêts naturelles sont parfois associés à cette classe à cause de la difficulté du discernement en raison de la taille des pixels. Cette classe regroupe par conséquent les prairies herbeuses et les jachères anciennes.

3.2.1.5 *Savane arborée (CSB)*

La classe CSB correspond à la végétation qui présente des activités photosynthétiques moyennes dans l'écorégion Ouest de la zone étudiée. Du fait de la ressemblance de leur signature spectacle, les plantations et les zones de culture ont été également classifiées dans cette classe.

3.2.1.6 *Mosaïque de culture (MOS)*

La classe de mosaïque de culture est caractérisée par une moyenne réflectance du proche infrarouge. Une autre caractéristique de cette classe réside dans la faible réflectance du rouge; cette partie du visible marque la présence de chlorophylle dans les différentes plantes.

3.2.1.7 *Sol nus (SLN)*

Cette classe regroupe les sols dénudés avec une très faible proportion de végétation voire nul au-dessus. Les tannes dans les mangroves appartiennent aussi à cette classe. L'activité photosynthétique ici est nulle et la couleur des pixels est très diversifiée qui peut être blanche, bleue-claire à bleue eau ou jaune clair avec la composition colorée de 4, 3, 2.

3.2.1.8 *Zone marécageuse (MAR)*

La classe MAR constitue les éléments entourant le lac qui émettent une couleur assombrie et avoisinant la réflectance de l'eau. La zone marécageuse est pourtant couverte en majeure partie par les Cypéracées reflétant une couleur dérivée du rouge à travers la bande infra-rouge des images LANDSAT.

3.2.1.9 *Rizière (RIZ)*

La classe RIZ comprend les zones dépourvues de végétation permanente, plus particulièrement. La zone qui se localise dans la région d'Alaoira Mangoro. Puisque l'observation s'est faite pendant la saison sèche, la majorité des rizières se présentent sous forme d'espace ouvert débarrassé d'entité à chlorophylle, elle vire au rouge sous la bande infra-rouge.

3.2.1.10 Plan d'eau (EAU)

Cette classe regroupe les plans d'eaux continentaux rencontrés sur l'image tels que les lacs, les fleuves et les différents affluents de cours d'eaux. L'activité photosynthétique ici est totalement nulle. La couleur de pixel est noire.

3.2.1.11 Les Mangroves (MANG)

La classe des Mangroves est rencontrée sur la zone côtière, principalement sur la côte Ouest de la zone d'études. Elle est caractérisée par la couleur verte foncée par la combinaison des bandes 5, 4, 3 (Landsat5,) et 6, 5, 4 (Landsat8)

3.2.2 Matrice de confusion

La matrice de confusion en 2014 révèle que la précision globale est de 80% pour l'écorégion Est (Tableau 9) et 73.93 % pour l'écorégion Ouest (Tableau 10). Ce qui affirme que la classification est bonne. Les faibles erreurs d'omission dans l'écorégion Est suggèrent que les classes des FDH et les classes des EAU (Tableau 9) sont les mieux classées c'est-à-dire les moins affectées par les autres classes. Les taux d'erreurs de classe de FDH et classe de l'EAU sont respectivement 10.34% et 13.33% pour l'erreur d'omission. Quant à l'écorégion Ouest la classe des Mangroves (MAG), elle est la mieux classée par rapport aux autres classes d'occupation du sol.

Tableau 9 : Indice d'évaluation de la précision des classifications d'images 2014 écorégion Est

Ecorégion								commission	Précision
Est	FDH	FDG	SAV	MAR	RIZ	EAU	Total	(%)	(%)
FDH	26	8	2	0	0	0	36	27.78	72.22
FDG	3	47	4	0	2	0	57	17.54	83.93
SAV	0	8	35	1	3	0	48	27.08	74.47
MAR	0	0	0	10	1	2	13	9.09	76.92
RIZ	0	0	2	0	21	0	23	8.70	91.30
EAU	0	0	0	2	0	13	15	13.33	86.67
Total	29	63	43	13	27	15	195		80
Omission									
%	10.34	25.4	22.21	23.08	22.22	13.33			
Précision globale : 80%									
Indice de Kappa : 0.73									

Tableau 10 : Indice d'évaluation de la précision des classifications d'images 2014 écorégion Ouest

Ecorégion ouest	EAU	FDS	CSB	MAG	MOS	SAV	SLN	Total	commissio n (%)	Précisio n (%)
EAU	23	-	-	1	-	-	3	27	14.81	85.19
FDS	-	26	2	-	4	-	2	34	23.53	76.47
CSB	-	9	44	-	7	15	2	77	42.86	57.14
MAG	3	-	-	22	-	-	1	26	15.38	84.62
MOS	1	4	-	-	18	2	-	25	28.00	72.00
SAV	-	5	12	-	-	101	13	132	21.21	78.79
SLN	2	-	2	-	-	4	24	32	25.00	75.00
Total	15	45	62	23	29	125	45	353		
omission (%)	46.67	42.22	29.03	4.35	37.9	19.20	46.67		261	
Précision globale : 73.93%										
Indice de Kappa : 0.67										

3.2.3 Indice de Kappa

La classification des images satellites de 2014 rééchantillonnée est correcte à 0.73 de l'écorégion Est (Tableau 9) et 0.67 pour l'image de l'écorégion Ouest. (Tableau 10). Cet indice signifie que 73% et 67% de la classification ne sont plus dû au hasard mais reflètent réellement les réalités d'occupation du sol sur terrain.

Ces résultats de la classification supervisée sont assez élevés pour la validation et conformément au résultat de l'étude de (Pontius, 2000)

3.3 **Etat de l'occupation du sol**

3.3.1 Etat des occupations du sol versant Est

L'état des occupations du sol est dominé par la classe des formations secondaires (FS) avec respectivement : 35.50% (1994), 40.97% (2004) 39.51% (2014) et savane (SAV) : 30.74% (1994), 27.04% (2004) et 27.89% (2014) durant toute la période de réalisation de l'étude. (Figure 1) Alors que la classe des FDH connaît une diminution au cours du temps : 22.70% (1994), 21.03% (2004) et 20.35% (2014). Quant à la classe des Rizières (RIZ), sa superficie atteint 6.59% (1994), 5.55% (2004) et 6.97 % (2014).

Les autres classes d'occupation du sol comme la classe des zones marécageuses (MAR), et eau (EAU) ne comprennent qu'une faible proportion. Elles ne couvrent que 2.52% (1994), 2.66% (2004) et 2.69% (2014) pour les classes de zones marécageuses. La classe des EAUX ne présente que : 1.95% (1994), 2,72% (2004) et 2,59% (2014). La répartition spatiale des classes d'occupation du sol pour ces 3 dates est donnée par la Carte 5,6 et 7.

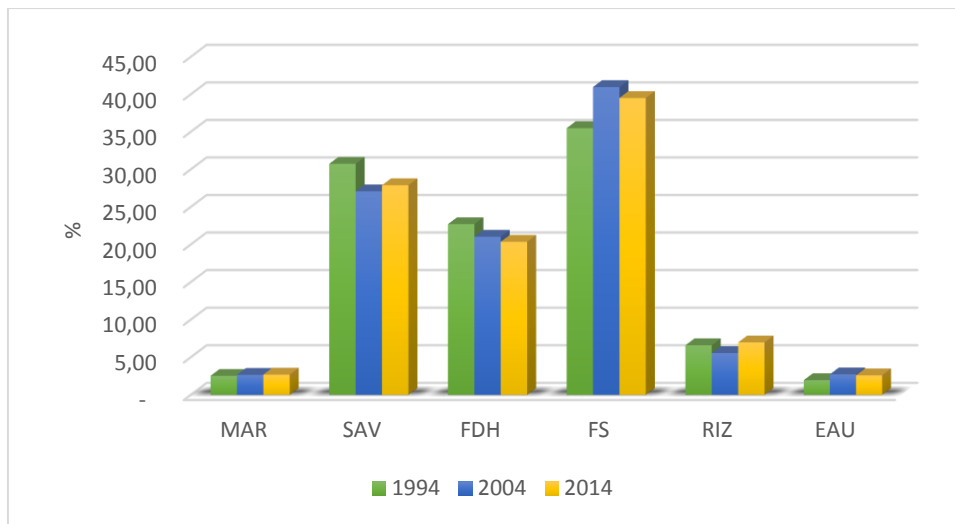


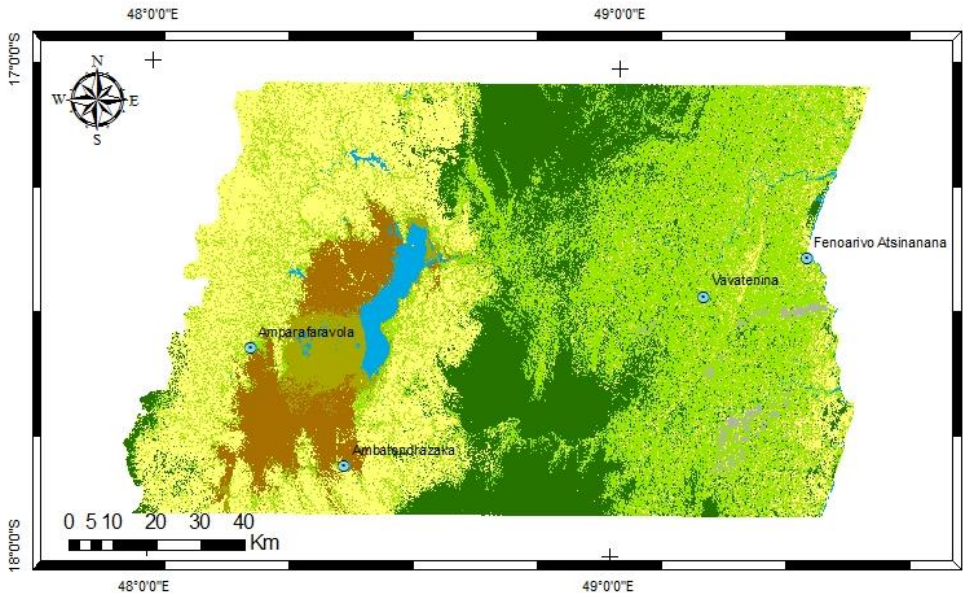
Figure 1 : Composition du paysage écorégion Est

La proportion et la surface de chaque occupation du sol de l'écorégion Est pour les années 1994, 2004 et 2014 sont données par le tableau 11.

Tableau 11 : Proportion des classes d'occupation du sol écorégion Est

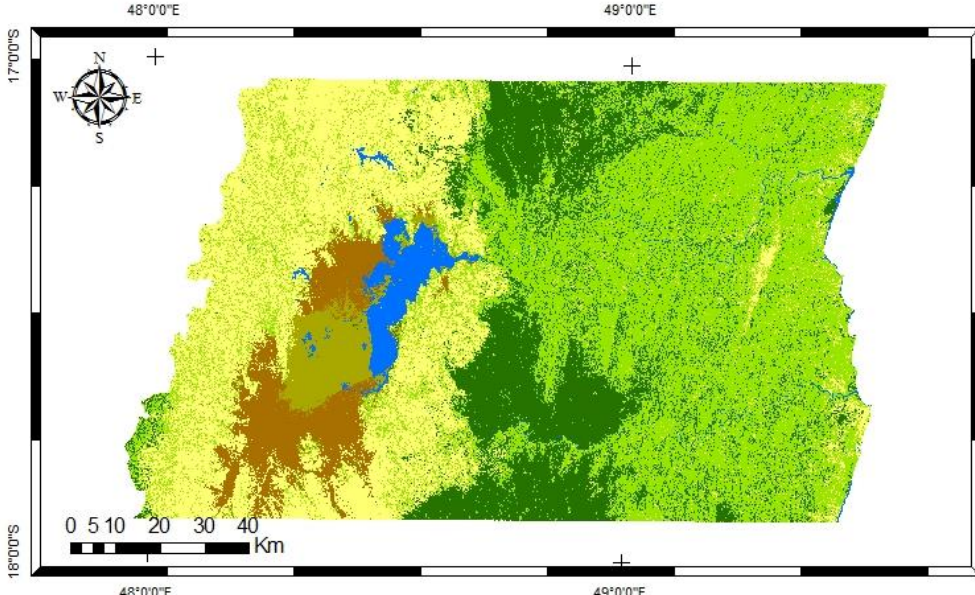
	1 994		2 004		2014	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
MAR	363.91	2.52	384.13	2.66	388.46	2.69
SAV	4 439.10	30.74	3 909.12	27.07	4 027.54	27.89
FDH	3 278.06	22.70	3 036.90	21.03	2 938.70	20.35
FS	5 126.48	35.50	5 916.39	40.97	5 705.56	39.51
RIZ	951.65	6.59	801.46	5.55	1 006.52	6.97
EAU	281.60	1.95	392.79	2.72	374.02	2.59
TOTAL	14 440.79	100	14 440.79	100	14 440.79	100

Occupation du sol Ecorégion Est 1994



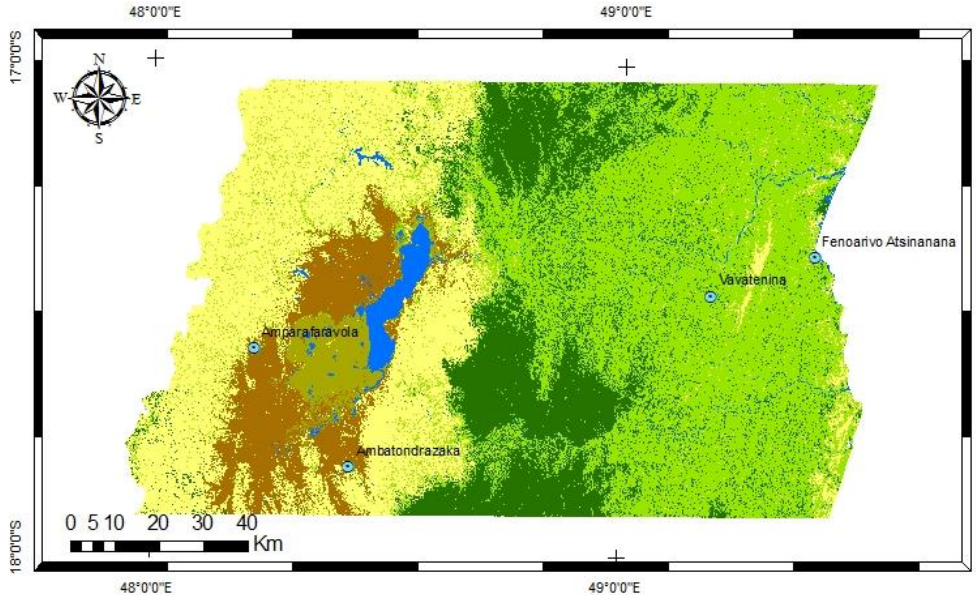
Carte 5 : Occupation du sol écorégion Est en 1994

Occupation du sol Ecorégion Est 2004



Carte 6 : Occupation du sol écorégion Est 2004

Occupation du sol Ecorégion Est 2014



Carte 7 : Occupation du sol écorégion Est 2014

Légende

- Villes
- Savane herbeuse
- Eau
- Forêt dense humide
- Formation secondaire
- Rizière
- Zone marécageuse
- Non classifié

Source :
BD 1/500 000 FTM (1998)
Classification des images *Landsat*

Projection WGS 84 UTM zone 39S

Auteur: RADONARISON Ando Jocelyn
Laboratoire SIG ESSA-Forêts 2015

3.3.2 *Etat des occupations du sol versant Ouest*

La composition de l'occupation est dominée par la classe savane (SAV) qui constitue plus que la moitié de toute occupation du sol pour les trois dates (Figure 2). Par contre, la classe forêt sèche (FDS) constitue : 10.38% (1994), 9.55% (2004) et 8.78% (2014) de la superficie totale de la zone étudiée. Quant à la classe de savane arborée sa superficie représente : 14.91% (1994), 17.56% (2004) et 21.91 % (2014) de la zone étudiée. Le sol nu de la zone présentée par la classe SLN couvre 7.37% (1994), 7.32% (2004) et 8.21% (2014) de l'espace.

Par contre, la proportion de la classe de Mangroves (MAG) est assez faible dans le paysage 0.35% (1994), 0.23 % (2004) et 0.28 % (2014). Le plan d'eau ne comprend qu'une proportion 1.38% (1994), 1.52 % (2004) et 1.51% (2014) de l'écorégion Ouest. La mosaïque de culture montre aussi une quantité minimale au sein du paysage avec 1.39% (1994), 1.96 % (2004) et 1.81 % (2014).

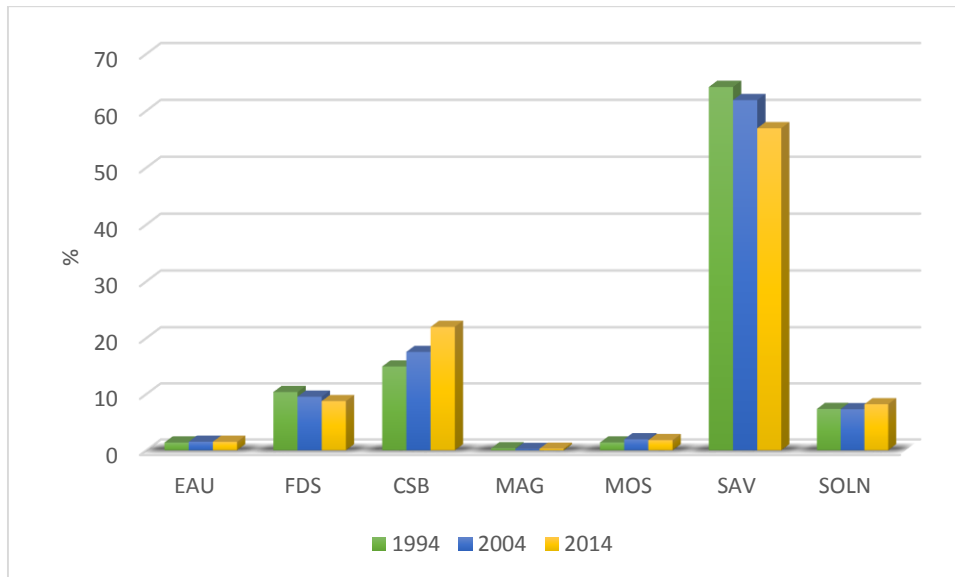


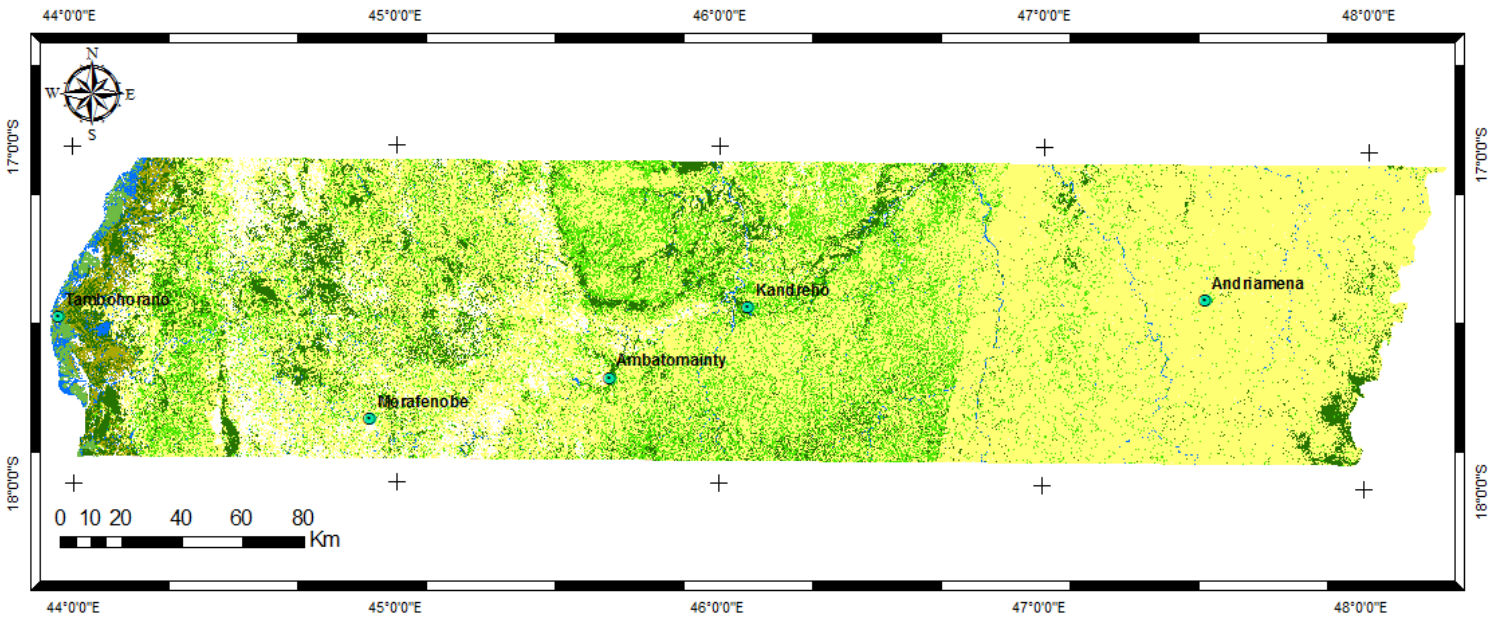
Figure 2 : Composition du paysage écorégion Ouest

La proportion de chaque classe d'occupation du sol dans l'écorégion Ouest de la zone étudiée pour les années 1994, 2004 et 2014 est fournie par le tableau 11. Le pourcentage de non-classé (NC) est assez faible en 2014. Cette classe est due principalement à la présence des couvertures nuageuses et des ombres sur les images utilisées à cette époque.

Tableau 12 : Proportion des classes d'occupation du sol écorégion

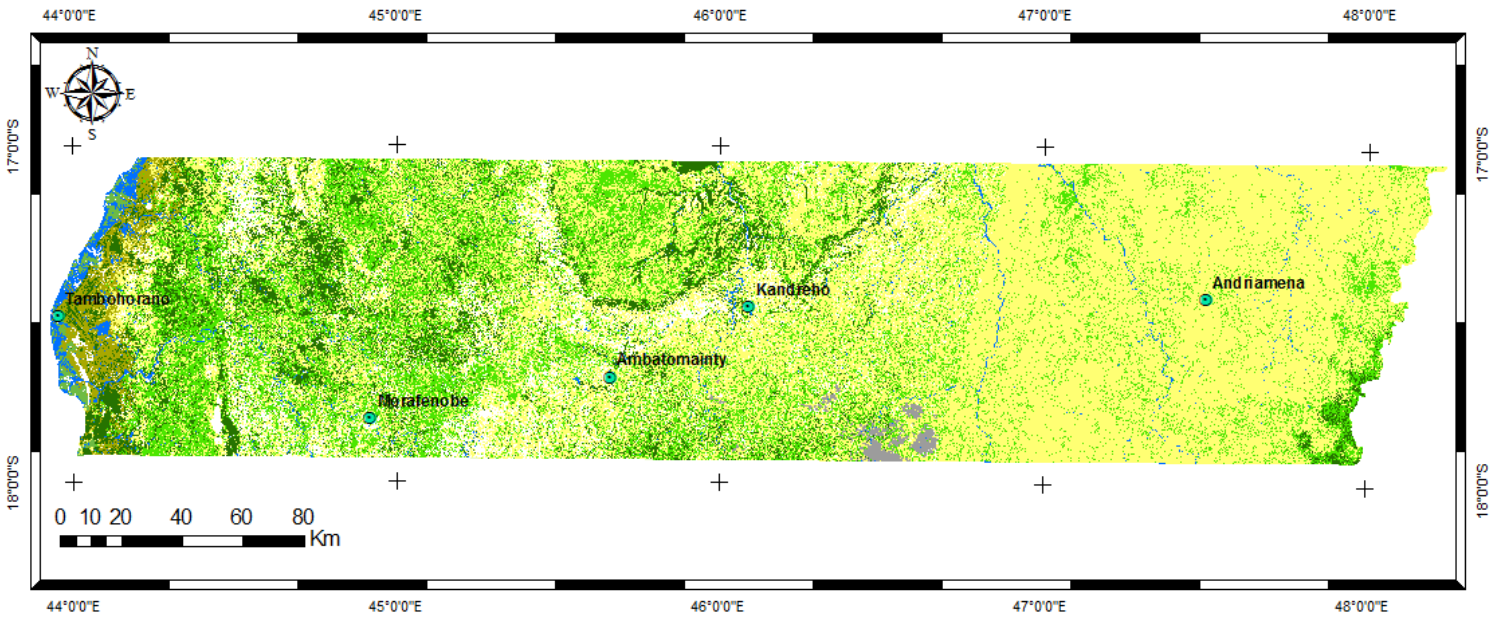
	1 994		2 004		2014	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
EAU	569.79	1.38	627.59	1.52	623.46	1.51
FDS	4 285.78	10.38	3 943.08	9.55	3 616.90	8.76
AUF	6 164.42	14.93	7 237.93	17.53	9 079.41	21.99
MAG	144.51	0.35	94.96	0.23	115.61	0.28
MOS	573.91	1.39	809.26	1.96	747.33	1.81
SAV	26 507.42	64.20	25 553.65	61.89	23 509.85	56.94
SLN	3 042.99	7.37	3 022.34	7.32	3 389.81	8.21
NC					206.44	0.50
Total	41 288.82	100	41 288.82	100	41 288.82	100

Occupation du sol Ecorégion Ouest 1994



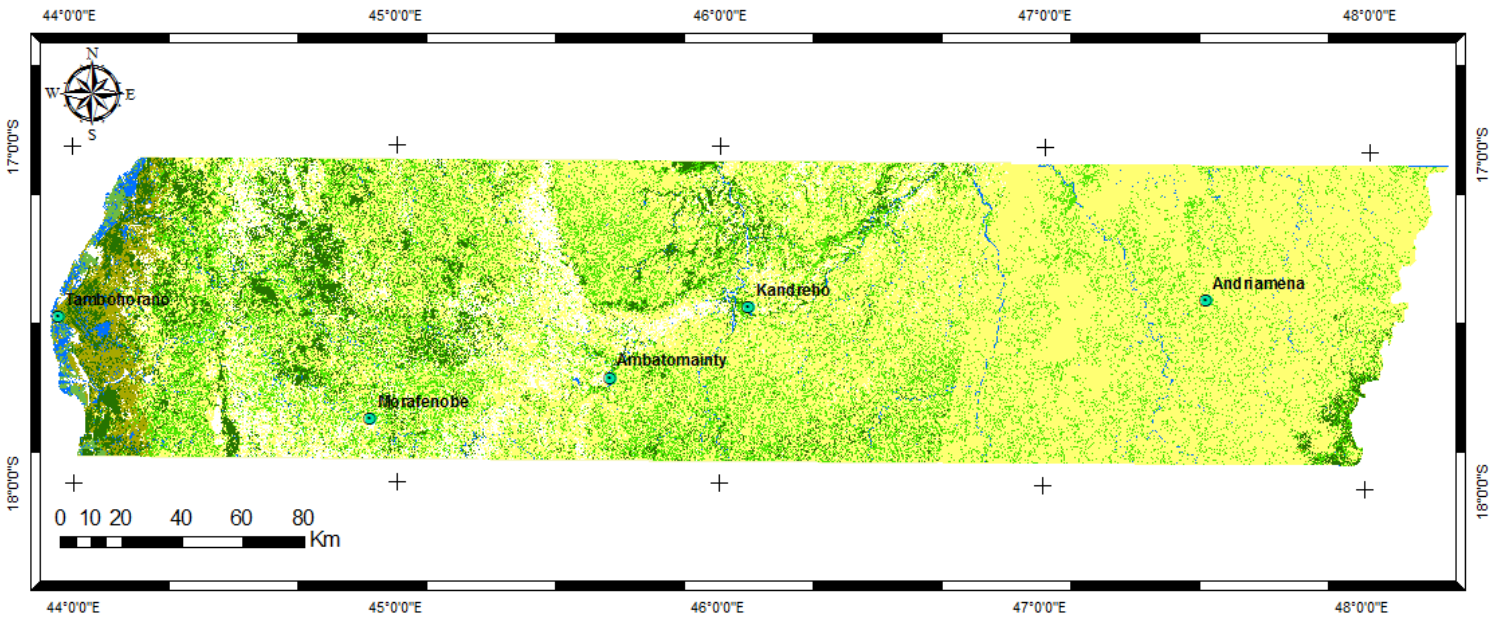
Carte 8 : Occupation du sol écorégion Ouest 1994

Occupation du sol Ecorégion Ouest 2014



Carte 9 : Occupation du sol écorégion Ouest 2014

Occupation du sol Ecorégion Ouest 2004



Carte 10 : Occupation du sol écorégion Ouest 2004

Légende:

Villes	Mangrove
Eau	Mosaïque de culture
Forêt sèche	Savane herbeuse
Savane arborée	
Sol nu	

Source :
BD 1/500 000 FTM (1998)
Classification des images *Landsat*

Projection WGS 84 UTM zone 38S

Auteur: RADONARISON Ando Jocelyn
Laboratoire SIG ESSA-Forêts 2015

3.3.3 Dynamique de la composition du paysage Ecorégion Ouest

Le tableau 13 donne les pourcentages de changement opérés entre les différentes classes d'occupation du sol entre 1994, 2004 et 2014. Chaque valeur du tableau correspond à une fraction du paysage convertie, entre 2 dates de la classe indiquée sur la ligne vers la classe en tête de colonne. Les valeurs en gras (diagonale) indiquent les permanences des classes.

En 2014, 6.49 % des 10.38 % de la surface occupée par des forêts naturelles en 1994 restent intacts. En général, au cours de la période 1994-2014 la classe de savane (SAV) constitue la principale pourvoyeuse des autres classes. Malgré la diminution de 58.75% en 1994 à 52.07% de la superficie totale du paysage en 2014. Elle domine encore le paysage de l'écorégion Ouest de la zone d'étude. Il est constaté aussi que 65.22 % du paysage restent stables au cours de cette période.

Pendant la deuxième période (1994-2004), les classes de savane (SAV), savane arborée (CSB) et forêt naturelle FDS dominent le paysage. Ainsi 31.33 % de la classe des paysages ont connu une dynamique en autre classe. La modification est remarquée majoritairement au niveau de la classe savane herbeuse et la classe forêt sèche. (Annexe 5). En effet, les forêts sèches et la savane herbeuse diminuent avec un taux de régression de 0.83% pour la forêt sèche et de 2.31 % pour la savane herbeuse ce qui est expliqué par l'anthropisation de la zone. Par contre, la classe de savane arborée a augmenté de 2.6%. Une stabilité de 68.67% du paysage est observée pendant ces périodes. Il est remarqué aussi que la dégradation de l'écosystème mangrove est accentuée pendant cette période avec un taux de régression de 0.12%.

Quant à la période de 2004-2014, le paysage était encore dominé par 3 classes d'occupation du sol que sont les savanes herbeuses (SAV), forêts naturelles (FDS) et classe des savanes arborées (CSB) avec des proportions respectives de : 56.94 %, 8.76% et 21.99% pour les années 2014. Il est observé entre 2004-2014 une stabilité des classes sur 70.11 % de l'occupation du sol de l'écorégion Ouest. Ainsi pendant cette période 1.5% de la surface forestière ont été convertis en savane. Il est remarqué aussi un taux d'augmentation de 0.89% de sol nu ce qui est expliqué par l'effet des activités anthropiques notamment le feu qui est fréquent dans la zone. En outre, la classe des savanes arborées a augmenté de 4.46% dans paysage (Annexe 5) Les principales zones transformées en savane arborée sont la classe de savane herbeuse et la classe de forêt sèche avec un taux de conversion de 5.52 % pour la savane ce qui se traduit par une activité anthropique de la zone.

Tableau 13 : Matrice de transition de l'occupation du sol (en pourcentage) entre 1994, 2004 et 2014 de l'écorégion Ouest

1994-2014									
	EAU	FDS	CSB	MAG	MOS	SAV	SLN	NC	TOTAL
EAU	0.87	0.06	0.03	0.03	0.11	0.17	0.11	0	1.38
FDS	0.09	6.49	1.64	0.01	0.46	1.56	0.08	0.05	10.38
CSB	0.02	0.55	7.18	0	0.03	6.5	0.48	0.17	14.93
MANG	0.1	0	0	0.23	0.02	0	0	-	0.35
MOS	0.06	0.2	0.05	0.01	0.9	0.13	0.04	0	1.39
SAV	0.13	1.41	12.55		0.2	45.84	3.79	0.28	64.2
SLN	0.24	0.05	0.54	0	0.09	2.74	3.71	0	7.37
TOTAL	1.51	8.76	21.99	0.28	1.81	56.94	8.21	0.5	100
1994-2004									
EAU	0.98	0	0.05	0.03	0.02	0.11	0.19	0	1.38
FDS	0.01	6.78	1.65	-	0.29	1.62	0.03		10.38
CSB	0.02	1.46	5.57	0	0.07	7.8	0.01		14.93
MANG	0.04	-	-	0.2	0	0.11	0		0.35
MOS	0.06	0.33	0.06	-	0.9	0.03	0.01		1.39
SAV	0.15	0.92	10	0	0.37	49.96	2.8	0	64.20
SLN	0.26	0.06	0.2	0	0.31	2.26	4.28		7.37
Total	1.52	9.55	17.53	0.23	1.96	61.89	7.32	0	100
2004-2014									
EAU	1	0.02	0.11	0.04	0.1	0.14	0.11	0	1.52
FDS	0.05	6.26	1.16	0.01	0.51	1.5	0.04	0.02	9.55
CSB	0.03	1.46	10	0	0.05	5.52	0.31	0.16	17.53
MANG	0.01	0	0	0.22	0	0	0	-	0.23
MOS	0.04	0.2	0.12	0.01	1.03	0.41	0.15	-	1.96
SAV	0.12	0.8	10.28	0	0.08	47.15	3.15	0.31	61.89
SLN	0.26	0.02	0.32	0	0.04	2.22	4.45	0.01	7.32
TOTAL	1.51	8.76	21.99	0.28	1.81	56.94	8.21	0.5	100

Dans ce paragraphe, la transition globale sur le paysage a fait l'objet d'une analyse en précisant tous les changements détectés sur le paysage entre la période d'étude de 1994-2014. Ce changement se traduit par la transformation de 1 668 068 ha dans le paysage.

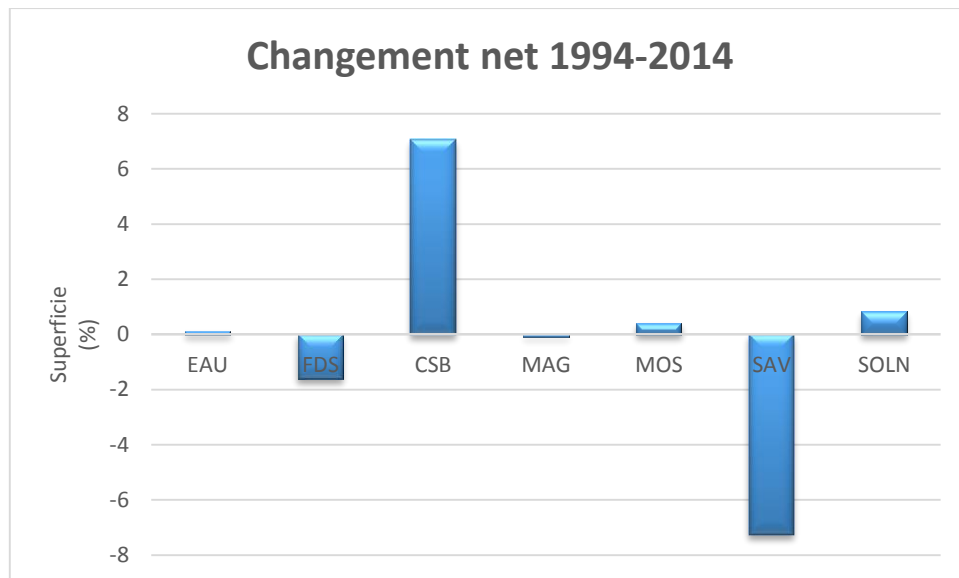


Figure 3 : Changement net des classes d'occupation du sol écorégion Ouest entre 1994 et 2014

Les détails de tous les changements au cours de ces périodes sont obtenus à partir de la matrice de transition de 1994 et 2004. Cette matrice montre que le changement majeur intervenu au cours de la période 1994-2014 concerne les zones de végétations naturelles. Plus précisément, les classes de savane herbeuse (SAV) et de forêt sèche ont subi des transformations. 12.55 % de classe SAV ont été converties en classe de CSB ce qui démontre la stabilité de végétations naturelles mais aussi l'extension des zones de culture. Il est observé aussi une conversion de 1.64% de classe FDS en classe de CSB mais aussi une transformation de 1.56 % de classe FDS en classe de SAV. Cette dernière occupe 7.37% du paysage en 1994 et 8.21 % du paysage en 2014. La conversion de 0.46% de la classe FDS en classe de Mosaïque de culture illustre la perturbation anthropique dans la zone.

L'observation de la matrice de transition montre aussi une conversion de la savane herbeuse en sol nus soit 3.71% de la classe SAV sont converties en classe de SLN. Ce dernier occupe 7.37% de la superficie de paysage en 1994 et 8.21% du paysage en 2014 ce qui explique les effets néfastes du passage fréquent des feux, ce qui entraîne aussi l'érosion du sol.

Quant à la classe de savane arborée (CSB), qui a connu une extension de son occupation allant de 14.93 % en 1994 et 21.99% en 2014 dont 7.18 % restent intactes. En ce sens, la conversion de 0.55 % de cette classe en classe de forêt sèche peut être expliquée par l'absence des perturbations anthropiques dans la zone donc il y a stabilité de la végétation naturelle. Par contre 6.5% de cette classe sont convertis en classe savane herbeuse mais aussi 0.48% transformé en classe des sols nus ce qui illustrent l'impact des activités anthropiques dans la classe de savane arborée et ne couvrent pas la progression vers sa stabilité.

La classe mosaïque de culture connaît un taux d'augmentation pendant cette période car elle est passée de 1.39% du paysage en 1994 à 1.81% en 2014 dont 0.9% de cette proportion restent stable. Cette augmentation est due essentiellement à la conversion de 0.46% de forêt sèche et de 0.2% de savane

herbeuse en classe mosaïque de culture, ce qui explique l'importance des activités agricoles sur la transformation des paysages.

Par contre, la classe de MANG est assez faiblement présentée soit de 0.35% en 1994 et 0.28% en 2014. La dynamique de cette classe concerne la conversion de 0.1% de cette classe en classe EAU ce qui illustre l'anthropisation de ces ressources naturelles.

A propos de la classe EAU, une diminution de sa proportion dans le paysage est observée. Il constitue 1.38% du paysage en 1994 et 1.51% en 2014. Sa proportion est assez faible dans le paysage de l'écorégion Ouest.

En examinant la période globale de 1994-2014, le paysage permet de corroborer une perte continue des formations naturelles que sont les forêts naturelles, les savanes et les mangroves.

3.3.4 Dynamique de la composition du paysage écorégion Est

La dynamique de l'occupation du sol de l'écorégion Est est interprétée sur une superficie de 14 440.79km² y compris les zones couvertes des nuages. Cette classe représente 0.5% de la zone étudiée ce qui n'influe pas le résultat de la dynamique de l'occupation du sol.

Au cours de la période 1994-2014, la matrice de transition révèle une prédominance de la Formation secondaire (FS), savane herbeuse (SAV) et la forêt dense humide (FDH) avec un taux respectifs de : 35.50 % (1994), 39,51% (2014) pour la Classe de FS, 30.74% (1994) 27.88% (1994) pour la classe de SAV et 22.69% (1994), 20.35% (2014) pour la classe de FDH. Le paysage est stable à 74.37% au cours de cette période.

Pendant la seconde période de l'étude (1994-2004), le paysage est dominé par la classe des formations secondaires (FS), savane herbeuse (SAV) et forêt dense Humide (FDH) avec un taux respectivement de : 40.98%, 21.03% et 27.07 % dans les années 2004. En effet, la classe de SAV et celle de FDH connaissent une diminution pour passer de : 30.74% à 27.06% (SAV) et de 22.69% à 21.03% (FDH) tandis que la classe de FS augmente de 7.58%. Ces croissances sont engendrées par les activités anthropiques dans la zone mais aussi amplifiées par la saison de prise des images satellites. Il s'agit ici de la saison des pluies pour l'image 2005 utilisée. Par contre, les zones marécageuses connaissent de faible changement avec un taux de régression de 0.14%. Cette diminution résulte de la conversion des zones marécageuses en classe EAU 0.27% mais aussi en classe RIZ par l'extension des zones de culture. (Annexe 6)

Pour la 3^e période 2004-2014, il est encore observé la domination de la classe SAV, FDH, FS. La stabilité des classes d'occupation du sol est de 76.73%. En examinant la période de 2014-2004 le paysage de l'écorégion confirme la perte continuelle des forêts denses humides qui est de 21.03 % en 2004 et le taux actuel est de 20.35%. Il est observé aussi que la classe de savane herbeuse (SAV) connaît une augmentation avec un taux de 0.85% (Annexe 6). Pour cela, 3.71 % de cette classe sont convertis en

classe de Formation secondaire ce qui peut être expliqué par la stabilité de la végétation c'est-à-dire l'absence de perturbation sur la zone. Le taux de changement de classe (SAV) en classe (RIZ) est de 0.59% ce qui est expliqué par l'extension de la rizière. Cette dernière a une faible proportion dans le paysage 2.67% (2004) et 2.69 % (2014). Pendant cette période le paysage de l'écorégion Est est stable à 76.73 % ce qui est élevé par rapport à la stabilité de l'occupation du sol entre 1994-2004.

Tableau 14 : Matrice de transition de l'occupation du sol en pourcentage entre 1994, 2004 et 2014 dans l'écorégion Est de Madagascar.

1994-2014							
	MAR	SAV	FDH	FS	ZDC	EAU	Total
MAR	1.92	0.08	0.00	0.06	0.37	0.09	2.53
SAV	0.04	21.96	1.63	6.47	0.01	0.63	30.74
FDH	0.00	1.11	16.12	5.40	0.02	0.05	22.69
FS	0.06	4.27	2.55	27.39	1.11	0.09	35.50
ZDC	0.56	0.40	0.02	0.10	5.38	0.13	6.58
EAU	0.11	0.07	0.03	0.06	0.08	1.60	1.96
TOTAL	2.69	27.88	20.35	39.51	6.97	2.60	100
1994-2004							
MAR	1.85	0.20	0.01	0.08	0.17	0.22	2.53
SAV	0.04	20.38	1.59	8.04	0.56	0.12	30.74
FS	0.00	1.09	16.35	5.21	0.01	0.03	22.69
FDG	0.09	4.36	3.03	27.39	0.46	0.17	35.50
ZDC	0.60	0.96	0.02	0.17	4.35	0.48	6.58
EAU	0.08	0.07	0.03	0.10	0.01	1.68	1.96
Total	2.67	27.07	21.03	40.98	5.55	2.71	100
2004-2014							
MAR	1.85	0.06	0.00	0.03	0.60	0.12	2.67
SAV	0.23	20.97	0.96	3.71	0.59	0.61	27.07
FDH	0.01	0.76	16.16	4.02	0.02	0.06	21.03
FS	0.04	5.61	3.15	31.49	0.54	0.14	40.98
ZDC	0.36	0.33	0.04	0.10	4.65	0.07	5.55
EAU	0.21	0.14	0.04	0.16	0.56	1.61	2.71
Total	2.69	27.88	20.35	39.51	6.97	2.60	100

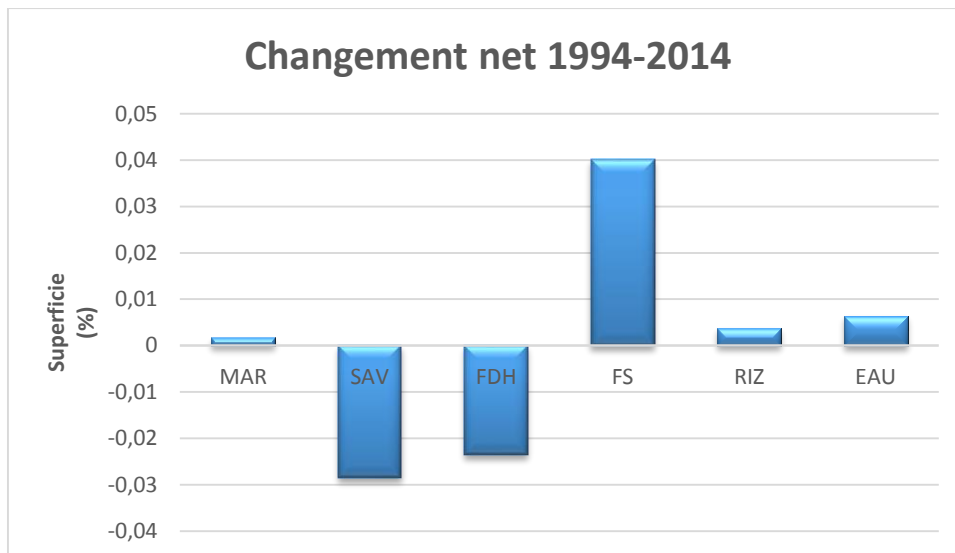


Figure 4 : Changement net des classes d'occupation du sol écorégion Est entre 1994 et 2014

Entre 1994 et 2014, la tendance générale montre une accélération des changements d'occupation du sol dans la classe des forêts denses humides et la classe des savanes herbeuses (Figure 4).

La matrice de transition montre qu'entre 1994 et 2014, 5.40% des classes forêts denses humides ont été converties en formations secondaires. Il est remarqué aussi la transformation de la formation secondaire en classe savane qui atteint 4.27% du paysage. Cela illustre l'effet des activités anthropiques. Il est remarqué aussi une conversion de cette classe en forêt dense humide qui atteint 2.55% du paysage ce qui est expliqué par la recolonisation de certaines zones.

Quant à la classe de forêt dense humide, la transition globale montre une nette diminution avec un taux de régression de 1.62%. Tandis que, 16.12 % de cette classe restent stable au cours de cette période. Le plus important changement s'effectue par la transformation de la classe FDH en classe de FS atteignant 5.40 % du paysage. En plus 1.1% de la classe forêt dense humide se transforment en classe de savane herbeuse. Ces différentes transformations peuvent être expliquées par le défrichement abusif de la forêt.

La classe de zone marécageuse a subi une augmentation de superficie pendant cette période 2.53% en 1994 et 2.69% en 2014. Entre cette période 0.37 % de la zone marécageuse ont été transformés en classe RIZ par l'extension de la rizière autour du lac Alaotra. Cette classe de RIZ connaît une augmentation 0.39% de paysage au cours de cette période.

A propos de la classe EAU qui a augmenté pendant la période, cette augmentation concerne surtout la conversion de 0.11% de la zone marécageuse en eau. Ce qui explique l'instabilité de cette classe au cours de cette période.

3.3.5 Structure spatiale du paysage actuel de l'écorégion Est

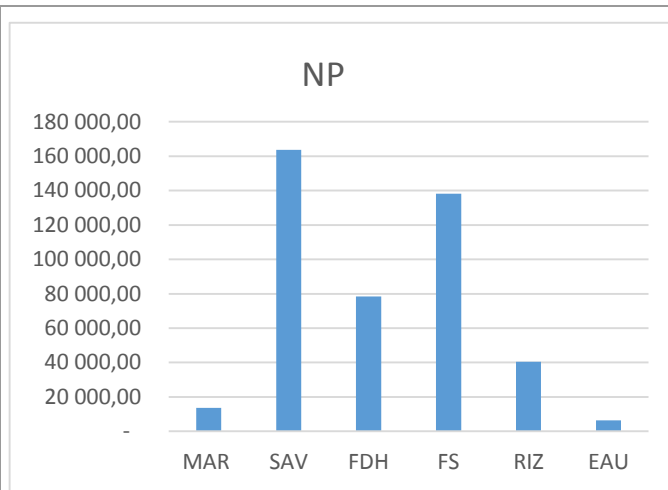


Figure 5 : Répartition des taches dans l'écorégion Est

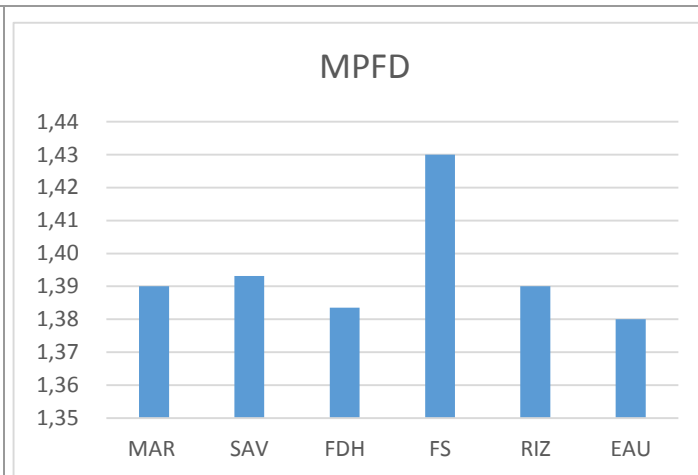


Figure 6 : Indice de dimension Fractale dans l'écorégion Est

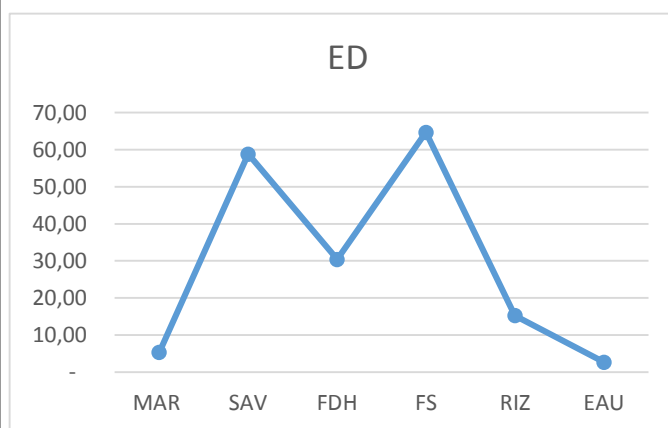


Figure 7 : Densité de bord dans l'écorégion Est

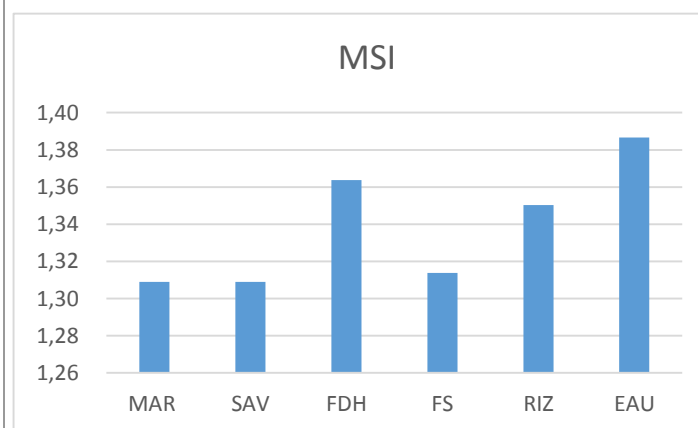


Figure 8: Indice moyen de forme dans l'écorégion Est

3.3.5.1 Nombre de tache (NP)

Il est observé que la classe de savane herbeuse (SAV) et de formation secondaire (FS) représentent la plus grande tache dans l'écorégion Est (Figure 5). Ce qui illustre par ailleurs, l'hétérogénéité de cette classe au sein du paysage. La classe de forêt dense humide tend à une valeur élevée en termes de nombre de tache aussi ce qui explique aussi la fragmentation de cette classe en îlot de forêt dans le paysage. Ce qui peut en déduire les effets des activités anthropiques dans le paysage.

La figure 5 montre que la classe de savane (SAV) et de formation secondaire (FS) sont les plus hétérogènes dans l'écorégion Est en 2014.

3.3.5.2 Indice moyen de forme (MSI ou Mean Shape Index)

La valeur élevée 1.39 de cet indice correspond à la classe EAU. Cela peut s'expliquer par une tendance irrégulière de la forme, tandis que la classe de forêt dense humide présente une valeur faible par rapport à la valeur maximale. Cela indique que la forme de cette classe tend à une irrégularité de forme ce qui explique qu'actuellement la population dans l'écorégion Est se rend compte de l'importance de la forêt. La valeur minimale 1.31 correspond à la savane herbeuse et à la formation secondaire ce qui explique la modification de cette classe au cours du temps.

3.3.5.3 Dimension Fractale (MPFD ou Mean Patch Fractal Dimension)

La valeur de la MPFD de l'écorégion Est est comprise entre 1.38-1.43. La valeur maximale correspond à la classe de formation secondaire (FS). Ce qui peut s'expliquer par la tendance de simplification de la forme de différentes taches de paysage pour cette classe.

3.3.5.4 Densité de bord (ED ou Edge Metrics)

La densité du bord est élevée pour la classe de Formation secondaire (FS) et pour la classe de savane herbeuse. Cela peut s'expliquer que bon nombre de population dans l'écorégion Est de Madagascar dépend de cette zone pour l'agriculture de subsistance. Cette dernière peut être expliquée par le fait du défrichement de la forêt à cause de la fertilité de ces zones. La valeur est très faible pour la classe de zone marécageuse (MAR) puisque cette dernière ne tient qu'une petite surface au sein du paysage par rapport aux autres occupations du sol.

3.3.6 Structure spatiale du paysage actuel de l'écorégion Ouest

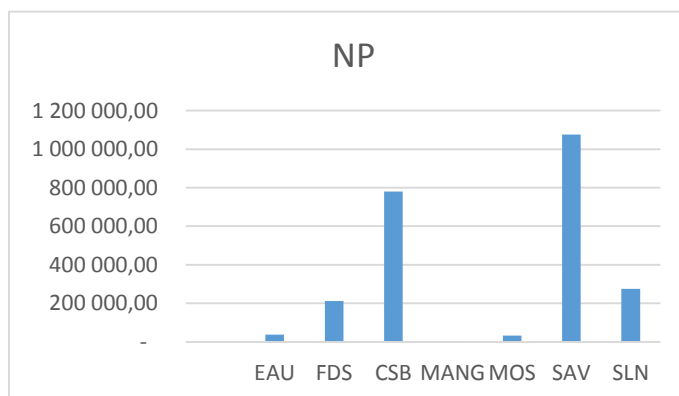


Figure 9 : Répartition des taches dans l'écorégion Ouest

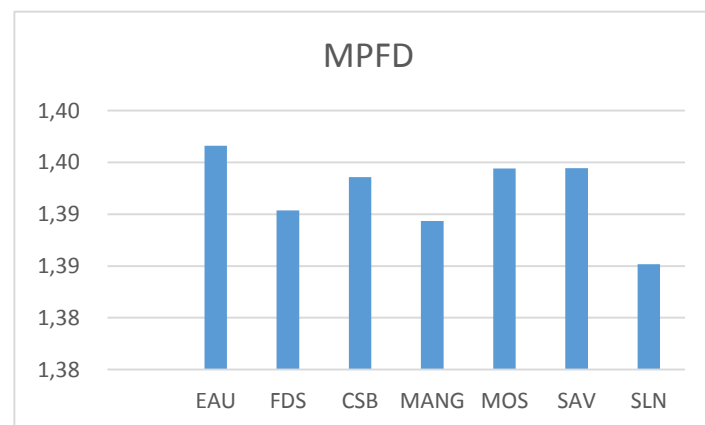


Figure 10 : Indice de dimension Fractale dans l'écorégion Ouest

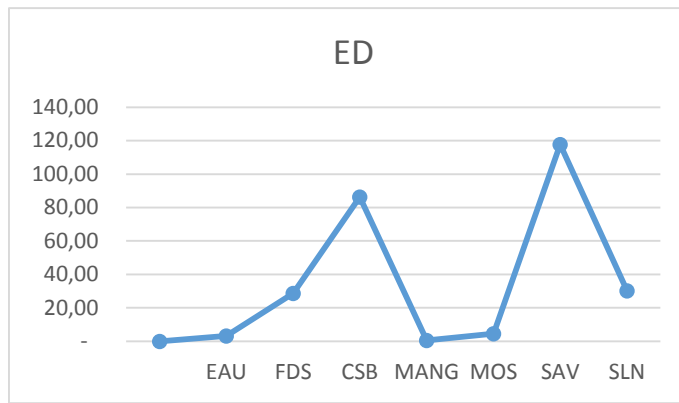


Figure 11 : Densité de bord dans l'écorégion Ouest

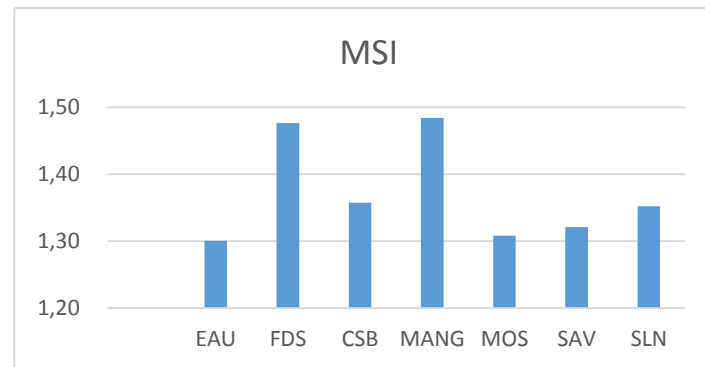


Figure 12 : Indice moyen de forme dans l'écorégion Ouest

3.3.6.1 Nombre de tache (NP ou Number of patch)

Le nombre de tache pour les classes de savane herbeuse (SAV) et la classe de savane arborée (CSB) est élevé par rapport à d'autres classes (Figure 9). Cela peut montrer le processus de diversification du paysage. Par contre, la classe de Mangrove (MANG) présente une valeur assez faible (2900) par rapport aux autres éléments de paysage, ce qui peut s'expliquer par la simplification de cette classe mais aussi par la proportion de cette classe qui est moindre dans l'ensemble du paysage.

La classe de savane herbeuse (SAV) et la classe de savane arborée (CSB) sont les plus hétérogènes dans l'écorégion Ouest en 2014.

3.3.6.2 Indice moyen de forme (MSI ou Mean Shape Index)

L'indice moyen de forme MSI est compris entre 1.30 et 1.40 (Figure 12). La valeur minimale appartient à la classe EAU ce qui est expliqué par la variation de cette classe au cours du temps.

La valeur de 1.40 coïncide à la classe des Mangroves ce qui veut dire que cette classe a une tendance irrégulière de la forme. Quant à la classe des forêts FDS, la valeur est de 1.39 ce qui est proche de la valeur maximale cela a pour origine la persistance des activités anthropiques sur la forêt sèche et provoque ainsi sa modification au cours du temps.

3.3.6.3 Dimension Fractale (MPFD ou Mean Patch Fractal Dimension)

La valeur de la dimension fractale de l'écorégion Ouest est comprise entre 1.39-1.40 (Figure 10). Cette valeur est expliquée par l'effet de l'anthropisation du paysage. Les grandes taches forestières sont donc remplacées par des taches aux formes de plus en plus régulières. Donc il y a une fragmentation du paysage qui provoque la simplification des formes des taches.

3.3.6.4 Densité de bord (ED ou Edge Metrics)

La densité de lisière ou du bord est élevée dans le paysage pour la classe de savane (SAV), Savane herbeuse (CSB) et forêt naturelle (FDS). Cela peut s'expliquer par la dépendance des populations riveraines de ces ressources (agriculture, chasse...).

La valeur est très faible pour la classe des Mangroves (MANG) puisque cette classe est moindre par rapport à la superficie totale de l'écorégion ouest (Figure 11)

En résumé, l'ensemble des résultats obtenus indique l'état de la structure actuelle du paysage, qui est transformée par les activités anthropiques. La forêt a continué à être colonisée par les savanes herbeuses et la classe de savane arborée.

3.3.7 Tendance des écosystèmes forestiers écorégion Est

Les forêts dans la partie littorale et dans la basse altitude ont subi de déforestation élevée avec un taux annuel respectivement de 0.9 % (1994) et 0,8% (1994). Ce taux connaît une nette diminution pendant la période de 2004-2014 avec un taux de déforestation annuel de 0.3% pour les forêts qui se localisent dans la partie littorale et de 0.4% pour les forêts de basses altitudes.

Il est aussi constaté aussi que ce taux est moindre dans la de haute altitude qui est 0.1% entre la période de 1994-2004 tandis que ce taux de déforestation annuel est de 0.0% entre la période de 2004-2014. Tous les autres détails de ce taux se trouvent dans le tableau 10 tandis (Figure 13) pour répartition des couvertures selon la classe d'altitude et sa diminution au cours de la période considérée.

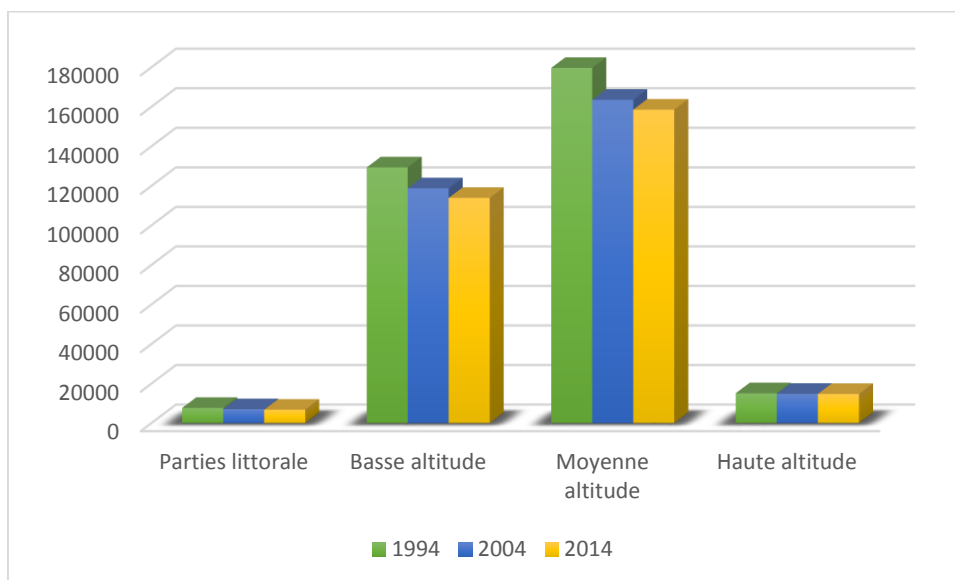


Figure 13 : Evolution de la superficie forestière selon l'altitude écorégion Est.

Le tableau 15 présente les superficies forestières en 1994, 2004 et 2014 de l'écorégion Est avec le taux de dégradation de la forêt dans l'écorégion.

Tableau 15 : Couverture forestière et taux de déforestation par tranche d'altitude écorégion Est

Couverture des forêts naturelles				Taux moyen annuel de déforestation (% par an)	
	1994	2004	2014	1994-2004	2004-2014
Partie littorale	7 684	7 030	6 787	0.9	0.3
Basse altitude	129 346	118 772	113 901	0.8	0.4
Moyenne altitude	179 669	163 530	158 557	0.9	0.3
Haute altitude	15 074	14 815	14 734	0.1	0.0

3.3.8 Tendance des écosystèmes forestiers écorégion Ouest

Pour les écosystèmes forestiers de l'écorégion Ouest, la zone de basse et moyenne altitude ont subi de fortes pressions dues à la déforestation avec des taux annuels respectifs 1.1 % et 0.7% entre la période 1994-2004. Il est à noter aussi que les zones montagneuses sont moins intactes par rapport aux autres zones avec un taux de déforestation presque nulle. Tandis que pour les zones côtières une augmentation de 0.4% par an est remarquée.

En d'autre côté la figure 14 montre que la majorité de la forêt se localise dans la zone de basse et moyenne altitude avec des superficies respectives de : 189 692 ha (1994), 169 683 ha (2004), 152 500 (ha) pour la forêt de basse altitude 157 884 ha (1994), 145 922 ha (2004) 137 922 ha (2014) pour la forêt de moyenne altitude.

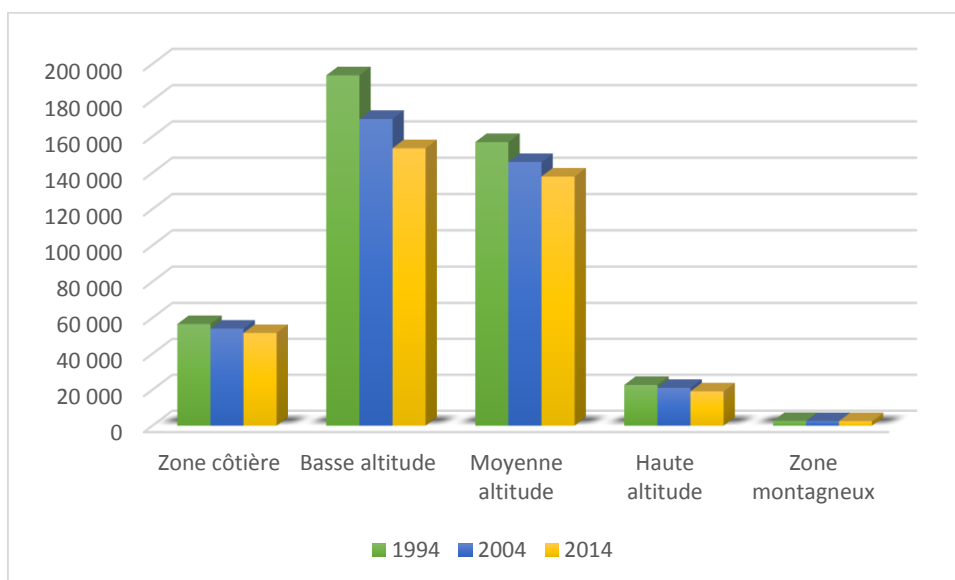


Figure 14 : Evolution de la superficie forestière selon l'altitude écorégion Ouest

Le tableau 16 fournit les superficies forestières en 1994, 2004 et 2014 de l'écorégion Ouest avec le taux de déforestation annuel.

Tableau 16 : Couverture forestière et taux de déforestation par tranche d'altitude écorégion Ouest

Couverture des forêts naturelles en Ha				Taux moyen annuel de déforestation (% par an)	
	1994	2004	2014	1994-2004	2004-2014
Zone côtière	56 546	54 979	50 556	0.4	0.8
Basse altitude	189 692	169 683	152 500	1.1	1
Moyenne altitude	157 884	145 922	137 922	0.7	0.6
Haute altitude	21 653	21 044	20 087	0.2	0.4
Zone montagneuse	2 603	2 520	2 485	0.0	0.0

DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1 Discussion sur la méthodologie

4.1.1 Vérification de la classification d'occupation du sol

L'évaluation du résultat de classification a été faite par le biais d'une matrice de confusion (Zhang *et al.*, 2002; Godard, 2005 ; Mama, 2013 ; Zhang *et al.*, 2014), plusieurs auteurs ont utilisé la matrice de confusion pour évaluer la précision globale de la classification. Le coefficient de Kappa a également été déterminé (Congalton, 1991 ; Campbell, 2002). Selon ces auteurs, il faut une moyenne de 85% de précision et ne pas avoir une classe de 70% , le USGS propose une exactitude de 85% comme valeur minimale pour une classification d'occupation du sol utilisant l'image *Landsat* (Anderson, 1976)

Pour la présente étude, la précision est acceptable si l'on se réfère à l'échelle de Pointus en 2000 ainsi que Landis et Koch en 1977. Toutefois l'absence de l'investigation sur terrain ne permet pas de connaître la réalité sur terrain. En effet seule la connaissance de la réalité d'observation sur terrain permet d'atténuer réellement le degré de confusion des pixels (Foody, 2010). Cependant, l'utilisation des images *Google Earth* et les points de contrôle ont permis de vérifier la classification.

4.1.2 Indice de structure spatiale actuelle du paysage

L'utilisation de l'extension *patch analyst 5* a permis de calculer quelques métriques paysagères pour apprécier la structure spatiale des différentes taches de classes dans le paysage actuel.

Plusieurs auteurs ont utilisé les indices des structures spatiales pour quantifier les changements d'occupation du sol après classification des images des télédétections. En fait, cet indice a été utilisé pour évaluer la dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane en Côte d'Ivoire. (Barima, 2009). L'étude de Issouf en 2010 a utilisé les indices de configuration et des structures spatiales pour étudier la structure spatiale d'un paysage forestier au bas Congo. De plus, Divyani en 2006 et Jain *et al.*, en 2011 ont utilisé les indices des structures spatiales pour évaluer le changement d'occupation du sol dans un paysage Indien. Par contre, De Clercq *et al.*, en 2007 a utilisé les indices des structures spatiales pour la comparaison des composantes forestières de différents types forestiers en Belgique. Une étude réalisée à Madagascar a aussi utilisé cette méthode pour l'analyse de la fragmentation et la dynamique du paysage de la forêt dense humide de basse altitude (Rabenilalana, 2011).

4.2 Discussion sur les résultats

4.2.1 Dynamique du paysage forestier

Le paysage forestier se dégrade de plus en plus au cours du temps à l'échelle écorégionale. Ces pressions se manifestent essentiellement par la conversion de la forêt en savane qui sont des formations largement représentées à Madagascar puisqu'elles couvrent plus de 70% du territoire (Rakotoarimanana *et al.*, 2008). D'après certaines études, la dynamique de forêt en savane ou en zone de culture est causée par la défriche brulis ou passage de feux involontaire relevant un intérêt particulier (Grinand, 2010). Les savanes jouent néanmoins un rôle économique majeur car elles assurent l'essentiel de l'alimentation des troupeaux dans les systèmes d'élevage extensif. Ce dernier contribue à la modification de la structure initiale de la végétation mais à l'échelle de la végétation, cette perturbation est faible. La contribution de l'élevage dans le processus de dégradation et de déforestation est inférieure à 20% voire 11% du processus global de déforestation. Ainsi il pourrait exister un équilibre entre élevage et écosystèmes forestiers (Ranaivoson, 2006)

La dynamique de forêt en formation secondaire se ressemble aux autres études effectuées dans les zones tropicales humides. En effet les mêmes stades herbacé, arbustif et arborée successifs ont été constatés à Andasibe Perinet (Rasolofoharinoro *et al.*, 1997) et en Amazonie (Toledo et Salick, 2006)

De plus le sol en forêt est très fertile surtout les sols des forêts humides qui sont considérés comme les sols les plus riches. Et c'est cet aspect que la population recherche en multipliant le défrichement pour transformer la forêt en zone de culture. Mais malgré la dégradation que ces activités provoquent sur la forêt, elles gardent encore une place primordiale dans le système de production de la population des hauts plateaux (Ravoavy et Messerli, 2001; Randrianarison, 2012).

4.2.2 Dynamique forestière suivant le gradient d'altitude du terrain

Une étude de la forêt tropicale en Afrique montre que les forêts de basse altitude subissent un fort changement avec un taux de changement de 11% (1990).

L'étude sur la forêt de montagne à Madagascar ressortit que l'agriculture a fait disparaître les majeures parties des forêts naturelles de basse altitude à l'Est de Madagascar par contre la forêt de montagne présente des accessibilités difficiles et des reliefs accidentés ce qui explique une faible dégradation de forêt (Rabetaliana *et al.*, 2003). C'est pour cela que les forêts de montagne sont comme des écosystèmes de service (régulation du régime hydrique et des protections des sols) avec une valeur essentielle pour les économies des régions en aval et les cultures de bas-fond (Razafimamonjy, 2001).

D'autres études sur la forêt sèche ont pu montrer l'intensification de défrichement par les populations de forêt de basse altitude par transformation en terrain de culture combiné aux activités agro-pastorale l'exploitation des bois (MBG, 2013). Le taux de perte des forêts de basse altitude est de 0.5%/an selon les études de ONE en 2013.

4.2.3 Taux de déforestation

Plusieurs études ont été déjà réalisées sur l'estimation du taux de déforestation à Madagascar. Pourtant les études réalisées à l'échelle écorégionale restent encore insuffisantes.

Tableau 17 : Comparaison des taux de déforestation avec les autres études

	MEFT <i>et al</i> 2009		ONE, 2013		Auteurs 2015	
Filtrage	2 ha		1 ha		1ha	
	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide
1990-2000	0,67	0,79				
1994-2004					0,8	0,7
2005-2010			0,6	0,2		
2004-2014					0,8	0,3

En effectuant la comparaison du taux de déforestation issue de cette étude par rapport aux autres études antérieures (cf. Tableau 17) il est constaté qu'il est assez élevé par rapport aux autres travaux de recherche. Cela peut s'expliquer par le fait que ces derniers n'ont considéré que les forêts naturelles non dégradées alors que ce n'est pas le cas pour ce présent mémoire. Mais aussi par le fait que les ressources forestières se dégradent continuellement au fil des années.

4.2.4 Indice de structure spatiale

Les résultats obtenus à partir du calcul de ces indices montrent qu'il y a fragmentation de paysage due aux activités anthropiques essentiellement : le défrichement, la coupe illicite, les feux de brousse et les prélèvements pour la fabrication de charbon (CI, 2011). Ces résultats rejoignent ceux de Rabenilalana, en 2011 parmi l'indice utilisé le MPFD, a une valeur autour de 1.5 (Rabenilalana, 2011) ce qui montre que le paysage a été pratiquement transformé par l'Homme.

Le résultat d'étude menée par August et Nugranad en 2002 montre que pour répondre aux besoins d'alimentation, en espace, en production de bois d'exploitation ou de chauffage engendrent une incidence directe sur la structure du paysage forestier.

De plus, le résultat de Bogaert *et al.*, 2008 confirme aussi que les activités anthropiques favorisent la dégradation et la diminution de la couverture forestière en zone tropicale cependant la recherche a évoqué une valeur de dimension fractale autour de 1.5

4.3 Discussion sur les hypothèses

Hypothèse 1 : *La dynamique spatio-temporelle du paysage forestier se différencie suivant l'écorégionale.*

Les résultats de la recherche permettent de déterminer l'état des paysages forestiers des écorégions Est et Ouest. Les changements de structure des paysages sur les trois dates (1994-2004-2014) se caractérisent par une diminution des couvertures forestières. Le plus important changement d'occupation du sol concerne d'une part, la régression de la classe FDH qui est estimée à 33 781 ha (cf. annexe) d'autre part, la diminution de la classe FDS de 66 887 ha entre la période de 1994-2014

La diminution de couverture est très accentuée dans l'écorégion Ouest par rapport à l'écorégion Est. Le taux annuel de déforestation de la couverture des écosystèmes forestiers occidentaux est évalué à 0.8 % entre le 1994-2004, tandis que ce taux reste constant pour la période de 2004 -2014. D'autre côté pour l'écosystème forestier oriental, le taux de dégradation des ressources forestières est de 0.7 % par an pendant la période de 1994-2004. Pour les années 2004 et 2014, une baisse du taux de déforestation est observée dans l'écorégion Est. Le taux de déforestation annuel est passé de 0.2% par an, une valeur faible par rapport à la moyenne nationale qui est de 0.5% (ONE, 2013).

Il a été déduit que la déforestation est accentuée dans l'écorégion Ouest par rapport à l'écorégion Est.

La première hypothèse est donc vérifiée.

Hypothèse 2 : *Les modes d'utilisation des terres sont fortement influencés par le gradient d'altitude du terrain.*

Les résultats de recherche ont montré que les topographiques de terrain influencent le mode d'utilisation des terres à cause de l'indisponibilité de terre aménageable et l'extension du terrain de culture pour satisfaire aux besoins de la population. Ce qui implique le défrichement de la forêt pour répondre la demande en nouvelles terres agricoles de la population (Brimont *et al.*, 2015)

La mise en relation de ces différents changements au cours du temps avec le gradient d'altitude de 2 écorégions permet d'en déduire que la forêt de moyenne et de basse altitude ont subi un taux de déforestation plus élevé pour la zone occidentale, tandis que la partie littorale et la forêt de basse altitude dans la zone orientale à cause de sa facilité d'accessibilité dans le zone. Pour les zones de montagnes et de hautes altitudes, il n'y a pas beaucoup de changement à cause de sa localisation sur les escarpements abrupts et dans certains reliefs les plus enclavés et les plus accidentés. (PNUE, 2014)

Il est tiré que plus il y a l'élévation de la zone moins il y a une baisse de la couverture forestière. Cela confirme que le mode d'utilisation des terres est fortement influencé par la topographie du terrain.

4.4 Recommandations

4.4.1 Opérationnalisation de la recherche

Cette partie constitue essentiellement l'importance et la valorisation de la recherche. L'étude évoque la dynamique de paysage forestière à l'échelle écorégionale. Bien que les populations riveraines dépendent fortement des biens et services fournis par cet écosystème qui possède des grands enjeux écologiques et économiques avec l'endémicité de la biodiversité de deux écorégions. Cette présente recommandation avancée se porte sur la proposition d'alternative pour atténuer le rythme de déforestation et de conservation des ressources forestières au niveau écorégionale.

Objectif général : « Gérer durablement les paysages pour la réduction de la pauvreté »

Cet objectif vise à répondre aux besoins des populations riveraines des forêts face à la dépendance aux biens et services fournis par celle-ci.

Objectif spécifique 1 : Améliorer la gouvernance des ressources forestières

Sous-objectif 1.1 : Aider les communautés locales à gérer durablement les forêts

Ceux-ci sont basés sur le principe de la responsabilisation et du renforcement de capacités des populations locales dans différents domaines (technique, gestion financière, etc.) afin qu'elles deviennent autonomes dans la gestion durable de la forêt. Lorsque ces communautés peuvent gérer elles-mêmes leurs ressources naturelles, elles tendent à mieux les protéger et à les utiliser plus durablement. Donc un mode de gestion qui contribue au développement durable des populations locales. La réussite de cette action peut s'expliquer d'une part par une réelle volonté des communautés villageoises, très conscientes de la précarité des ressources forestières de leur territoire (Rabetaliana *et al.*, 2003)

*Sous- objectif 1.2 : Mettre en œuvre les modes d'exploitation réglementés au niveau communautaire (Carret *et al.*, 2009)*

La réglementation de l'exploitation est très importante pour gérer durablement les ressources naturelles. Il sera important de valoriser les expériences existantes en exploitation communautaire. L'action consiste à appuyer l'élaboration des associations communautaires et renforcement technique de cette dernière en matières d'abattage d'arbres, de sciage en long, de valorisation des déchets de bois, de standards et de normes de qualité de produits commerciaux et de règles de stockage et de séchage.

L'appui portera notamment sur le système de contrôle interne de l'association, assurant que les règles de durabilité et les termes du contrat de concession seront respectés.

Objectif spécifique 2 : Optimiser la production agricole

Sous-objectif 2.1 : Améliorer les techniques agricoles de la communauté locale

Il s'agit ici de conduire des études pour comprendre d'une manière pertinente le phénomène de l'agriculture itinérante. Dans ce cadre, il est nécessaire d'appréhender les divers acteurs, les raisons ainsi que les impacts potentiels de cette pratique surtout au niveau local. Pour pallier ce problème, il est nécessaire de trouver d'autre alternative d'amélioration des techniques agricoles en adoptant les techniques comme : la SRI ou SRA afin d'accroître le rendement agricole. Ajouter à cela, l'amélioration de terres cultivables existantes est aussi une nécessité en maintenant la fertilité du sol. Pour améliorer les systèmes de production des paysans, il est nécessaire aussi de mener des actions d'optimisation des capitaux matériels à fin d'assurer la pérennité des actions d'amélioration des techniques agricoles

Sous-objectif 2.2 : Augmenter la superficie de terrains aménageables hors forêt (FAO, 2003)

Dans ce sens, il s'agit ici d'augmenter les terrains exploitables pour l'agriculture en aménageant les versants. Cette action consiste à construire de nouvelles infrastructures agricoles telles que : les barrages, les réseaux hydro-agricoles parce que la maîtrise de l'eau constitue un atout majeur pour le développement agricole. L'action d'encouragement des populations riveraines à pratiquer l'agriculture permanente et d'éviter le défrichement de la forêt doit être menée. L'action consiste aussi à protéger le bassin versant contre l'érosion c'est-à-dire protection des forêts en haute altitude ou en amont de bassin versant par sensibilisation de la population de l'effet de déforestation et la reforestation des zones défrichées.

Tableau 18 : Cadre logique

RÉSULTAT : Réduction à 90% de défrichement illicite et transfert jusqu'à 50% de forêt transférable dans le plan de zonage						
	Sous-objectif	Activité	Echéance	Responsable	IOV	Source de vérification
Améliorer la gouvernance du paysage forestier	<i>Aider les communautés locales à gérer durablement les forêts</i>	Négocier et mettre en œuvre le mode de gestion participatif de la forêt	CT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Au moins 3 statuts identifiés adaptés au système de contrôle	Photos aériennes Contrats et plans de gestion locaux Rapport d'évaluation de transfert de gestion
					Zone à risque identifié	
		Etudier les différentes fonctions des forêts et les besoins des communautés	MT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...) COBA	Nombre d'espèce identifié	
		Renforcer les capacités des communautés villageoises et appuis à la constitution de COBA	MT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Au moins 75% de communauté	

			Partenaire local	connaissse leur droit et obligation	
<i>Mettre en œuvre de mode d'exploitation communautaire</i>	Former les associations communautaires sur le plan technique et organisationnel	MT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Nombre des bucherons formés. Matériel donné aux communautés	Conventions officielles; Registres communaux
	Négocier et contractualiser les modes d'exploitation et de contrôle avec les populations locales	LT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Zone d'exploitation identifiée Potentialité de marché de filière bois formelles et durables	Conventions officielles; Registres communaux

RÉSULTAT : Augmentation au moins 50 % de la production Agricole						
	Sous-objectifs	Activités	Echéance	Responsables	IOV	Source de vérification
Améliorer la gouvernance du paysage forestier	<i>Aider les communautés locales à gérer durablement les forêts</i>	Renforcer les capacités techniques des populations locales en termes d'utilisation des terres	CT - LT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Au moins 75% des ménages sont formés sur les techniques agricoles Population locale capable d'appliquer la technique sur terrain	Rapport d'activités
		Appuyer matériellement de communauté locale	MT - LT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Nombre de COBA bénéficient de matériels et équipement agricole	Rapport d'activités
	<i>Augmenter la superficie de terrain</i>	Développer le plan d'aménagement des bassins versant	MT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...) COBA	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...) COBA	Rapport d'activités

<i>aménageable hors forêt.</i>					
	Réhabiliter et construire des infrastructures agricoles	LT	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...)	Prestataire de service (bureau d'études, ONG,...) COBA	Rapport d'activités

CONCLUSION

5. CONCLUSION

Les écorégions Est et Ouest de Madagascar ont des caractéristiques totalement différentes. Elles abritent une grande diversité floristique et faunistique exceptionnelle. Pourtant, la déforestation demeure un phénomène de longue date qui modifie actuellement le paysage forestier de ces zones. Les pressions et menaces qui pèsent sur les écosystèmes forestiers ainsi qu'à la biodiversité sont dues essentiellement aux activités anthropiques. D'où l'importance d'étudier la dynamique spatio-temporelle du paysage forestier à l'échelle écorégionale pour mieux gérer ces ressources naturelles. Cette étude utilise les images satellitaires *Landsat* comme base de données pour détecter les différents changements spatio-temporels du paysage entre la date de 1994, 2004 et 2014. L'outil SIG et télédétection permettent de collecter les informations utiles pendant l'investigation. Tandis que le calcul des différents indices spatiaux permet de connaître la structure actuelle du paysage et la pression qui pèsent.

Afin d'analyser le changement de l'occupation du sol, les résultats de la classification semi-supervisée des images *Landsat* ont été validés par la matrice de confusion et l'indice de Kappa pour la précision de la classification qui est conventionnellement acceptable pour étudier la dynamique spatio-temporelle avec une valeur de 0.73 (écorégion Est) et 0.67 (écorégion Ouest) malgré la difficulté dans la classification. Tandis que pour l'analyse latitudinale du paysage les données de base sont obtenues par l'extraction de modèle numérique de terrain SRTM et l'isolement des différentes zones suivant le gradient d'altitude.

A l'issue de cette étude, l'interprétation de la matrice de transition montre les différents changements des unités de paysages dont l'importance de la dégradation des forêts entre les années 1994-2004. Ce rythme connaît une nette diminution pour l'écorégion Est contrairement au cas de l'écorégion Ouest qui persiste encore actuellement. Cette dégradation est expliquée par les effets des différentes activités anthropiques qui provoquent la fragmentation des écosystèmes forestiers. En intégrant le facteur topographique de la zone étudiée, il a été démontré que le taux de déforestation est fonction croissante de l'élévation d'altitude. Autrement dit, pour satisfaire à leurs besoins et augmenter ainsi leurs zones d'exploitation agricoles, les populations riveraines exploitent les basses et les moyennes altitudes qui sont plus accessibles, ce qui provoque d'importants défrichements dans ces zones.

En effet, l'utilisation des images *Landsat* permet une visualisation globale du paysage et une projection de l'espace. Mais pour une analyse paysagère, il est nécessaire de voir les détails. Pour cela, l'utilisation de l'image à haute résolution comme l'image SPOT peut être intéressante pour faire l'analyse.

Face à ces pressions qui pèsent sur les écosystèmes forestiers, l'idée de gérer durablement le paysage forestier pour la réduction de la pauvreté constitue un point de réflexion qui mérite toujours d'être appuyé par d'autres recherches.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ ABD EL-KAWY, O.R., ROD, J.K., ISMAIL, H. A., SULIMAN, A. S. (2011). "Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data". *Appl. Geogr.* **31**: 483–494. doi:10.1016/j.apgeog.2010.10.012
- ❖ ANDERSON. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data.*, U.S. Geolo. ed. Washington, DC.
- ❖ BAMBA, I. (2010). *Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en republique democratique du congo*. Doctorat en Science d'Ecologie du paysage et de système de production végétale, Faculté des Science, Université Libre de Bruxelles. 1–205
- ❖ BARIMA, Y.S.S. (2009). *Dynamique, fragmentation et diversité végétale des paysages forestiers en milieux de transition forêt-savane dans le Département de Tanda (Côte d'Ivoire)*. Université Libre de Bruxelles.
- ❖ BENHADJ, I. (2008). *Observation spatiale de l'irrigation d'agrosystèmes semi-arides et Gestion durable de la ressource en eau en plaine de Marrakech*. Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- ❖ BOGAERT, J., BAMBA, I., KOFFI, K.J., SIBOMANA, S., DJIBU, J.P.K., CHAMPLUVIER, D., ROBBRECHT, E., DE CANNIERE, C., VISSER, M.N. (2008). *Fragmentation of Forest Landscapes in Central Africa: Causes, Consequences and Management, Patterns and Processes* IN *FOREST LANDSCAPES: MULTIPLE USE AND SUSTAINABLE MANAGEMENT*.
- ❖ BOGAERT, J., BARIMA, Y.S.S., MONGO, L.I.W., BAMBA, I., MAMA, A., TOYI, M., LAFORTEZZA, R. (2011). "Forest Fragmentation: Causes, Ecological Impacts and Implications for Landscape Management". *Landsc. Ecol. For. Manag. Conserv.* 273–296. doi:10.1007/978-3-642-12754-0_12
- ❖ BOGAERT, J., MAHAMANE, A. (2005). *Ecologie du paysage : cibler la configuration et l' échelle spatiale* 1–18.
- ❖ BRIMONT, L., EZZINE-DE-BLAS, D., KARSENTY, A., TOULON, A. (2015). "Achieving Conservation and Equity amidst Extreme Poverty and Climate Risk: The Makira REDD+ Project in Madagascar". *Forests* **6**: 748–768. doi:10.3390/f6030748
- ❖ BUREL, F., BAUDRY, J. (2003). *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris France.
- ❖ CAMPBELL, (2002). Introduction to remote sensing, *The Guilford Press*,. New York.
- ❖ CARONE, M.T., SIMONIELLO, T. (2006). "Landscape metrics temporal dynamics in a mediterranean Area. patterns Process". *For. Landsc.* 3.

- ❖ CARRET, J.C., RAJAONSON, B., FENO, P.J. (2009). *L' Environnement a Madagascar : Un Atout a Preserver , Des Enjeux a Maitriser*. **6**: 105–128.
- ❖ CATHERINE, G. (2012). *Base de connaissances ornithologiques et spectrales relative aux écosystèmes fréquentés par les limnicoles dans les Petites Antilles*. Caribsat. Programme interreg Caraïbes.
- ❖ CHRISTINE, C. (2013). *SIG: Définition*. [Consulté le 12 juin 2015]. [En ligne] disponible sur: <http://sig-pour-tous.forumactif.com>
- ❖ CI, (2011). *Restauration forestière à Madagascar*.
- ❖ CNFEREF, (2014). *Iventaire de references des sites du projet MRPA*.
- ❖ CONGALTON, R.G. (1991). *A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data* **46**: 35–46.
- ❖ CONGALTON, R.G., MEAD, R. A, (1983). “A Quantitative Method to Test for Consistency and Correctness in Photointerpretation”. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **49**: 69–74.
- ❖ CREAM, C.d. (2013). *Monographie Région Alaotra Mangoro*
- ❖ CREAM, C.d. (2013). *Monographie Région Analanjirofo*
- ❖ CREAM, C.d. (2013). *Monographie Région Bongolava*
- ❖ CREAM, C.d. (2014). *Monographie Région Antsinanana*
- ❖ CREAM, C.d. (2013). *Monographie Région Betsiboka*
- ❖ CREAM, C.d. (2013). *Monographie Région Melaky*
- ❖ DE CLERCQ, E.M., DE WULF, R., VAN HERZELE, A. (2007). “Relating spatial pattern of forest cover to accessibility”. *Landsc. Urban Plan.* **80**: 14–22.
doi:10.1016/j.landurbplan.2006.04.007
- ❖ DIRAC RAMOHAVELO, C., SORG, J.-P., BUTTLER, A., REINHARD, M. (2014). *Recommandations pour une agriculture plus écologique respectant les besoins socio miques locaux , région du Menabe Central , côte ouest de Madagascar*. Madagascar consevation Dev. **9**:13–18. doi:<http://dx.doi.org/10.4314/mcd.v9i1.3>
- ❖ DIVYANI, K. (2006). *Spatio-Temporal Gradient Modeling Of Land cover Change*. International Institute for Geo-information science and earth observation enschede, *The Netherlands*.
- ❖ EVANS, I.S., MINÁR, J. (2011). *A classification of geomorphometric variables* 105–108.
- ❖ FAO, (2010). *Evaluation des ressources forestières mondiales*.
- ❖ FAO, (2007). *Manual on Deforestation, Degradation, and Fragmentation Using Remote Sensing and Gis Prepared By Giri Tejaswi Rome. (2007). Strengthening Monitoring, Assessment and Reporting on Sustainable Forest Management in Asia (Gcp/Int/988/Jpn)*.
- ❖ FAO, (2003). *Role des plantations forestières et des arbres hors forêts dans l'aménagement forestier durable*.
- ❖ FAO, (2014). *Renforcement des activités relatives aux forêts boréales* 1-5.

- ❖ FCPF, (2014). *Proposition des mesures pour l'état de préparation(R-PP) madagascar*.
- ❖ FOODY, G. (2010). Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data **2285**: 2271–2285.
- ❖ FORMAN, GORDON, (1987). *Landscape ecology*, J. Wiley a. ed. New York.
- ❖ FUJIHARA, M., KIKUCHI, T. (2005). “Changes in the landscape structure of the Nagara River Basin, central Japan. ” *Landsc. Urban Plan.* 70, 271–281.
doi:10.1016/j.landurbplan.2003.10.027
- ❖ GARDI, C., DALL’OLIO, N., CAVALLO, M.C. (2011). “Urbanization Process and Variation of Energy Budget of Land Surfaces”. *Ital. J. Agron.* 2: 119–125. doi:10.4081/ija.2007.119
- ❖ GODARD, V.(2005). “Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999”. *Rev. Int. géomatique* .15: 281–302.
doi:10.3166/rig.15.281-302
- ❖ GRADY, H. (2011). “Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar”. *Environmental Conservation.* 34 (4): 325–333. doi:10.1017/S0376892907004262
- ❖ GREEN, G.M., SUSSMAN, R.W. (1990). *Deforestation History of the Eastern Rain Forests of Madagascar from Satellite Images*.
- ❖ GRINAND, C. (2010). *Développement d ’ une méthode de spatialisation des stocks de carbone dans le sol à l ’ échelle régionale Application à un projet REDD à Madagascar*. WWF, Goodplanet , IRD, CNES.
- ❖ HOUNTONDJI, Y.-C.H. (2008). *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l ’ Afrique de l ’ Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*. Doctorat en Science, Departement des Sciences et Gestion de l’Environnement – Université de Liège. 153.
- ❖ HULME, P.E. (2005). “Adapting to climate change: Is there scope for ecological management in the face of a global threat”. *J. Appl. Ecol.* 42: 784–794. doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01082.x
- ❖ JAIN, S., KOHLI, D., RAO, R.M., BIJKER, W. (2011). “Spatial Metrics to Analyse the Impact of Regional Factors on Pattern of Urbanisation in Gurgaon, India”. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 39: 203–212. doi:10.1007/s12524-011-0088-0
- ❖ KELLY, M. (2005). Identification cartographique des unités paysagères de Forêt sèche de la Nouvelle-Calédonie.
- ❖ LANDIS, J.R., KOCH, G.G. (1977). “The measurement of observer agreement for categorical data”. *Biometrics* 33: 159–174. doi:10.2307/2529310
- ❖ LOCATELLI, B. (2000). *Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar)*. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts Centre de Montpellier.

- ❖ LORGULESCU, SCHLAEPFER, (2002). *Paysage en tant qu'écocomplexe: définition, types, caractéristiques, fonctionnement et fonctions*. Ecole Polytechnique de Lausanne.
- ❖ M.GOODMAN, S. (2008). *Paysages naturels et biodiversité de Madagascar*, Muséum nat. ed. Paris.
- ❖ MAHAMANE, A., MAHAMANE, S., YACOUBOU, B., ISSAKA, A., ICHAOU, A., SALEY, K. (2007). *Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi* *Sècheresse* **18** (4): 296–304.
- ❖ MAMA, A. (2013). *Anthropisation des paysages au Bénin : dynamique, fragmentation et développement agricole*. Université Libre de Bruxelles.
- ❖ MATSUSHITA, B., XU, M., FUKUSHIMA, T. (2006). "Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset". *Landsc. Urban Plan.* **78**: 241–250. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.08.003
- ❖ MBG, (2013). *Evaluation écologique des bois précieux* 140.
- ❖ MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S. (2002). "Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects". *Ecol. Appl.* **12**: 335–345. doi:10.1890/1051-0761(2002)012[0335:CEOEAT]2.0.CO;2
- ❖ MEA, (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Ecosystems*. doi:10.1196/annals.1439.003
- ❖ MOAT, J., SMITH, P.P. (2007). *Atlas of the vegetation of Madagascar*. Royal Botanic Garden, Kew.
- ❖ NOUMI, V.N., ZAPFACK, L., SONKE, B. (2011). "Ecological behaviour and biogeography of endemic species of the genus Piper L. in Africa : A case of the Guineo-Congolese region" *African Journal of Plant Science* **5**: 248–263.
- ❖ ONE, DGF, FTM & CI. (2013). *Evolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar 2005-2010*, Antananarivo.
- ❖ OSZWALD, J., LEFEBVRE, A., SARTRE, X.A. DE, THALES, M., OSZWALD, J., LEFEBVRE, A., SARTRE, X.A. DE, THALES, M., GOND, V. (2010). *Analyse des directions de changement des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Macaranduba (Pará , Brésil) entre 1997 et 2006*. *Revue de télédétection* **9**: 97–111.
- ❖ PETER AUGUST, L.I., NUGRANAD, J. (2002). "Human Conversion of Terrestrial Habitats". *Appl. Landsc. Ecol. Biol. Conserv.* 198.
- ❖ PNUE & MEF. (2014). *Cinquième rapport national de la Convention sur la Diversité Biologique – Madagascar*.
- ❖ PONTIUS, R.G. (2000). "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps". *Photogramm. Eng. Remote Sensing*. doi:Cited By (since 1996) 180 Export Date 10 May 2012

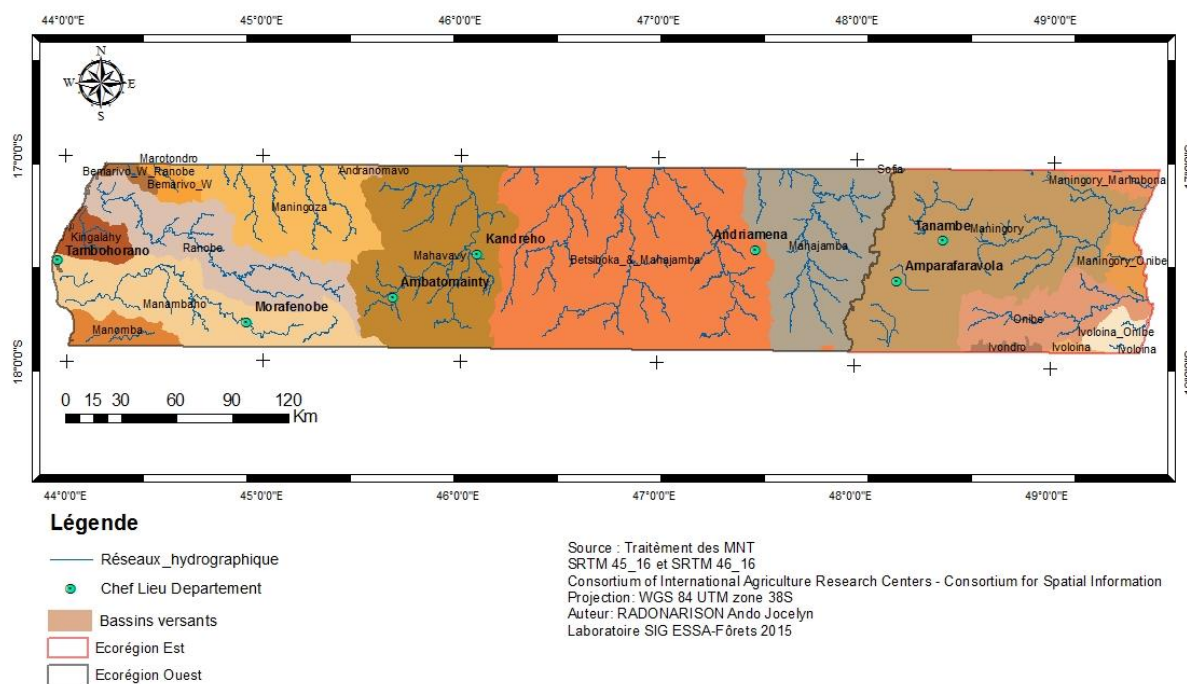
- ❖ PUY, D.D.U., MOAT, J. (1996). *A Refined Classification of the Primary Vegetation of Madagascar Based on the Underlying Geology : Using Gis To Map Its Distribution and To Assess its Coservations Statuts*. Proceeding of the International Symposium on the Biogeography de Madagascar. 205–218. Ed. ORSTOM, Paris.
- ❖ RABENILALANA, M. (2011). *Dynamique du paysage de la foret dense humide de basse altitude Cas de Manompana - nord-est de Madagascar*. Doctorat en Science Agronomique, Departement des Eaux et Forêts, Ecole Supérieur des Sciences Agronomique – Université d’Antananarivo.
- ❖ RABETALIANA, H., BERTRAND, A., RAZAFIMAMONJY, N., RABEMANANJARA, E. (2003). *Dynamiques des forêts naturelles de montagne à Madagascar*. Bois Forêts des Trop. **276**: 59–72.
- ❖ RADJA, K. (2008). *Contribution au developpement de methodologies de fusion/classification contextuelles d’images satellitaires multi-sources*. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.
- ❖ RAHARINIRINA, V. (2005). *Les débats autour de la valorisation économique de la biodiversité par les accords de bioprospection en Afrique : cas de Madagascar*, in: *Economie de L’environnement et Des Ressources Naturelles*, Revue Liaison Energie- Francophonie (LEF). n°66-67, pp. 82–92.
- ❖ RAKOTO, Y.P. (2014). *Dynamique du paysage dans le Kolo Ala Manompana : entre interventions des acteurs et contraintes topographiques*. DEA en Foresterie Développement Environnement, ESSA-Forêt, Université d’Antananarivo.
- ❖ RAKOTOARIMANANA, V., GROUZIS, M., FLOC, E. LE, (2008). *Influence du feu et du pâturage sur l ’ évolution de la phytomasse d ’ une savane à Heteropogon contortus de la région de Sakaraha (sud-ouest de Madagascar)*. Tropiculture **26**(1) : 56–60.
- ❖ RAMAMONJISOA, B.S. (2004). “Origines et impacts des politiques de gestion des ressources naturelles à Madagascar”. *Schweiz. Z. Forstwes.* **155** (11): 467–475.
- ❖ RANAIVOSON, N.R.. (2006). *Dynamique du système d ’ élevage bovin dans une zone péri-forestière de madagascar dynamique du système d ’ élevage bovin dans une zone péri-forestière de Madagascar*. DEA en Agro-Management , ESSA-Management- Université d’Antananarivo.
- ❖ RANDRIANARISON, A. (2012). *Dynamique des ecosystemes forestiers en contact avec les savanes dans le corridor forestier de fianarantsoa (sahabe-ambohimahamasina)*. Faculté des Sciences, Université d’Antananarivo.
- ❖ RASOLOFOHARINORO, M., BELLAN, M., BLASCO, F. (1997). *La reconstitution végétale après agriculture itinérante à Andasibe-Périnet (Madagascar)*. *Ecologie.* **2**: 149–165.
- ❖ RATOVOSON, A.. (2011). *Analyse de la dynamique spatiotemporelle des paysages dans la Région d’Analanjirofo*. Mémoire d’ingénieur. ESSA-Forêts. Université d’Antananarivo.

- ❖ RAVOAVY, L., MESSERLI, P. (2001). *La culture sans brulis, une possibilite d'alternative aux tavy : Résultats des essais effectués dans la région de Beforona : cote Est*. CNRE/IRD, Antananarivo. 293-304
- ❖ RAZAFIMAMONJY, N. (2001). *Contribution à l'évaluation des utilisations actuelles et potentielles d'un espace forestier face à une perspective de transfert de gestion des ressources naturelles, commune d'Ambohimahasina, Fianarantsoa, Madagascar*. Université d'Antananarivo, Université Montesquieu-Bordeaux.
- ❖ ROCHE, P. (1998). *Dynamique de la biodiversité et action de l'homme*. Paris, France.
- ❖ ROELEN, J., VALLAURI, D., RAZAFIMAHATRATRA, A. (2010). *Restauration des paysages forestières : cinq ans de réalisation à Fandriana-Marolambo*. Rapport-WWF, 92.
- ❖ SARR, M.-A. (2008). *Variabilité pluviométrique en afrique de l'Ouest: dynamique des espaces végétaux à partir des images satellitales. Exemple du bassin versant du Ferlo (Sénégal)*. Journées Climatol. 57–76.
- ❖ TAIBOU, B., DIEYNABA, S. (2012). *Dynamique de l'occupation des Sols cartographie des CLPA, des zones de peche et mise en place d'un système d'information géographique*. Sénégal: Centre de Suivi Ecologique et USAID/COMFISH Project, University of Rhode Island, Narragansett RI.
- ❖ TOLEDO, M., SALICK. (2006). "Secondary Succession and Indigenous Management in Semideciduous Forest Fallows of the Amazon Basin". *Biotropica*. **38** : 1-10
- ❖ THE WORLD BANK, (2010). *The Changing Wealth of Nations, World Bank* [Data File]. doi:10.1596/978-0-8213-8488-6
- ❖ VENTURELLI, R.C., GALLI, A. (2006). "Integrated indicators in environmental planning: Methodological considerations and applications". *Ecol. Indic.* **6**: 228–237. doi:10.1016/j.ecolind.2005.08.023
- ❖ WWF, (2004). *Récréer des forets tropicales sèches en Nouvelle-Calédonie*.
- ❖ YANG, L., MENG, X., ZHANG, X. (2011). SRTM DEM and its application advances. *Int. J. Remote Sens.* **32**: 3875–3896. doi:10.1080/01431161003786016
- ❖ ZHANG, J., LI, P., WANG, J. (2014). "Urban Built-Up Area Extraction from Landsat TM/ETM+ Images Using Spectral Information and Multivariate Texture". *Journal of Environmental Management* **85**: 7339–7359. doi:10.3390/rs6087339
- ❖ ZHANG, Q., WANG, J., PENG, X., GONG, P., SHI, P. (2002). "Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data". *Int. J. Remote Sens.* **23**: 3057–3078. doi:10.1080/01431160110104728
- ❖ Zheng, G., Chen, J.M., Tian, Q.J., Ju, W.M., Xia, X.Q., 2007. "Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping". *Journal of Environmental Management*. **85**: 616–623. doi:10.1016/j.jenvman.2006.07.015

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1. : Hydrographie de la zone d'étude



Annexe 2: Matrice de transition de l'écorégion Est (valeur en Ha)

1994-2014							
	MAR	SAV	FDH	FS	ZDC	EAU	Total
MAR	27 726,32	1 155,26	-	866,45	5 343,09	1 299,67	36 535,20
SAV	577,63	317 119,75	23 538,49	93 431,91	144,41	9 097,70	443 909,88
FDH	-	16 029,28	232 785,53	77 980,27	288,82	722,04	327 661,53
FS	866,45	61 662,17	36 824,01	395 533,24	16 029,28	1 299,67	512 648,05
ZDC	8 086,84	5 776,32	288,82	1 444,08	77 691,45	1 877,30	95 020,40
EAU	1 588,49	1 010,86	433,22	866,45	1 155,26	23 105,26	28 303,95
TOTAL	38 845,73	402 753,63	293 870,08	570 122,39	100 652,31	37 401,65	1 444 079,00
1994-2004							
MAR	26 715,46	2 888,16	144,41	1 155,26	2 454,93	3 176,97	36 535,20
SAV	577,63	294 303,30	22 960,86	116 103,95	8 086,84	1 732,89	443 909,88
FS	-	15 740,46	236 106,92	75 236,52	144,41	433,22	327 661,53
FDG	1 299,67	62 961,84	43 755,59	395 533,24	6 642,76	2 454,93	512 648,05
ZDC	8 664,47	13 863,16	288,82	2 454,93	62 817,44	6 931,58	95 020,40
EAU	1 155,26	1 010,86	433,22	1 444,08	144,41	24 260,53	28 303,95
Total	38 556,91	390 912,19	303 689,81	591 783,57	80 146,38	39 134,54	1 444 079,00
Superficie stable (1994-2014) : 1.073.961,55 ha (65,22%)							
Superficie modifiée (1994-2014) : 370.117,45 ha (34,78%)							
2004-2014							
MAR	26 715,46	866,45	-	433,22	8 664,47	1 732,89	38 556,91
SAV	3 321,38	302 823,37	13 863,16	53 575,33	8 520,07	8 808,88	390 912,19
FDH	144,41	10 975,00	233 363,17	58 051,98	288,82	866,45	303 689,81
FS	577,63	81 012,83	45 488,49	454 740,48	7 798,03	2 021,71	591 783,57
ZDC	5 198,68	4 765,46	577,63	1 444,08	67 149,67	1 010,86	80 146,38
EAU	3 032,57	2 021,71	577,63	2 310,53	8 086,84	23 249,67	39 134,54
Total	38 845,73	402 609,23	293 870,08	570 555,61	100 652,31	37 546,05	1 444 079,00
Superficie modifiée (1994-2004) : 404.342,12 ha (31,33%)							
Superficie stable (2004-2014) : 1.108.041,82 ha (76,73%)							
Superficie modifiée (2004-2014) : 336.037,18ha (23,27%)							

Annexe 3:Matrice de transition de l'écorégion Ouest (valeur en Ha)

1994-2014									
	EAU	FDS	CSB	MAG	MOS	SAV	SLN	NC	TOTAL
EAU	35 921,27	2 477,33	1 238,66	1 238,66	4 541,77	7 019,10	4 541,77	-	56 978,57
FDS	3 715,99	267 964,44	67 713,66	412,89	18 992,86	64 410,56	3 303,11	2 064,44	428 577,95
CSB	825,78	22 708,85	296 453,73	-	1 238,66	268 377,33	19 818,63	7 019,10	616 442,08
MANG	4 128,88	-	-	9 496,43	825,78	-	-	-	14 451,09
MOS	2 477,33	8 257,76	2 064,44	412,89	37 159,94	5 367,55	1 651,55	-	57 391,46
SAV	5 367,55	58 217,24	518 174,69	-	8 257,76	1 892 679,51	156 484,63	11 560,87	2 650 742,24
SLN	9 909,32	2 064,44	22 295,96	-	3 715,99	113 131,37	153 181,52	-	304 298,60
TOTAL	62 346,12	361 690,06	907 941,15	11 560,87	74 732,76	2 350 985,41	338 981,21	20 644,41	4 128 882,00
1994-2004									
EAU	40 463,04	-	2 064,44	1 238,66	825,78	4 541,77	7 844,88	-	56 978,57
FDS	412,89	279 938,20	68 126,55	-	11 973,76	66 887,89	1 238,66	-	428 577,95
CSB	825,78	60 281,68	229 978,73	-	2 890,22	322 052,80	412,89	-	616 442,08
MANG	1 651,55	-	-	8 257,76	-	4 541,77	-	-	14 451,09
MOS	2 477,33	13 625,31	2 477,33	-	37 159,94	1 238,66	412,89	-	57 391,46
SAV	6 193,32	37 985,71	412 888,20	-	15 276,86	2 062 789,45	115 608,70	-	2 650 742,24
SLN	10 735,09	2 477,33	8 257,76	-	12 799,53	93 312,73	176 716,15	-	304 298,60
Total	62 759,01	394 308,23	723 793,01	9 496,43	80 926,09	2 555 365,07	302 234,16	-	4 128 882,00
2004-2014									
EAU	41 288,82	825,78	4 541,77	1 651,55	4 128,88	5 780,43	4 541,77	-	62 759,01
FDS	2 064,44	258 468,01	47 895,03	412,89	21 057,30	61 933,23	1 651,55	825,78	394 308,23
CSB	1 238,66	60 281,68	412 888,20	-	2 064,44	227 914,29	12 799,53	6 606,21	723 793,01

MANG	412,89	-	-	9 083,54	-	-	-		9 496,43
MOS	1 651,55	8 257,76	4 954,66	412,89	42 527,48	16 928,42	6 193,32		80 926,09
SAV	4 954,66	33 031,06	424 449,07	-	3 303,11	1 946 767,86	130 059,78	12 799,53	2 555 365,07
SLN	10 735,09	825,78	13 212,42	-	1 651,55	91 661,18	183 735,25	412,89	302 234,16

2004-2014

	EAU	FDS	CSB	MAG	MOS	SAV	SLN	NC	TOTAL
TOTAL	62 346,12	361 690,06	907 941,15	11 560,87	74 732,76	2 350 985,41	338 981,21	20 644,41	4 128 882,00

Superficie stable (1994-2014) : 2.692.856,84 ha (65,22%)

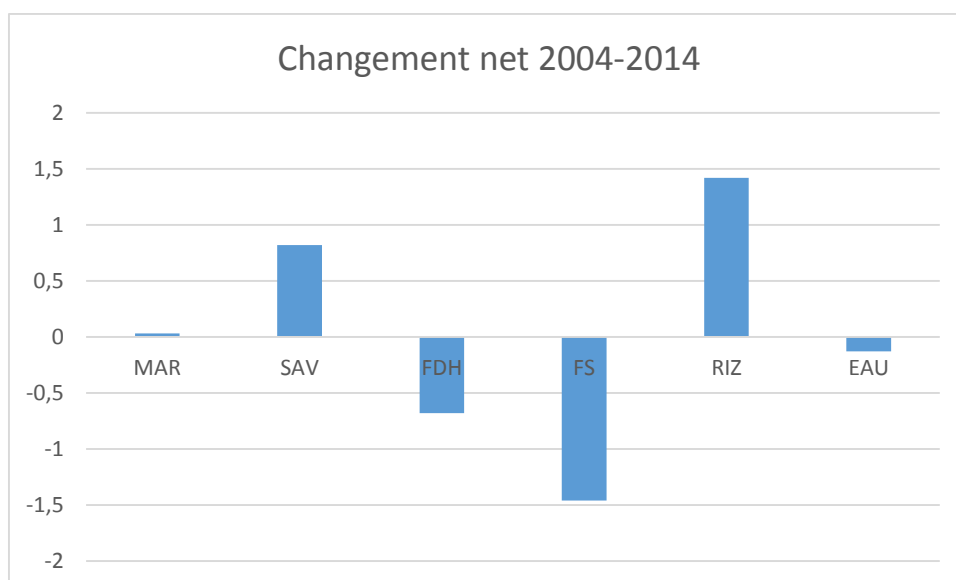
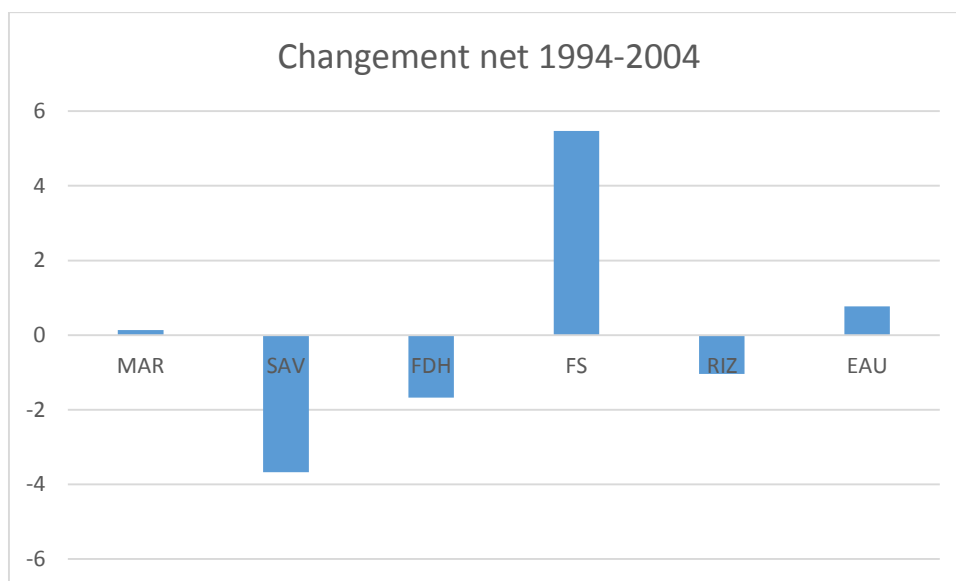
Superficie modifiée (1994-2014) : 1.436.025,16 ha (34,78%)

Superficie stable (1994-2004) : 2.835.303,27 ha (68,67%)

Superficie modifiée (1994-2004) : 1.293.578,73 ha (31,33%)

Superficie stable (2004-2014) : 2.894.759,17 ha (70,11%)

Superficie modifiée (2004-2014) : 1.234.122,83 ha (29,88%)

Annexe 4 : Taux de changement net de l'écorégion Est 1994-2004 et 2004-2014

Annexe 5. Taux de changement net de l'écorégion Ouest 1994-2004 et 2004-2014