

Tahinarivony, J.A., Rasoanaivo, N.S., Ranirison, P., Rasolofo, N., Gautier, L. 2015. Historique de la colonisation du milieu de la presqu'île d'Ampasindava : transformations du paysage et système de conservation. *Madagascar Conservation & Development* 10, 2: 77–84. <http://dx.doi.org.104314/mcd.v10i2.6>  
Supplementary Material

Tahinarivony, A. J. 2014. Analyse Typologique et Cartographique de la Transformation du Paysage de la Presqu'île d'Ampasindava, Domaine du Sambirano (NW-Madagascar). Mémoire de Certificat en Géomatique. Université de Genève.

MEMOIRE DE CERTIFICAT COMPLEMENTAIRE EN GEOMATIQUE

**ANALYSE TYPOLOGIQUE ET CARTOGRAPHIQUE DE LA TRANSFORMATION DU PAYSAGE DE LA  
PRESQU'ÎLE D'AMPASINDAVA, DOMAINE DU SAMBIRANO (NW-MADAGASCAR)**



Jacques A.TAHINARIVONY

Mars 2014

Laboratoire de Botanique Systématique et Biodiversité  
Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève

Quoc-Hy DAO, Université de Genève  
Edmond ROGER, Université d'Antananarivo  
Laurent GAUTIER, Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève

## Table des matières

I-	CONTEXTE .....	1
I-1	Madagascar, un sanctuaire de la nature.....	1
I-2	La déforestation au niveau national .....	1
I-3	La déforestation au niveau régional : la région DIANA .....	2
II-	CADRE DE L'ÉTUDE.....	4
II-1	Milieu abiotique.....	4
II-1-1	Situation géographique.....	4
II-1-2	Relief et topographie .....	4
II-1-3	Géologie et pédologie de la presqu'île d'Ampasindava .....	5
II-1-4	Climat .....	5
II-2	Milieu biotique .....	7
II-2-1	La presqu'île d'Ampasindava dans le domaine du Sambirano .....	7
III-	METHODES .....	10
III-1	Aperçu de l'approche méthodologique .....	10
III-2	Étude de la végétation.....	11
III-2-1	Méthode de relevé rapide de la végétation .....	11
III-2-2	Relevé mixte surface-ligne de la végétation .....	11
III-2-3	Descripteurs structuraux de la forêt et de la végétation.....	12
III-2-4	Analyses des données.....	13
III-3	Analyses et traitements d'images .....	13
III-3-1	Les images satellitaires .....	13
III-3-2	Traitement des images .....	14
III-4	Méthode d'analyse de changements des paysages.....	16
III-4-1	Éléments d'étude dans l'écologie du paysage.....	16
III-4-2	Analyse de la fragmentation et de la dégradation du paysage .....	17
IV-	RESULTATS.....	20
IV-1	Analyses descriptives de la structure de la végétation .....	20
IV-1-1	Comparaison des données des groupes .....	22
IV-1-2	Description des groupements végétaux .....	23
IV-2	NDVI et descripteurs de la typologie de la végétation.....	25
IV-3	Couverture végétale de la presqu'île d'Ampasindava .....	27
IV-4	Analyse des changements du paysage de la presqu'île d'Ampasindava .....	30

IV-4-1 Analyse descriptive des changements des types de formations.....	30
IV-4-2 Analyse quantitative de changements par l'utilisation des indices paysagers .....	32
V- DISCUSSION.....	35
V-1 Méthodologie et données antérieures .....	35
V-2 Analyse de la fragmentation et dégradation des forêts .....	35
V-3 Sources et causes des changements .....	37

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques des différentes bandes spectrales des images satellitaires utilisées.....	15
Tableau 2: p-values obtenues par test de comparaison des moyennes d'IndContact et Hmax .....	23
Tableau 3: p-value obtenues par test de comparaison des moyennes de Biovolume et du Nombre de Contacts/Nombre d'individus .....	23
Tableau 4 : Comparaison des indices de composition au niveau du paysage .....	32
Tableau 5: Comparaison des indices de composition au niveau des classes.....	33
Tableau 6 : Comparaison des valeurs des indices de fragmentation et d'agrégation au niveau du paysage .....	33
Tableau 7: Comparaison des valeurs des indices de fragmentation et d'agrégation au niveau des classes .....	34

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Domaine du Sambirano dans le nord-ouest de Madagascar (Composition colorée RVB, Landsat 2013) .....	3
Figure 2 : Localisation de la presqu'île d'Ampasindava.....	4
Figure 3: Relief de la presqu'île d'Ampasindava .....	5
Figure 4: Diagramme ombrothermique de Nosy-be.....	6
Figure 5: Vue en perspective de la partie nord de Madagascar vue du côté ouest (Élaborée par C. Chatelain à partir de la carte des domaines phytogéographiques d'Humbert, 1955). .....	7
Figure 6: Fréquence d'exploration botanique dans les différents sites du domaine du Sambirano .....	8
Figure 7: Carte de feux en forêt de 2002 en 2011 .....	9
Figure 8 : Schéma de l'approche méthodologique .....	10
Figure 9 : Composition colorée 4, 6 et 7 (août 2013).....	14
Figure 10: Arbre de décision de la caractérisation des changements entre 1991-2013 de la presqu'île d'Ampasindava ; Inspiré du modèle de Bogaert et al. (2004).....	18
Figure 11 : dendrogramme de classification des 94 relevés de végétations .....	21
Figure 12 : Types de formations de chaque groupement végétal de la presqu'île d'Ampasindava .....	21
Figure 13 : Distribution des valeurs des descripteurs par groupe.....	22
Figure 14 : Exemples de profils structuraux des quatre groupements végétaux .....	25
Figure 15 : Différences de NDVI entre les groupes .....	26
Figure 16 : Distribution des valeurs de NDVI en fonction de la surface terrière (Gi), de la moyenne des hauteurs maximales (max) du taux de recouvrement et de la densité. ....	27
Figure 17 : Couverture végétale de la presqu'île d'Ampasindava en 1991.....	28
Figure 18 : Couverture végétale de la presqu'île d'Ampasindava en 2013.....	29
Figure 19 : Taux d'occupation des classes en 1991 .....	31
Figure 20: Taux d'occupation des classes en 2013.....	31
Figure 21: Histogramme de comparaison des changements du taux d'occupation des classes entre 1991 et 2013. ....	32
Figure 22 : Carte de changement de la couverture forestière de la presqu'île d'Ampasindava.....	36

## LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Comparaison des estimations historiques du couvert national (dérivé de IEFN) en hectares. (Source : IEFN et Landsat. + MSS, couvert forestier superficies non compris dans IEFN ) (Dufils, 2008) .....	I
Annexe II : Données de déforestation nationale entre 1990 et 2010 (CI et Ministère des Forêts, 2010) .....	II
Annexe III : Données cartographiques des changements des types d'occupation du sol entre 1975-2000 de la région DIANA.....	II
Annexe IV : Géologie et pédologie de la Presqu'île d'Ampasindava .....	III
Annexe V : Matrice de confusion 1991 .....	IV
Annexe VI : Matrice de confusion 2013 .....	IV

## RÉSUMÉ

Le domaine phytogéographique du Sambirano, dans le nord-ouest de Madagascar est très particulier par sa grande richesse en biodiversité. La flore conserve un taux d'endémicité élevé et la forêt possède des caractéristiques physiologiques et structurales similaires à celle du domaine de l'Est. A cause de l'agriculture itinérante ou « Tavy », beaucoup de forêts sont défrichées dans le domaine. Parmi les restes des forêts, une grande partie est rencontrée dans la presqu'île d'Ampasindava, qui représente environ 30% de la superficie totale du domaine du Sambirano. Elle abrite des forêts extrêmement riches en flore, composée de plusieurs espèces endémiques locales et nationales. Par contre, ces habitats sont fortement menacés par le tavy faute d'un système de législation mais aussi à cause de la forte dépendance des paysans aux ressources naturelles. Les données écologiques collectées depuis 2008 et les imageries satellitaires Landsat ont permis d'analyser la dégradation de forêts, d'étudier les changements produits entre les années 1991 et 2013 et d'identifier les zones prioritaires de conservation de la région. Les différentes classes d'occupation du sol utilisées dans la cartographie de la végétation ont été obtenues à partir des analyses des relevés de végétation par la méthode de classification ascendante hiérarchique. Les résultats des analyses des changements ont montré que les formations primaires se réduisent au détriment des formations secondaires. La presqu'île a perdu plus de 40.000 ha de forêts en vingt-deux ans, soit un rythme de 1800 ha/an. Si les forêts des massifs (Andranomatavy, Bongomirahavavy et Betsitsika) étaient connectées entre elles en 1991, maintenant elles sont devenues isolées et entourées par des formations secondaires. Les indices paysagers permettent d'interpréter ces changements comme un processus de simplification ou d'homogénéisation du paysage par la réduction du nombre de patchs, de la compaction et d'agrégation des différentes classes. Pour conserver les restes des forêts de la région et pour sauver les forêts du domaine du Sambirano, les massifs forestiers sont suggérés comme des zones nodales et les jeunes forêts secondaires voisines formeront les zones de développement. Les zonages et les délimitations sur le terrain seront concertés avec la population locale afin de mettre en place un système de gestion local accepté par tout le monde.

**MOTS-CLEFS :** *Madagascar, presqu'île d'Ampasindava, défrichement, conservation.*

## ABSTRACT

The Sambirano phytogeographic domain in the north-west of Madagascar is very particular for its great wealth of biodiversity. The flora preserves a high rate of endemism and the forest has physiognomical and structural characteristics similar to that of the Eastern domain. Because of shifting or "Tavy", most of forests are cleared. Most of the essential remains of forests are found in Ampasindava peninsula which represents approximately 30% of the total area of the Sambirano domain. It has forests extremely rich in flora, composed of several local and national endemic species. However these habitats are highly threatened by the tavy due to a lack of a system of law, but also because of the strong dependence of farmers on natural resources.

Ecological data collected since 2008 and Landsat satellite imagery was used to analyze the degradation of forests, to study the changes between 1991 and 2013 and to identify priority areas for conservation. The different land use classes in the mapping of vegetation were obtained from analyzes of vegetation relevés through hierarchical clustering. The results of analyzes of changes showed that primary forests are reduced at the expense of secondary formations. The peninsula has lost more than 40.000 ha of forests in twenty-two years, a rate of 1.800 ha / year. If the mountain forests (Andranomatavy, Bongomirahavavy and Betsitsika) were connected between them in 1991, now they are isolated and surrounded by secondary formations. The landscape indices reveal that these changes occurred through a process of simplification or homogenization of the landscape by reduction of the number of patches, compaction and aggregation of different classes. To conserve the remains of forests and to save the forests of the Sambirano domain, the mountain forests are suggested as nodal areas and young secondary forests in their neighborhoods as development areas. Zonation and limits on the field will be concerted with the local population to establish a local management system accepted by everyone.

**KEY WORDS:** *Madagascar, Ampasindava peninsula, deforestation, conservation*

## **REMERCIEMENTS**

Ce travail de mémoire n'aurait pas été sans la contribution de nombreuses personnes et institutions aussi bien ici à Genève, Suisse qu'à Madagascar. J'adresse tout d'abord mes remerciements à mes encadreurs à :

- Docteur Quoc-Hy DAO, directeur de ce travail et qui nous a beaucoup aidé et a encadré ce travail par ses conseils précis et rigoureux ;
- Docteur Laurent GAUTIER, qui a supervisé ce travail et a largement partagé ses connaissances pendant les collectes de données sur le terrain, durant les analyses et aussi dans la rédaction de ce travail ;
- Docteur Edmond ROGER qui m'a encadré et soutenu pendant la réalisation de ce travail.

Je remercie aussi toute l'équipe des Conservatoires et Jardin Botaniques de la Ville de Genève (CJB) et son directeur Pierre-André LOIZEAU pour l'accueil qui m'a été réservé, et particulièrement ceux qui sont dans le projet Madagascar : Dr Martin CALLMANDER, Dr Louis NUSBAUMER, Dr Cyrille CHATELAIN et Nathalie RASOLOFO. Je remercie vivement aussi les équipes de l'Association FAMELONA et de l'Association Vahatra à Madagascar. Merci également à la Fondation VONTOBEL et à la commission fédérale des bourses pour étudiants étrangers qui nous ont soutenu financièrement et qui nous ont permis de réaliser ce travail.

**Merci !!  
Misaotra sy mankasitraka !!**

## I- CONTEXTE

### I-1 Madagascar, un sanctuaire de la nature

Madagascar, une île de quelque 600.000 km<sup>2</sup>, réputée pour sa richesse exceptionnelle en biodiversité, en types d'habitats, avec des niveaux de diversité et d'endémisme très importants. Une isolation ancienne et des gradients environnementaux très importants sont à l'origine de ces particularités écologiques (Goodman & Benstead 2005). Les estimations actuelles démontrent que plus de 84% des angiospermes (Callmander et al. 2011), 92% des reptiles, 44% des oiseaux et 74% des papillons sont endémiques de l'île (Goodman & Benstead 2005 ; Kruger, 2007). Beaucoup de formules fortes sont en conséquence utilisées par les auteurs pour décrire la mégadiversité de la grande île: « un coffre-fort de la biodiversité », « un sanctuaire de la nature », « un joyau écologique », « un écrin d'une biodiversité inestimable » ou « un paradis de la nature » (Goedefroit 2002).

Madagascar est considéré comme une zone d'une richesse biologique importante mais exposée à plusieurs formes de menaces et pressions et le pays figure parmi les hotspots<sup>1</sup> les plus chauds de la biodiversité (Meyers & al. 2000). Parmi les menaces qui pèsent sur les ressources naturelles, la déforestation est une cause véritable de la dégradation de l'environnement, de la perte et de la fragmentation des types de forêts. De nombreuses causes sont à l'origine de cette déforestation, et parmi elles la culture sur brûlis ou « Tavy <sup>2</sup>», l'exploitation forestière et l'exploitation minière.

### I-2 La déforestation au niveau national

Le Tavy est une pratique très répandue dans l'est, l'ouest et le sud de l'île. Il se développe rapidement aux dépens de la forêt, sous l'effet de plusieurs facteurs tels que le contexte démographique, le type de relief et la saturation foncière des terres fertiles. Pour évaluer les pertes en forêt de Madagascar, des estimations historiques du couvert forestier sont élaborées par des environmentalistes depuis 1934. Les résultats de ces recherches témoignent de la disparition continue des forêts (annexe I).

À cause de l'ampleur des dégâts écologiques, les paysans sont considérés comme des prédateurs de la nature aux yeux de certains environmentalistes et botanistes (Humbert 1946). Pour pouvoir mesurer la couverture de forêt de Madagascar et en même temps évaluer le rythme de la déforestation, beaucoup se sont lancés dans l'analyse spatiale et temporelle de la végétation. Pour les forêts sempervirentes, des comparaisons temporelles ont été effectuées par Humbert & Cours Darné (1965), IEFN (1996) et JRC (2000). Entre 1953 et 1993, Madagascar a perdu une superficie de 4.491.000 ha de forêt ce qui correspond à un taux de 9,5% par année. Une baisse de ce taux a toutefois été enregistrée entre 1993 et 1999.

Vers la fin du XX<sup>ème</sup> siècle et au début du XXI<sup>ème</sup> siècle, des analyses de changement de la couverture végétale de Madagascar, en prenant en compte tous les types de formations primaires, ont été effectuées par divers organismes. Les analyses faites par Haper et al. (2007) ont montré que Madagascar était encore couvert à 25% de forêts en 1950 et que dans les années 2000, il n'en restait plus que 16%. En termes de superficie, les analyses faites par Conservation International (CI) et le Ministère des Forêts de Madagascar ont montré que Madagascar était couvert de 9,7 millions d'hectares de forêts naturelles en 2000, et qu'il n'en restait plus que 9,5 millions en 2005. Cette étude a également mis en évidence une baisse du taux de déforestation: de 0,83% par an (soit environ 80.000 ha/an) entre 1990-2000, 0,53 % par an (soit environ 50.000 ha/an) entre 2000-2005, il est estimé à 0,4% par an entre 2005 et 2010, soit l'équivalent de 36.000 ha par an (Annexe II). Ainsi, en 2010, la couverture de forêt naturelle est évaluée à 9,2 millions d'hectares.

---

<sup>1</sup> Il s'agit d'une série de zones tropicales identifiées comme essentielles à la préservation de la diversité végétale du monde. Ces 10 régions ne représentent que 0,2% de la superficie mondiale et 3,5% des forêts tropicales, mais regroupent quelque 34.000 espèces végétales, soit 27% de toutes les plantes tropicales – R. Mittermeier – Hotspots – 2000

<sup>2</sup> Le tavy désigne les systèmes de cultures sur abattis-brûlis caractéristiques des zones forestières de l'est du Pays dans lesquels le riz pluvial tient une place prépondérante. Le tavy désigne à la fois le système de culture et la parcelle cultivée.

### **I-3 La déforestation au niveau régional : la région DIANA**

Dans la région de DIANA<sup>3</sup>, la déforestation est bien réelle et fait beaucoup de dégâts. Si 32,15% (soit environ 664.796 ha) de la superficie totale de la région était couverte de forêt en 1990, seuls 25,09% (soit 518.809 ha) de forêt subsistait en 2000 (Annexe III), ce qui représente une perte de 46.939 ha pour ces 10 ans (Conservation International, 2005). Depuis, cette déforestation continue dans la région et les dernières analyses ont montré qu'entre 2000 et 2005, une perte de 28.766 ha a été observée, soit 4,66% de la superficie totale. Les zones sensibles dans la région sont montrées dans l'Annexe III. Par ailleurs, le taux de déforestation diminue au niveau nation, mais non dans la région de DIANA. Pourtant, des questions se posent :

- la réduction du taux de déforestation découle-t-elle de la politique de conservation entreprise par les différents acteurs environnementaux, ou est-ce parce que la forêt malgache est maintenant très réduite ?
- la baisse du taux de déforestation au niveau national et/ou régional est-elle un bon indicateur pour prédire l'avenir des écosystèmes au niveau régional ?
- la baisse du taux de déforestation est-elle synonyme de baisse de fragmentation des forêts ?
- les zones potentielles de la biodiversité mais sensibles à la déforestation sont les priorités dans la vision Durban (augmentation des aires protégées à Madagascar). La presqu'île d'Ampasindava répond- elle à ces objectifs?

#### **Le cas de la presqu'île d'Ampasindava**

Dans le nord-ouest de Madagascar (Figure 2), une zone de 420.000 ha constitue ce que les phytogéographes ont appelé le Domaine du Sambirano (Perrier de la Bâthie 1936 ; Humbert 1955). Il comprend le bassin versant du fleuve Sambirano jusqu'à une altitude de 800 m, au pied des massifs du Tsaratanana et de Manongarivo, le massif de Galoko-Kalobinono, une partie de la côte nord-ouest, notamment la baie d'Ambaro, ainsi que Nosy Be, Nosy Komba et la presqu'île d'Ampasindava, qui représente les 30% de la superficie totale du domaine (Carte 1). A cause de la déforestation ainsi que du développement des cultures de rentes (café, cacao, ylang-ylang, vanille et poivre), le domaine a perdu une grande partie de sa couverture forestière.

La presqu'île d'Ampasindava abrite l'essentiel (environ 40%) des forêts restantes du domaine. Ces forêts sont les restes des tavy et se sont isolées au niveau de quelques massifs sacrés, préservés par le respect des tabous ou « Fady<sup>4</sup> » par les tribus « Sakalava ». A cause de différentes raisons, notamment la pauvreté et le milieu physique, les paysans sont toujours fort dépendants des ressources naturelles et continuent de défricher. Par conséquent, le problème de la dégradation des forêts persiste, aggravé par un manque de système de conservation efficace dans la région. Les études que nous avons menées dans la région depuis 2007 ont permis d'enrichir la connaissance de la flore et de la végétation de Madagascar et de découvrir une vingtaine de nouvelles espèces pour la science (Amman 2011, Madiomanana 2010, Tahinarivony 2010).

Afin de valoriser ces résultats, les Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève (CJB), en collaboration avec le Département de Biologie et Écologie Végétales de la Faculté des Sciences (DBEV) de l'Université d'Antananarivo ont choisi de continuer leurs recherches et de se concentrer sur la conservation des ressources naturelles encore existantes. Dans cette optique, les études sont actuellement orientées vers la spatialisation des données de la flore et de la végétation afin de définir des priorités de conservation. Une partie de cette étude est présentée dans ce présent travail. Elle est axée principalement sur l'analyse spatiale et temporelle de la dynamique de la végétation. Les objectifs de cette recherche sont :

- l'élaboration de cartes de la végétation (1991 et 2013);

---

<sup>3</sup> La région DIANA se situe à l'extrême Nord de l'île avec une superficie totale de 20.942 km<sup>2</sup> et compte 485.800 habitants. La Région se subdivise en cinq Districts dont Antsiranana I, Antsiranana II, Ambilobe, Ambanja et Nosy-Be.

<sup>4</sup> La distinction entre permis et non permis équivaut à la distinction entre profane et sacré du domaine religieux proprement dit. L'interdit ou le tabou ou « Fady » protège en quelque sorte le sacré et permet la pérennité du caractère sacré, à condition qu'il soit accepté et respecté par tout le monde. Il pourrait être qualifié d'interdit moral, et revête autant d'importance qu'une loi écrite dans les milieux ruraux.

- l'étude du déroulement et des causes de la dégradation et de la fragmentation ;
- la description des changements de la couverture végétale;
- l'identification de différentes zones écologiques importantes de la presqu'île d'Ampasindava.

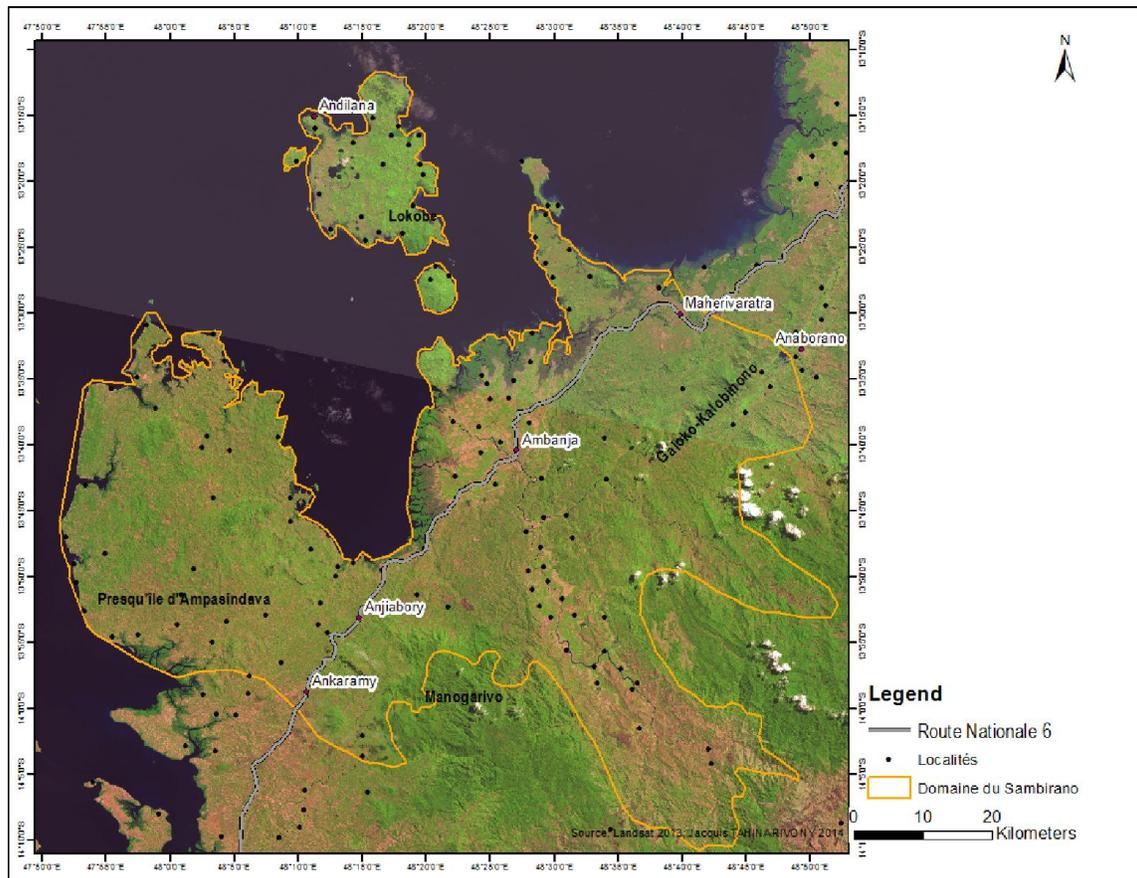


Figure 1 : Domaine du Sambirano dans le nord-ouest de Madagascar (Composition colorée RVB, Landsat 2013)

## II- CADRE DE L'ÉTUDE

### II-1 Milieu abiotique

#### II-1-1 Situation géographique

La presqu'île d'Ampasindava est localisée entre 13°30' et 13°58' de latitude sud, et 47°44' et 48°15' de longitude est (Carte 1). Elle se trouve au nord d'Analalava, au sud-ouest de l'île de Nosy be, au nord-ouest du massif du Manongarivo et de la route nationale 6. Elle est entourée par le canal de Mozambique et couvre une superficie de 145'000 ha. Au niveau administratif, elle fait partie du district d'Ambanja, région DIANA (Diego, Ambilobe, Nosy be, Ambanja) et était rattachée à l'ancienne province d'Antsiranana (Figure 2). Des pistes pédestres permettent d'y accéder mais la communication avec les autres régions se fait essentiellement par voie maritime.

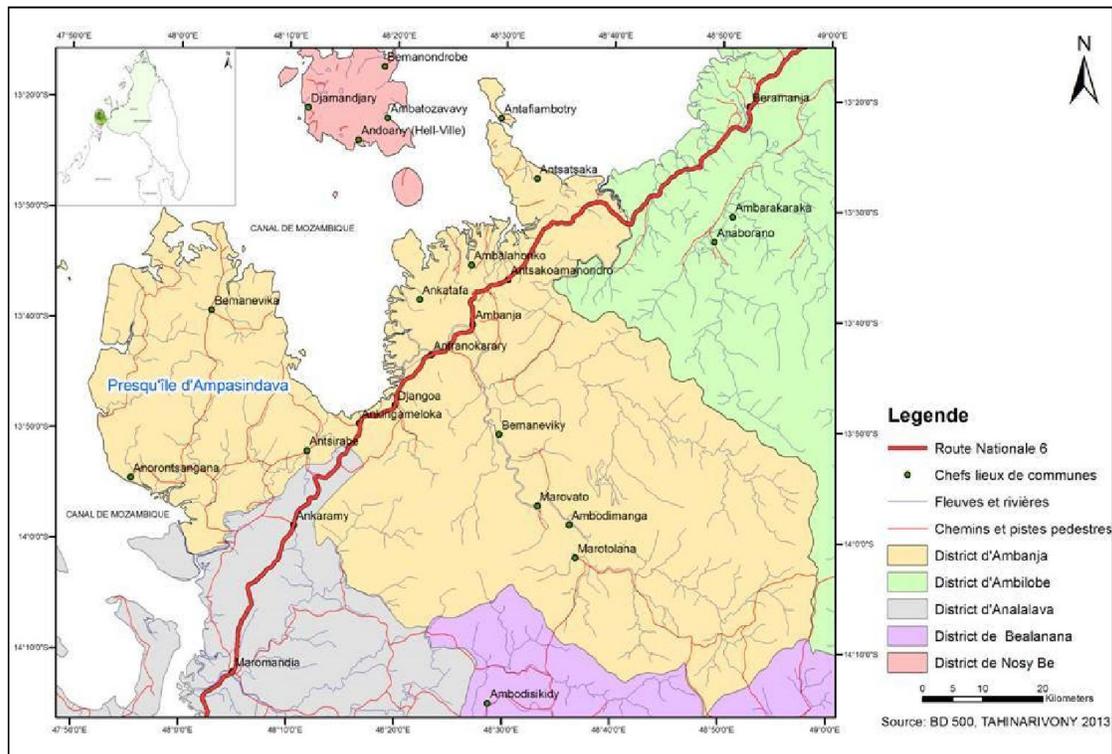
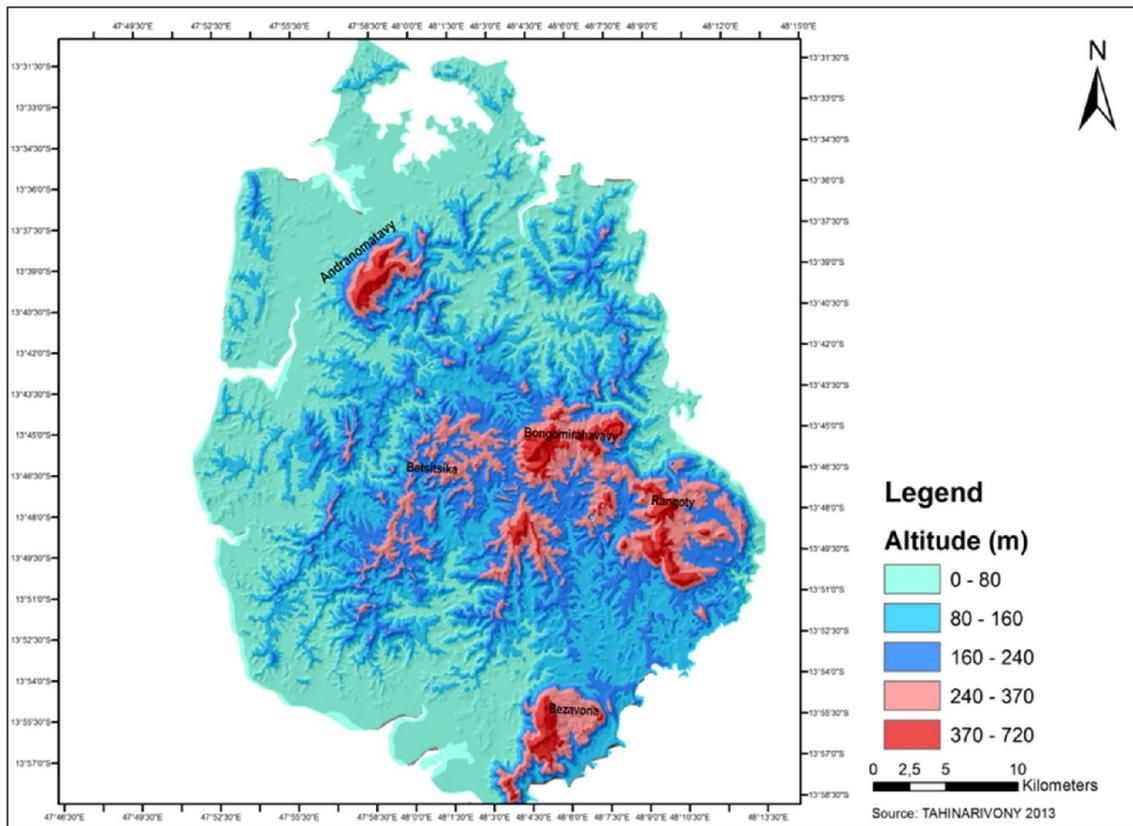


Figure 2 : Localisation de la presqu'île d'Ampasindava

#### II-1-2 Relief et topographie

La presqu'île d'Ampasindava est caractérisée par une altitude de 0 à 720 m. Le relief de la zone est montré sur la Figure 3, obtenue par digitalisation de toutes les courbes de niveau de 25 m d'équidistance de la carte topographique de la région (FTM, 1956). C'est le modèle numérique de terrain (MNT) utilisé pour toutes les analyses écologiques de la région. Le relief est relativement accidenté est composé de formations montagneuses et de collines. Les surfaces planes sont très réduites et limitées à quelques zones côtières. Les principaux massifs sont ceux de Bongomihiravavy, d'Andranomatavy, de Bezavona, de Betsitsika, d'Ambilanivy, de Rangoty et d'Ambodilaitra.



**Figure 3: Relief de la presqu'île d'Ampasindava**

### II-1-3 Géologie et pédologie de la presqu'île d'Ampasindava

La presqu'île d'Ampasindava est composée de plusieurs massifs alcalins de forme annulaire d'âge Miocène (Rakotavao et al, 2009), encaissés dans des formations sédimentaires de l'Isalo, datées du Lias supérieur au Jurassique moyen (Donnot 1963). Ces formations sont caractérisées par des faciès mixtes formés par une alternance de grès, de schistes et de marnes. Au sommet affleurent parfois des bancs calcaires discontinus (de Saint Ours 1956, Besairie & Collignon 1972). Les grands massifs comme Bezavona, Ampasibitika, Andranomatavy et Bongomirahavavy sont formés par des faciès pétrographiques spéciaux à la base et, viennent ensuite des roches subvolcaniques comme les syénites alcalines et néphéliniques, des granites alcalines et des rhyolites (Annexe IV). La pédologie de la presqu'île d'Ampasindava est très liée à sa géologie (Amman 2011). Les sols sont des dérivés de la roche mère et forment une couche d'altération au-dessus de celle-ci (Annexe IV). Au niveau des grands massifs, les sols de forte pente sont des sols d'érosion de type latéritique sur des roches cristallines (Ternicier 1953). De même pour une grande partie de la région, qui est formée de collines, les sols d'érosion recouvrent des grès grossiers. D'autre part, des sols ferralitiques couvrent une grande partie dans le sud et sud-est de la région, composés de chaînes de collines. Quelques formations récentes sont aussi observées telles que les vases à palétuviers qui occupent les deltas des rivières de Beampongy et d'Antetezambato. Par ailleurs, de récentes alluvions près d'Ampasibe dérivent du delta de la rivière de Sambirano. La partie ouest de la presqu'île vers Betsitsika, Ampijoroa et Ankerika est, quant à elle, occupée par des terrains sédimentaires.

### II-1-4 Climat

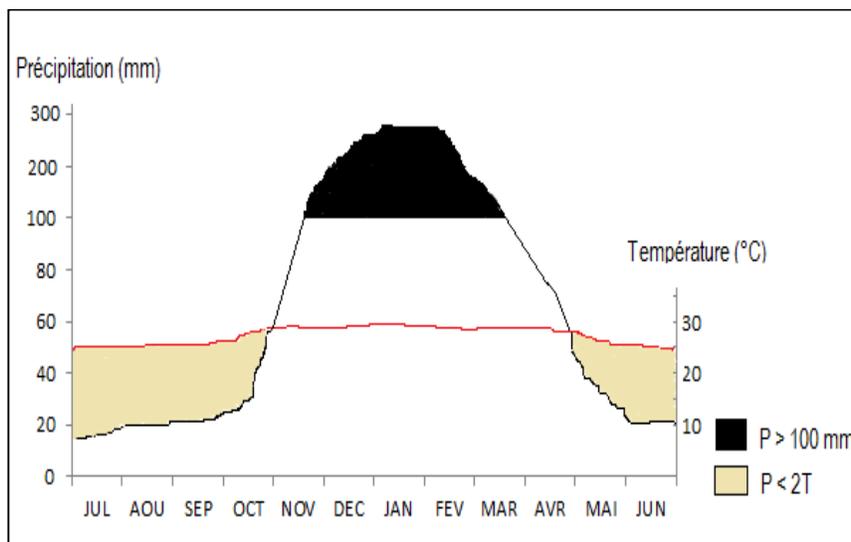
Les caractéristiques climatiques du domaine du Sambirano, à savoir un climat anormalement humide pour la côte occidentale de Madagascar, découleraient de la dissymétrie des reliefs de la partie centrale de Madagascar. A l'est du domaine, le massif du Tsaratanana et le massif du Manongarivo font dévier l'alizé estival vers la côte occidentale sur une largeur d'environ 100 km (Humbert & Cours Darne 1965; Donque 1972). De l'autre côté, dans le canal de

Mozambique, l'air équatorial chaud et très humide (75% à 87% d'humidité relative) apporte un vent du secteur nord-ouest. De ce fait, on observe trois saisons différentes (Dufournet 1972) :

- une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril, avec une température moyenne de 27°C et des précipitations atteignant 2000 mm réparties sur 106 jours;
- une saison moins chaude et moins pluvieuse de mai à août, avec une température moyenne de 24,5°C et des précipitations atteignant 180 mm réparties sur 27 jours;
- une saison assez chaude et relativement sèche en septembre et octobre (mois éco-secs), avec une température moyenne de 25,5°C, et des précipitations de 145 mm seulement, réparties sur 20 jours.

La presqu'île d'Amipasindava, comme le domaine du Sambirano, bénéficie donc de fortes précipitations avec une moyenne annuelle de plus de 2200 mm, distribués sur 172,7 jours. Sur le diagramme ombrothermique de Gausсен (Figure 4), on trouve que les caractéristiques climatiques de la zone sont composées de:

- quatre mois éco-secs ( $P < 2T$ ) qui correspondent à l'hiver austral ;
- une saison des pluies importante dont les mois les plus pluvieux s'étendent de décembre à mars ( $P > 2T$ ) ;
- un faible écart thermique entre les saisons.



**Figure 4: Diagramme ombrothermique de Nosy-be**

(Source: Service de la Météorologie Nationale, données de 2007-2011)

## II-2 Milieu biotique

### II-2-1 La presqu'île d'Ampasindava dans le domaine du Sambirano

Le domaine phytogéographique du Sambirano forme une enclave humide sur la côte ouest de la grande île, par ailleurs plutôt à dominance sèche (Figure 5). Dans ce domaine, la saison sèche ne dure que trois à quatre mois et la pluviométrie annuelle totale dépasse les 2000 mm. Par ces conditions climatiques, sa flore et sa végétation ont des grandes similarités avec celle du domaine de l'est de Madagascar.

Sur le plan de la végétation, trois types de forêts ont été recensés par Perrier de la Bâthie (1921) :

- forêts des alluvions et des bords des cours d'eau ;
- forêts des pentes à sol peu profond ;
- bois des collines gréseuses.

Au niveau flore, le domaine du Sambirano a été inclus dans la région du vent de Perrier de la Bâthie (1921), et à la région malgache orientale selon Humbert (1965). Koechlin et al. (1974) ont détaillé la flore du domaine du Sambirano comme étant constituée de trois composantes floristiques différentes :

- un élément commun à la forêt de l'est ;
- une composante occidentale qui pénètre le domaine à cause de la proximité et des similarités climatiques, et ce plus particulièrement dans les formations dégradées ;
- une composante spécifique de taxons endémiques présentant des affinités aussi bien avec le domaine de l'est qu'avec le domaine de l'ouest estimé dans le piedmont du Manongarivo à 14% du peuplement forestier (D'Amico & Gautier 2000) et à 8% pour la flore de la presqu'île d'Ampasindava (Ammann 2011).

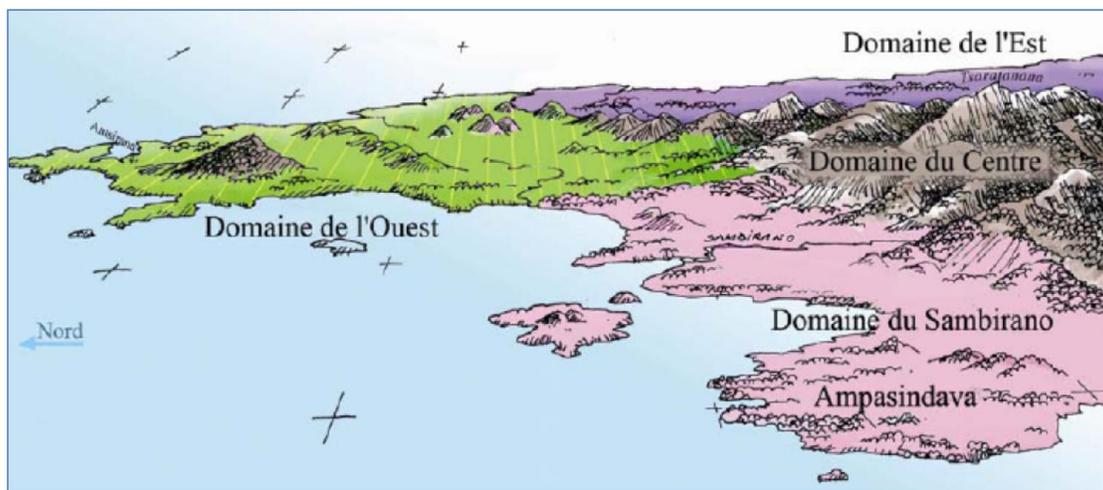
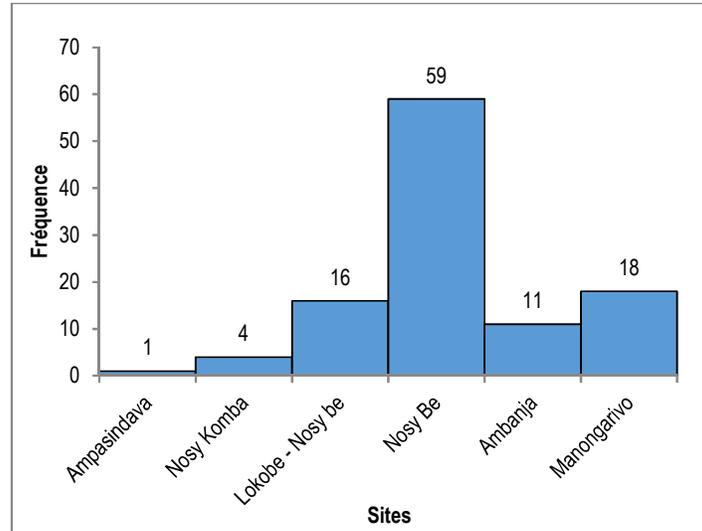


Figure 5: Vue en perspective de la partie nord de Madagascar vue du côté ouest (Élaborée par C. Chatelain à partir de la carte des domaines phytogéographiques d'Humbert, 1955).

La presqu'île d'Ampasindava couvre une grande superficie écologique d'après le zonage forestier de la région DIANA. Concernant le classement forestier, une grande partie des forêts naturelles de la presqu'île sont des forêts classées (ONE 2004), y compris les forêts de Bongomirahavavy, d'Andranomatavy et de Betsitsika.

#### II-2-2-1 Connaissance de la flore de la presqu'île d'Ampasindava

Madagascar a connu sa première exploration botanique au XVII<sup>e</sup> siècle par Flacourt. Ce n'est toutefois qu'en 1936 que Perrier de la Bâthie tenta d'estimer le degré d'endémisme de la flore de la région du Sambirano. Jusqu'en 1995, 81 botanistes ont prospecté dans le domaine du Sambirano. Pendant ces années d'explorations botaniques, la fréquence de recherches et de prospections varie selon les différents sites (Castello 2011), les plus visités étant Nosy-Be, Manongarivo et Lokobe. A l'inverse, la presqu'île d'Ampasindava est le plus méconnu des sites (Figure 6).



**Figure 6: Fréquence d'exploration botanique dans les différents sites du domaine du Sambirano**

### **II-2-2-2 Taux récents sur la presqu'île d'Ampasindava**

Les forêts de la presqu'île d'Ampasindava ont une grande importance écologique mais sont soumises aux mêmes problèmes que les autres forêts naturelles de la grande île. Ce système est toutefois modérément productif en riz, alors que la végétation originelle est extrêmement sensible aux défrichements. Une carte des feux de forêts repérés par imagerie satellite permet de se rendre compte de l'intensité et de la répartition du tavy dans la région (Figure 7).

Au vu de l'ampleur des pertes de forêts dans la région, de leur importance du point de vue biogéographique tant au niveau régional, national que mondial, les Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève ont collaboré avec l'Université d'Antananarivo pour étudier la flore et la végétation de la presqu'île d'Ampasindava depuis 2007. Cette collaboration vise à:

- élaborer une liste floristique et faire une analyse biogéographique ;
- analyser et caractériser les groupements végétaux;
- étudier les processus du dynamisme et de la succession végétale ;
- analyser le phénomène de la dégradation et de la fragmentation afin d'identifier les zones prioritaires de conservation.

Une grande partie de ces objectifs sont atteints (Ammann 2011, Tahinarivony 2010 ; Madiomanana 2010) et nous a permis de décrire quelques nouvelles espèces pour la science et de comprendre l'importance écologique et biogéographique de la forêt de la région ; raison pour lesquelles notre étude s'oriente maintenant dans l'optique de la conservation et de la préservation de la biodiversité de la presqu'île d'Ampasindava.

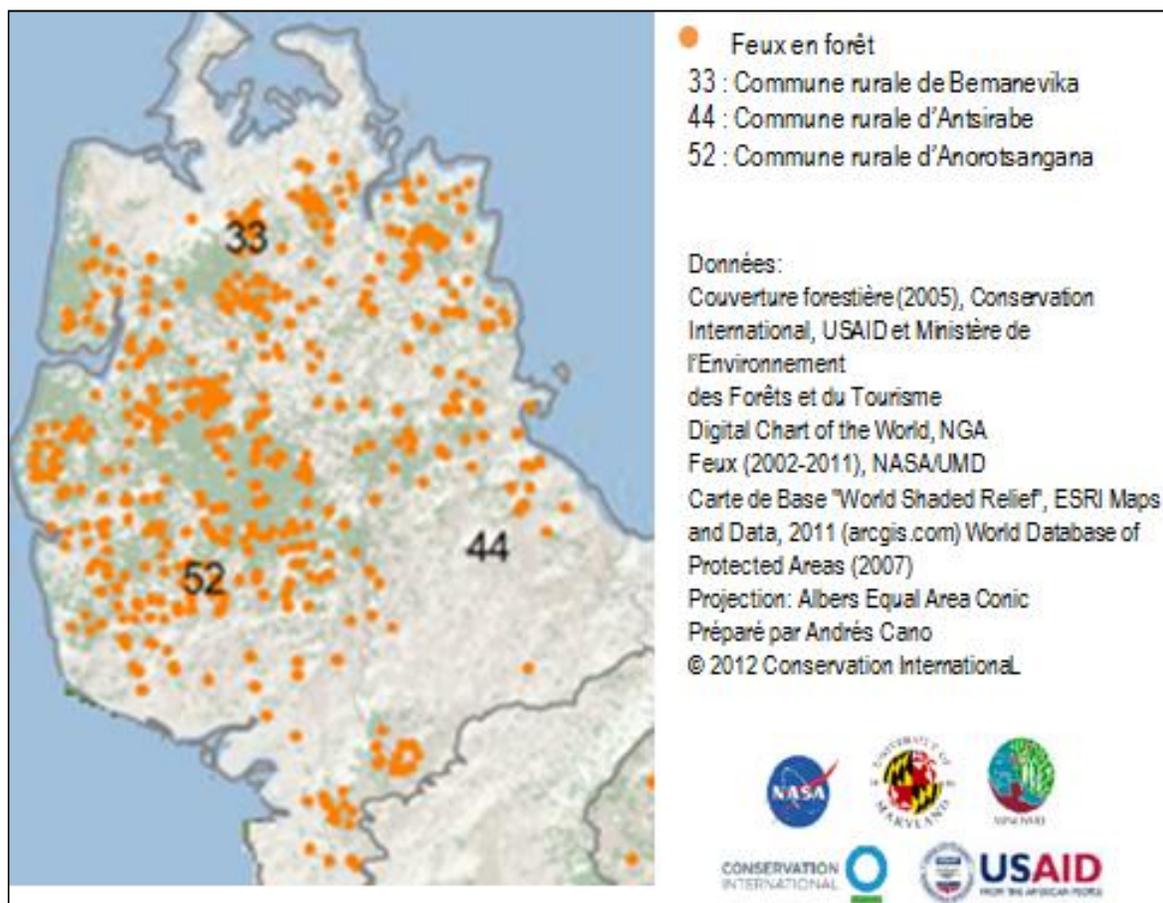


Figure 7: Carte de feux en forêt de 2002 en 2011

### III- METHODES

#### III-1 Aperçu de l'approche méthodologique

L'approche méthodologique de la cartographie de la végétation et de l'analyse paysagère de la presqu'île d'Ampasindava est résumée dans la figure 8. Les données de la végétation occupent une grande importance par le fait qu'elles permettent d'assurer l'exactitude et la pertinence des données cartographiques. Les analyses des données écologiques sont effectuées avec le logiciel statistique R. Ensuite, la cartographie de la végétation et les analyses de la fragmentation et de la dégradation des paysages et les différentes classes d'occupation du sol traitent les données rasters, par l'utilisation du logiciel ArcGIS 10.1. Enfin, divers indices sont utilisés, à savoir les indices de composition, de fragmentation, de diversité, et de contagion-intersection et sont calculés par le logiciel FRAGSTAT ®.

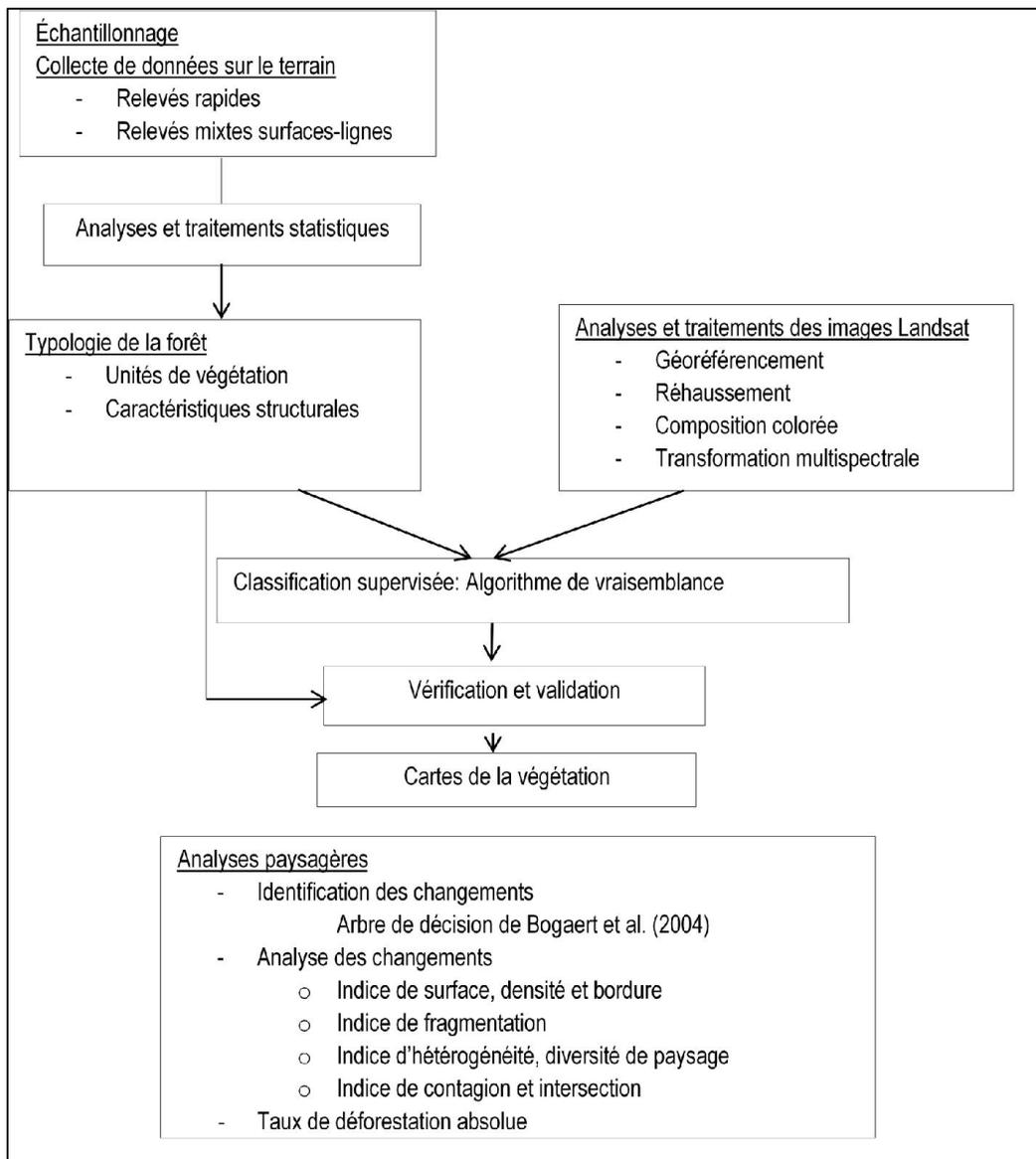


Figure 8 : Schéma de l'approche méthodologique

### **III-2 Étude de la végétation**

L'étude de la végétation vise à décrire le paysage écologique de la presqu'île d'Ampasindava. Elle cherche à mettre en évidence les caractéristiques tant structurales que floristiques des différentes unités de végétation. Ces données serviront ensuite à l'élaboration de la cartographie mais aussi à vérifier et corriger les résultats de traitement des images. Les données de la flore et de la végétation ont été récoltées selon des méthodes d'inventaires fréquemment utilisées dans les milieux tropicaux. Elles permettent d'acquérir un maximum d'information malgré le temps limité accordé aux travaux de terrain, la superficie de la zone d'étude et l'hétérogénéité du milieu. Ces méthodes cherchent à produire une :

- description rapide des formations végétales homogènes représentant une surface suffisamment étendue pour être localisée sur l'image satellite ;
- description détaillée de la végétation par la réalisation des relevés complets de la végétation dans les différentes zones homogènes de la végétation.

#### **III-2-1 Méthode de relevé rapide de la végétation**

Face à une zone d'étude de large étendue et afin de récolter un maximum d'informations qui pourraient couvrir ou représenter le milieu, une méthode de relevé rapide de la végétation a été adoptée. Elle consiste à décrire les caractéristiques structurales et floristiques de la végétation en un milieu bien localisé à l'aide d'un GPS. Les informations à noter sont :

- les coordonnées géographiques ;
- les facteurs du milieu ;
- les caractéristiques structurales de la formation existante, à savoir :
  - la hauteur ;
  - le taux de recouvrement de la canopée ;
  - la stratification ;
  - les espèces caractéristiques de la formation.

#### **III-2-2 Relevé mixte surface-ligne de la végétation**

Une méthode mixte surface-ligne a été appliquée. Des relevés linéaires et de relevés de surface ont été réalisés dans les principaux types de végétation (mangrove, forêts primaires et différents stades de jachères et forêts secondaires).

##### **○ Relevé linéaire**

La méthode de relevé linéaire combine les avantages de la méthode de « line transect » utilisée par Buell & Cantlon (1950), Bauer (1943) et Devineau (1980, 1984) et la méthode de « point quadrat » utilisée pour l'analyse phytosociologique des prairies par Long & al. (1958), puis par Daget & Poissonet (1971), à laquelle elle s'apparente le plus. La méthode de relevé linéaire consiste à relever la tranche de la végétation qui se trouve à la verticale d'une ligne imaginaire rectiligne de 100 m de longueur au sol, placée dans une surface de végétation jugée homogène (Gautier et al. 1994). Tous les deux mètres, les mesures consistent à relever toutes les masses végétales entrant en contact avec une ligne verticale (matérialisée à l'aide d'une perche). Au-delà de 8 m, les mesures sont effectuées au clinomètre ou par simple évaluation. Pour chaque contact, l'espèce concernée ainsi que les hauteurs de contact sont relevées.

##### **○ Relevé de surface**

Cette méthode complète la précédente en fournissant une série de paramètres structuraux souvent utilisés en foresterie. Ce sont : la distribution des individus par classe de diamètre, la densité du peuplement, la surface terrière et le biovolume. Une parcelle de 0,1 ha, centrée sur la ligne médiane de chaque relevé linéaire est montée. Elle est matérialisée par des piquets plantés aux angles de carrés juxtaposés de 5 m de côté placés de part et d'autre de la ligne de relevé. A l'intérieur de chaque quadrat ainsi formé, tous les arbres dont le diamètre à hauteur de

poitrine (dhp) mesure au moins 10 cm ont été recensés. Le dhp et la hauteur maximale (Hmax) des arbres sont mesurés et notés.

### **III-2-3-Descripteurs structuraux de la forêt et de la végétation**

#### **III-2-3-1 Structure verticale**

##### **- Profil de la végétation et recouvrement**

Les données issues des relevés linéaires sont traitées de manière à reproduire une représentation visuelle de l'organisation de la végétation. Le profil structural de la végétation est constitué par les points de contact recensés au niveau de chaque point de lecture. Ce profil met ainsi en évidence la stratification et le recouvrement correspondant. Le recouvrement de la végétation est défini comme la projection verticale des couronnes des arbres sur une surface donnée. Il donne des informations sur la distribution de la végétation ou des espèces pour un intervalle de hauteur (IDH) donné. Six IDH, souvent utilisés dans les études de forêts tropicales (Emberger et al. 1968) sont utilisés dans notre cas, à savoir: <2 m, [2-4 m], [4-8 m], [8-16 m], [16-32], et > 32 m.

##### **- Hauteur de la formation**

La hauteur de la formation est un des descripteurs structuraux qui permet de différencier les typologies de formations végétales. Entre les formations secondaires, la hauteur de chaque formation est corrélée avec son âge ou son stade évolutif. La hauteur de la formation est dans notre cas représentée par la hauteur moyenne maximale qui s'obtient par le calcul de la moyenne des hauteurs maximales à chaque point de lecture.

##### **- Rugosité**

La rugosité peut être considérée comme un indice qui révèle le degré d'homogénéité de la canopée d'une formation, synonyme de la présence ou non de perturbations et ou de l'état de santé/maturité de la formation étudiée. Elle s'obtient par le rapport de la longueur de la ligne qui relie les hauteurs maximales au niveau de chaque point de lecture avec la longueur du relevé (100 m). Les données de rugosité complètent les informations du recouvrement car elles sont fonction de la présence, de la fréquence et de la taille du degré d'ouverture de la formation :

- dans le cas où la canopée de la formation est relativement plate et ne présente aucune ouverture, la rugosité prend une valeur égale à 1 ou très proche de 1. On peut alors penser que la formation en question est une formation secondaire, jeune, composée d'un très faible nombre d'espèces, et similaire à la structure physiologique des plantations ligneuses ;
- quand elle est comprise entre 1 et 2, la canopée est assez régulière ;
- quand la valeur de la rugosité est très élevée, au minimum supérieure à 2, deux éventualités sont possibles :
  - o soit la canopée de la formation présente beaucoup d'ouvertures importantes et la ligne des hauteurs maximales atteint une importante longueur;
  - o soit la canopée de la formation est irrégulière par la présence des émergents, qui saturent au-dessus de la ligne de la canopée forestière.

#### **III-2-3-2 Structure horizontale**

##### **- Surface terrière**

Des données sur la dendrométrie sont récoltées par la réalisation des relevés de surface. Partant de ces informations, l'aire basale, ou surface terrière (G), est la somme des sections des troncs mesurés à 130 cm du sol (dbh : diameter breast height, ou dhp : diamètre à hauteur de poitrine) pour une surface donnée. Dans les parcelles, les mesures ne tiennent pas compte des noms des espèces, et seuls les individus semenciers (dhp>10 cm) sont

recensés dans l'optique de fournir des informations quantitatives. Ce descripteur dendrométrique reflète le potentiel ligneux d'une unité de végétation et se calcule selon la formule de Dawkins (1958) :

$$G_i : (\pi/4) * D_i^2$$

Où  $G_i$  : surface terrière de l'individu  $i$  ( $m^2$ ) ;

$D_i$  : dbh de l'individu  $i$ .

#### - Biovolume

Le potentiel en bois ou biovolume ( $V$ ) épicé est le produit de la surface terrière par la hauteur du fût de chaque individu de chaque espèce, corrigé par un coefficient de forme. Dans les autres domaines, en foresterie par exemple, le biovolume est une estimation du potentiel de bois exploitable d'une formation donnée.

$$V_i = 0,53 (\sum_{i=1}^s G_i * H_i)$$

Où  $G_i$  : surface terrière de l'individu  $i$  ( $m^2$ ) ;

$H_i$  : hauteur ;

$V_i$  : biovolume ( $m^3$ ) ;

0,53 : coefficient de forme .

### III-2-4 Analyses des données

Des analyses des descripteurs de la typologie de la végétation sont importantes afin de pouvoir apporter le maximum d'informations pour la cartographie de la végétation. Le travail porte à regrouper les informations et les unités de formations à caractéristiques proches ou similaires à partir des descripteurs non corrélés entre eux. De cela, la méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH) cherche à classer des individus (relevés) ayant un comportement similaire sur un ensemble de variables. Cette méthode de classification part des observations individuelles et produit des classes ou des groupes de plus en plus vastes (incluant des sous-groupes en leur sein). Pourtant le degré de ressemblance entre les relevés est obtenu par le niveau ou la mesure de la distance euclidienne qui les sépare. Les groupes obtenus sont décrits suivant leurs caractéristiques spécifiques, qui sont confirmées à partir des tests de statistiques. Les espèces caractéristiques de chaque groupe sont citées d'après Madagascar Catalogue (2013). En plus, les résultats sur les groupements végétaux seront utilisés pour le choix des zones d'entraînement et des zones test ou zones de validation pour l'élaboration de la cartographie de végétation.

### III-3 Analyses et traitements d'images

#### III-3-1 Les images satellitaires

Dans le cadre de ce travail, des images satellitaires Landsat de différentes dates ont été utilisées afin de réaliser une analyse spatio-temporelle de la dynamique de la végétation, pour étudier la dégradation et la fragmentation des différents habitats de la presqu'île d'Ampasindava. Ainsi, des images de différentes dates et présentant un minimum possible de couverture nuageuse sont choisies.

##### o Source et description des images

Pour cette analyse, nous avons utilisé des images Landsat du 29 juin 1991 et du 28 août 2013. Elles correspondent à la scène numéro 159/70 (path/row) et ont une résolution de 30 m. Les images de 1991 ont été acquises par Landsat TM et celles des 2013 par Landsat 8. Elles ont une qualité importante, le taux de couverture nuageuse étant nul (0,00%). Elles sont gratuites et téléchargées depuis le site web de Global Land Cover Facility (<http://glovis.usgs.gov/>).

### III-3-2 Traitement des images

#### ○ Géoréférencement des images

Le géoréférencement et le calage permettent de rendre les images superposables. Toutes les images utilisées sont projetées dans un unique système de projection qui est le WGS\_1984\_UTM\_Zone\_39S. Des corrections géométriques sont aussi effectuées pour bien s'assurer que les images sont bien calées.

#### ○ Application d'un masque

Le masque sert à éliminer les zones de l'image qui n'ont aucun intérêt et qui pourraient biaiser les résultats des classifications. Dans ce cas, le masque utilisé est le polygone de délimitation de la Presqu'île d'Ampasindava.

#### ○ Réhaussement

Le travail de réhaussement consiste à rendre les images plus lisibles et à exploiter au mieux les nuances présentes. Tout d'abord, le réhaussement radiométrique est utilisé pour améliorer le contraste d'une image. Il est basé sur l'examen d'un histogramme représentant la distribution des valeurs dans une image. Le réhaussement s'effectue en redistribuant les valeurs des pixels par étirement des points de saturation. Le deuxième type de réhaussement, appelé aussi filtre de « contrastage » (passe-haut) ou de lissage (passe-bas) permet de mettre en avant ou de gommer certaines caractéristiques géométriques (texture, effet de bordure, ect.). Ce type de réhaussement est centré sur les valeurs de voisinage des pixels, soit pour gommer les contrastes, soit pour les accentuer.

#### ○ Compositions colorées

Les compositions colorées permettent de produire des images en couleur en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elles sont utilisées pour faire ressortir les différents éléments de l'occupation du sol à observer (forêt, prairies, formations dégradées, sols nus, eau, etc.). Les compositions colorées utilisées dans cette étude sont le 3, 5 et 7 pour les images de 1991 et le 4, 6 et 7 pour les images de 2013 (Figure 9). Les caractéristiques de chaque bande spectrale sont données dans le tableau 1.

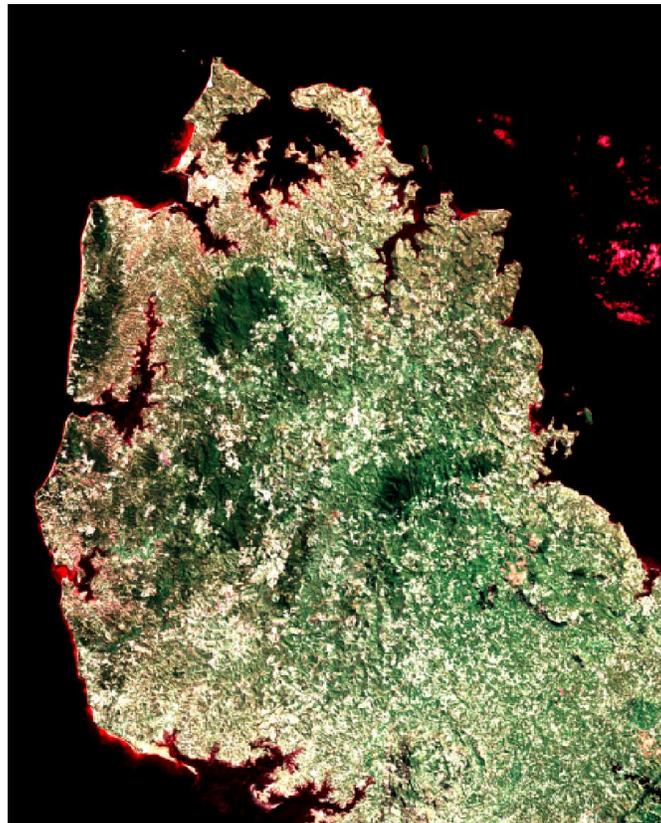


Figure 9 : Composition colorée 4, 6 et 7 (août 2013)

**Tableau 1: Caractéristiques des différentes bandes spectrales des images satellitaires utilisées**

Image du 29 juin 1991		Image du 28 août 2013		Résolution
Bande	Longueur d'onde (µm)	Bande	Longueur d'onde (µm)	
Bande 3	0,63 - 0,69	Bande 4	0,630 - 0,680	30 m x 30 m
Bande 5	1,55 - 1,75	Bande 6	1,1560 - 1,660	30 m x 30 m
Bande 7	2,09 - 2,35	Bande 7	2,100 - 2,300	30 m x 30 m

○ **Transformation multispectrale**

La transformation multispectrale est un traitement qui génère une nouvelle image appelée aussi néo-canal. Elle se réalise en combinant les valeurs des différents canaux de manière à réhausser, synthétiser ou extraire certaines caractéristiques ou certaines propriétés des données peu visibles sur les canaux d'origine. Dans ce domaine, la construction des indicateurs synthétiques permet de décrire l'état d'un phénomène par la conversion des luminances en variables thématiques, ayant une signification dans le domaine de l'environnement, dans notre cas un indice de végétation. L'indice de végétation utilisé est l'indice de végétation par différence normalisée ou NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Il s'agit d'une mesure du bilan entre l'énergie reçue et l'énergie émise par les objets au sol. Au niveau des formations végétales, il établit une mesure indiquant la masse végétale présente dans un milieu donné. Il est basé sur le fait qu'un couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande rouge (R) mais la réfléchit dans le proche infrarouge (PIR) (Rouse et Haas 1973; Tucker 1979), d'où la formule :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R})$$

Les valeurs de NDVI sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondent aux nuages, rivières, lacs, ou à la mer, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Le NDVI prend la valeur nulle pour les sols nus et les valeurs sont positives quand il y a présence de formations végétales. En principe, les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses.

La cartographie de la végétation peut être basée sur les valeurs du NDVI, en partant du principe que celles-ci reflètent la structure de la végétation telle qu'elle peut être mesurée sur le terrain. De ce fait, un test permet de mesurer la relation en comparant les valeurs des paramètres structuraux des relevés avec les valeurs du NDVI des unités de végétation dans lesquelles ont été effectués les relevés écologiques. Pour ce faire et afin d'éviter les erreurs causées par les effets du dynamisme de la végétation entre les temps de réalisation des relevés (2008, 2009, 2010, 2012 et 2013), deux dates différentes ont été choisies. En effet, les NDVI correspondants aux relevés effectués pendant les trois premières années (tous dans des forêts) ont été obtenus à partir des images Landsat acquises en 2010 tandis que ceux des 2012 et 2013 (réalisés dans différents types de formations : forêts primaires et forêts secondaires et jachères) sont calculés à partir des images Landsat de 2013. Pour chaque relevé, le NDVI est calculé à partir des moyennes des valeurs qui se trouvent dans un rayon de 60 m autour du point central du relevé (fonction buffer-60 m de chaque point avec Arc GIS 10.1).

○ **Méthode de classification**

La classification est un processus de reconnaissances des objets. Elle consiste à effectuer la correspondance entre les éléments de l'image (classes spectrales) et des classes connues a priori ou non (classes d'information). Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques spectrales (ou presque) en ce qui concerne leur valeur radiométrique dans les différents canaux. Par contre, les classes d'informations sont des catégories d'intérêt que l'on cherche à identifier dans les images (forêt, eau, mangrove, etc.). Pour notre étude, la

méthode choisie est la méthode de classification supervisée. Elle se distingue de la classification non-supervisée par le fait que les classes d'information sont connues a priori.

- **Classification supervisée ou dirigée**

La classification supervisée ou dirigée est une méthode de classification qui demande une connaissance préalable de la zone à cartographier. En effet, pour chaque type d'occupation du sol, on identifie sur l'image des zones représentatives appelées échantillons et parmi elles, les zones d'entraînements permettront de décrire les classes en termes de valeurs. Ces zones sont sélectionnées par des observations faites sur le terrain (vérités de terrain par relevés rapides et relevés mixtes lignes-surfaces). A ces vérités de terrain s'ajoutent des connaissances thématiques des images. Autrement dit, les données extraites des analyses de la structure et de la typologie de la végétation sont associées aux données thématiques des images (couplage des données structurales et spectrales) afin de spatialiser l'information pour aboutir à une carte de la végétation.

- **Algorithme de maximum de vraisemblance**

Après la définition des légendes, des zones d'entraînements et des zones tests, le choix de l'algorithme de classification et les règles de décision déterminent les résultats de la cartographie. En effet, dans les méthodes paramétriques, l'algorithme de maximum de vraisemblance est fondé sur l'hypothèse que les variables ont une distribution connue qui permet d'estimer les paramètres d'un modèle avec des restrictions sur les paramètres (coefficients, matrice de variances et covariances) ou non. Plus précisément, la technique consiste à construire une fonction appelée fonction de vraisemblance et à maximiser son logarithme par rapport aux paramètres inconnus. C'est la méthode la plus performante pour la classification supervisée (Bonn & Rochon 1993, Eastman, 1994 ; Chatelain 1996)

### **III-4 Méthode d'analyse de changements des paysages**

#### **III-4-1 Eléments d'étude dans l'écologie du paysage**

Le paysage naturel et ses composantes caractéristiques ont une capacité de résistance et de résilience assez limitée. Au-delà de leur limite, ils subissent des modifications structurelles et fonctionnelles, qui sont voulues ou non, et causées par les agents de changements/transformations (comme les activités des humains). L'analyse de changements ou de transformations d'un paysage ne peut se faire sans considérer la notion du temps. En effet, les changements peuvent être progressifs, liés au cycle journalier, saisonnier ou annuel. Ils peuvent être rapides ou lents, et réversibles ou non, selon la potentialité du vecteur et les causes des faits. Bogaert et al. (2008) précisent que l'un des impacts humains les plus importants sur la biosphère est la suppression de la couverture végétale originelle, et son remplacement par un autre type d'occupation du sol. Ces changements se manifestent par la fragmentation et la diminution de la surface forestière modifiant ainsi la structure spatiale du paysage initiale. Généralement causée par les activités anthropiques, la fragmentation forestière est une conséquence de la déforestation (Broadbent et al. 2008).

Dans l'écologie du paysage, l'analyse de la fragmentation doit considérer trois niveaux hiérarchiques : les taches, les classes et le paysage.

- **La tache**

L'étude des taches dans l'espace correspond au niveau d'étude le plus fin de l'analyse paysagère. Il est primordial à ce niveau d'étudier leur forme, leur densité, leur contour, leur distribution, ainsi que la distance des unes par rapport aux autres. Cela permet également de mettre en évidence une certaine organisation des taches, et leur étude en positionnement relatif peut être l'expression de processus ou de réalités écologiques tangibles. L'étude de chaque tache est impossible dans l'analyse de certains paramètres. Les analyses sont alors réalisées au niveau supérieur : les classes.

### ➤ **La classe**

C'est l'ensemble d'une thématique qui compose le paysage et regroupe l'ensemble des types d'habitats. Ce niveau est celui sur lequel nous allons le plus travailler puisqu'il nous permet d'appréhender la répartition spatiale relative des habitats, qui est déterminante pour la compréhension des processus écologiques. En effet, en fonction de l'organisation spatiale des classes d'habitats, les processus écologiques sont variables. Ainsi, lorsqu'une classe est composée de nombreuses taches, l'habitat sera fragile puisque disséminé. Le niveau de la classe est sans doute le plus important pour analyser la structure et le degré de dégradation et de fragmentation du paysage, et ce surtout dans l'optique de trouver les zones prioritaires de la conservation.

### ➤ **Le paysage**

Les mesures effectuées au niveau des paysages sont d'ordre général. Les analyses à ce niveau donnent un aperçu de la structure du paysage, mais ne permettent pas de définir les relations entre les différents éléments. L'analyse du paysage consiste à étudier l'évolution de la mosaïque, notamment au niveau de sa complexité. Un paysage est complexe lorsqu'il est composé d'une multitude d'éléments dont la répartition spatiale est inégale. Ainsi un paysage sera complexe lorsque la diversité des classes sera élevée et que ces classes seront elles-mêmes découpées en de nombreuses taches de tailles hétérogènes.

En conclusion, l'écologie du paysage permet d'atteindre une dimension non seulement descriptive (au niveau des espèces) mais également d'intégrer tous les espaces présents dans les cartes écologiques. Ces analyses sont basées sur le fait qu'il existe une corrélation entre les échelles du temps et de l'espace, et que les phénomènes qui se déroulent sur de grands espaces sont beaucoup plus lents que ceux qui interviennent sur des petits espaces.

## **III-4-2 Analyse de la fragmentation et de la dégradation du paysage**

### **III-4-2-1 Identification et classification des changements**

Plusieurs sortes de changements sont possibles suivant le type et l'ampleur des faits, et aussi le sens du mouvement. Un changement peut être progressif (reboisement, reforestation ou reconstitution naturelle des forêts) ou régressif (déforestation), et s'identifie par la superficie des unités de végétation qui disparaissent/réapparaissent selon les cas. Pour identifier le type de changement qui se produit dans la presqu'île d'Ampasindava, l'arbre de décision de Boagert et al. (2004) (Figure 10) est important pour comparer les données des deux images (1991 et 2013). Au total, dix éventualités sont possibles en fonction des caractéristiques temporelles du paysage. Les taches sont les descripteurs paysagers utilisés et sont traités par niveau hiérarchique (nombre, aire, périmètre) par classe d'occupation du sol. Premièrement, l'analyse est basée par la comparaison du nombre (n) de taches entre les deux images en question. Ensuite, suivant l'évolution du nombre de taches, la superficie (a) permet à un certain niveau d'identifier le type de changement qu'une classe donnée dans le temps aurait subi. Enfin, dans les cas où des litiges apparaissent, les descripteurs « périmètres » interviennent et discriminent les caractéristiques descriptives des données temporelles des classes.

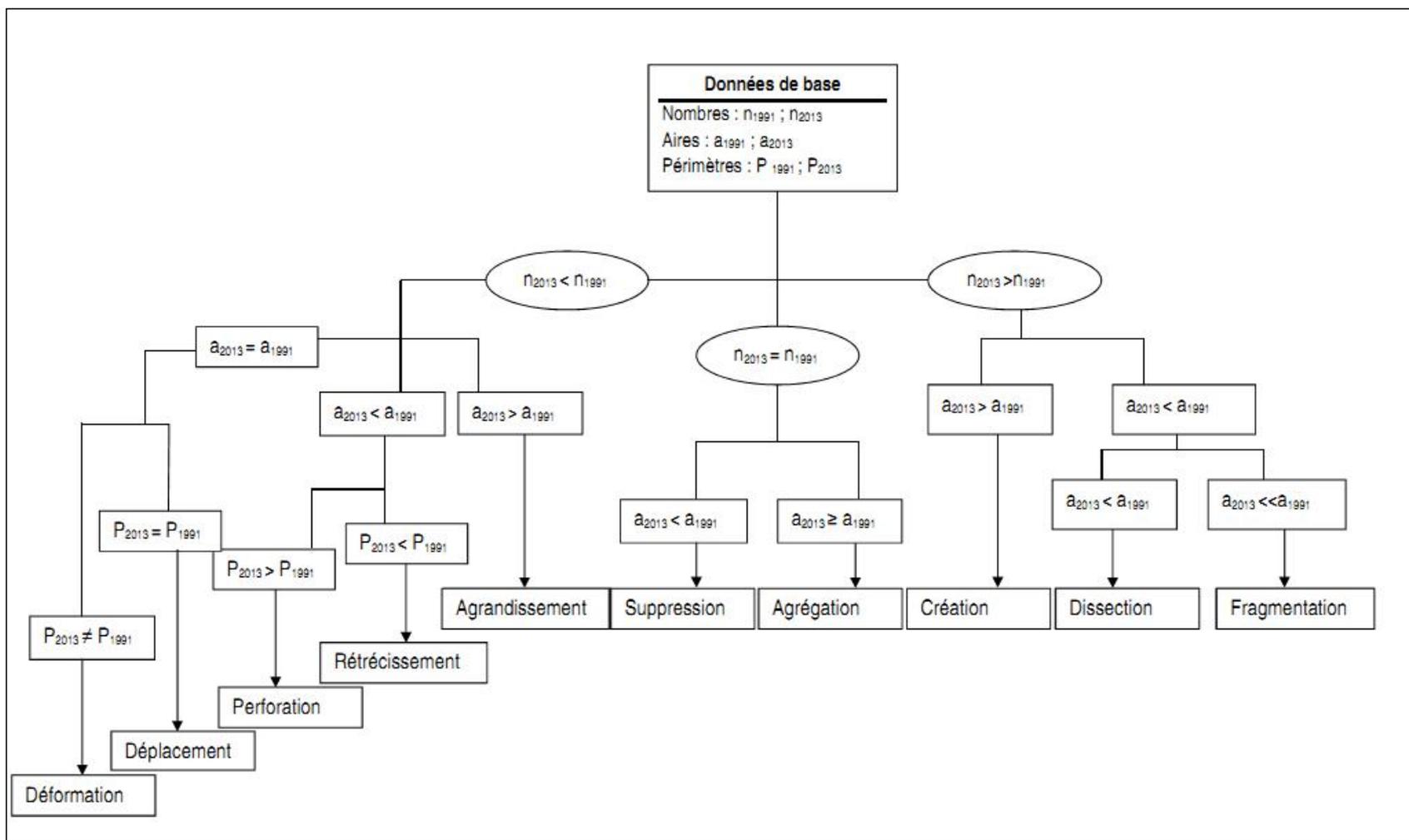


Figure 10: Arbre de décision de la caractérisation des changements entre 1991-2013 de la presqu'île d'Ampasindava ; Inspiré du modèle de Bogaert et al. (2004)

### **III-4-2-2 Analyse de la fragmentation par utilisation des indices de qualité des habitats**

La finesse d'une carte de la végétation est primordiale pour étudier les changements entre les images de dates différentes. Pour chaque donnée, les analyses spatiales servent à mesurer et quantifier l'ampleur des changements du paysage, et ceux au sein de chaque classe d'occupation du sol. Ainsi, divers indices sont calculés et servent d'outils pour comparer des données. Les analyses sont faites avec FRAGSTAT 3.3. (McGrigal & Marks 1994), un logiciel gratuit, conçu pour réaliser des analyses paysagères.

Un indicateur est une représentation synthétique d'un processus ou encore d'une valeur dérivée de paramètres donnant des informations sur un phénomène. Dérivé du latin *Indicator* qui signifie « celui qui désigne le coupable » (l'accusateur), il s'agit d'une donnée qui alerte, mais pas forcément d'une agrégation exhaustive, ni forcément d'une statistique. C'est une variable qualitative (bon, moyen, vétuste) ou quantitative (pourcentage) permettant d'apprécier un phénomène ou une action à partir des objectifs, exprimés sous forme de valeurs normatives et/ou comparatives. Un bon indicateur doit être pertinent à des échelles spatiales et temporelles différentes.

#### **➤ Indice de densité, de surface et de bordure**

Comme éléments de base, le nombre d'objets (N) et leur superficie (S) sont beaucoup utilisés dans la description de la composition structurelle des paysages. Ces données sont utilisées au même titre que dans l'arbre de décision mais appuyées par les autres informations émanant des divers indices.

##### **a- Pourcentage du paysage ou Percent of landscape (PLAND)**

PLAND mesure l'abondance proportionnelle de chaque classe dans le paysage considéré. Il donne une idée de la dominance des types d'occupation du sol. Il se rapproche de 0 quand la classe occupée est peu présente dans le paysage, et vaut 100% quand sa présence est maximale.

##### **b- Indice de composant majeur ou Largest Patch Index (LPI)**

Dans le contexte de l'étude de l'évolution ou de la fragmentation des paysages, l'indice LPI est d'une grande importance car il permet de mesurer la dominance d'une classe dans le paysage par rapport aux autres. L'indice est tributaire de la superficie. Il permet d'évaluer l'agrégation (s'il augmente) ou la fragmentation (s'il diminue) des classes. Son niveau d'importance est limité dans l'étude des classes et des taches.

#### **➤ Indice de fragmentation**

##### **a- Indice de dimension fractale (FRAC)**

Dans un paysage, l'indice renseigne sur la complexité de la forme des taches : plus une tache a une forme complexe, plus sa dimension fractale est proche de 2. A l'inverse, plus le périmètre est simple, plus il se rapproche de 1. Autrement dit, plus l'indice est fort, plus l'occupation du sol est fragmentée.

##### **b- Indice de densité de contours (ED)**

L'indice de densité de contours permet de calculer dans un voisinage déterminé (dans notre cas 500 m) la longueur des contours par hectare. Il traduit la complexité des formes présentes dans le paysage : plus l'indice est élevé, plus le paysage est complexe, et plus les unités sont imbriquées les unes dans les autres.

#### **➤ Indice d'hétérogénéité ou de diversité du paysage : Indice Shannon d'équitabilité (SHDI)**

C'est un indice de dominance. Il montre la proportion de l'abondance de différents types d'occupation du sol dans le paysage. SHDI est égal à 0 quand le paysage contient un seul composant, et égal à 1 quand les abondances proportionnelles entre les types d'occupation du sol sont les mêmes. Ce qui signifie que plus la valeur de l'indice augmente, plus le nombre de patchs est élevé. Dans le cas contraire, l'indice est devenu faible quand le paysage est composé de moins en moins de patchs par le phénomène de simplification.

### ➤ **Indice de contagion et d'intersection**

#### **a- Indice d'agrégation (AI)**

Cet indice fait référence à l'arrangement spatial et au regroupement des objets sur l'image. Il renseigne sur la fréquence des connexions entre pixels d'une même classe de paysage (Robbez\_Masson et al. 1999), se prêtant ainsi à une quantification de l'organisation du paysage. AI est calculé à partir d'une matrice d'adjacence (de contiguïté) montrant la fréquence des pixels qui apparaissent côte à côte. AI prend la valeur nulle quand il n'y a aucun contact entre chaque composant dans une classe. Autrement dit, l'AI est faible quand le milieu est très fragmenté et devient élevé quand les taches sont agrégées.

#### **b- Interspersion/Juxtaposition Index (IJI) (McGarigal & Marks, 1995)**

C'est un indice basé sur le contact entre les taches. Il correspond au niveau d'interspersion des taches de type i exprimé en pourcentage du maximum d'interspersion possible pour un nombre donné de type de taches. C'est une mesure d'adjacence entre les différents types d'occupation du sol. Une valeur d'IJI égale à 100 % indique qu'une classe est adjacente avec toutes les autres classes.

#### **c- Contagion (CONTAG) (O'Neill et al. 1988)**

Il correspond à la contagion observée pour une tache de type i exprimée en pourcentage par rapport au maximum possible de contagions pour un nombre donné de type de tache. Il permet à la fois de quantifier la composition et la configuration en mesurant l'importance avec laquelle les pixels d'une même classe sont agrégés. C'est une mesure de la probabilité d'un pixel (classe X) à être adjacent aux pixels de la même classe, multipliée par 100. Une valeur proche de 0 indique que les composants du paysage sont très fragmentés.

### **III-4-2-3 Autre indicateur pour évaluer le rythme de la déforestation**

La déforestation est la raison principale de la perte des forêts de la presqu'île d'Ampasindava. Le rythme et l'intensité de ce phénomène ne sont pas clairement établis par les indices calculés dans FRAGSTAT®. Pour cela, le taux de déforestation absolu est calculé par la formule :

$$T_{t1,t2} = \left( \frac{S_{t2} - S_{t1}}{S_t} \right) * 100$$

Avec :  $S_{t1}$  la superficie au temps  $t_1$  et  $S_{t2}$  : la superficie au temps  $t_2$ .

## **IV- RESULTATS**

Plusieurs sites ont été visités et inventoriés dans la presqu'île d'Ampasindava. Ils ont été choisis par la méthode d'échantillonnage stratifiée accompagnée d'une prospection préliminaire sur le terrain (Nusbaumer et al. 2008). Il s'agit des massifs de Bongomirahavavy, d'Andranomatavy, de Betsitsika, de Besanganaomby et de Bekalanoro. Au niveau de ces différents sites, plusieurs types de formations végétales ont été inventoriés, à savoir des forêts naturelles, divers types de formations secondaires (jachères, friches, etc.) et même des formations dans les zones dégradées. Au total, 94 relevés mixtes ligne-surface et plus de 200 relevés rapides ont été effectués.

### **IV-1 Analyses descriptives de la structure de la végétation**

Les 94 relevés écologiques ont pu être regroupés en quatre groupements structuraux. Le nombre de relevés constitutifs de chaque groupe diffère suivant leur niveau de similarité et de leur critère d'agrégation (Figure 11).

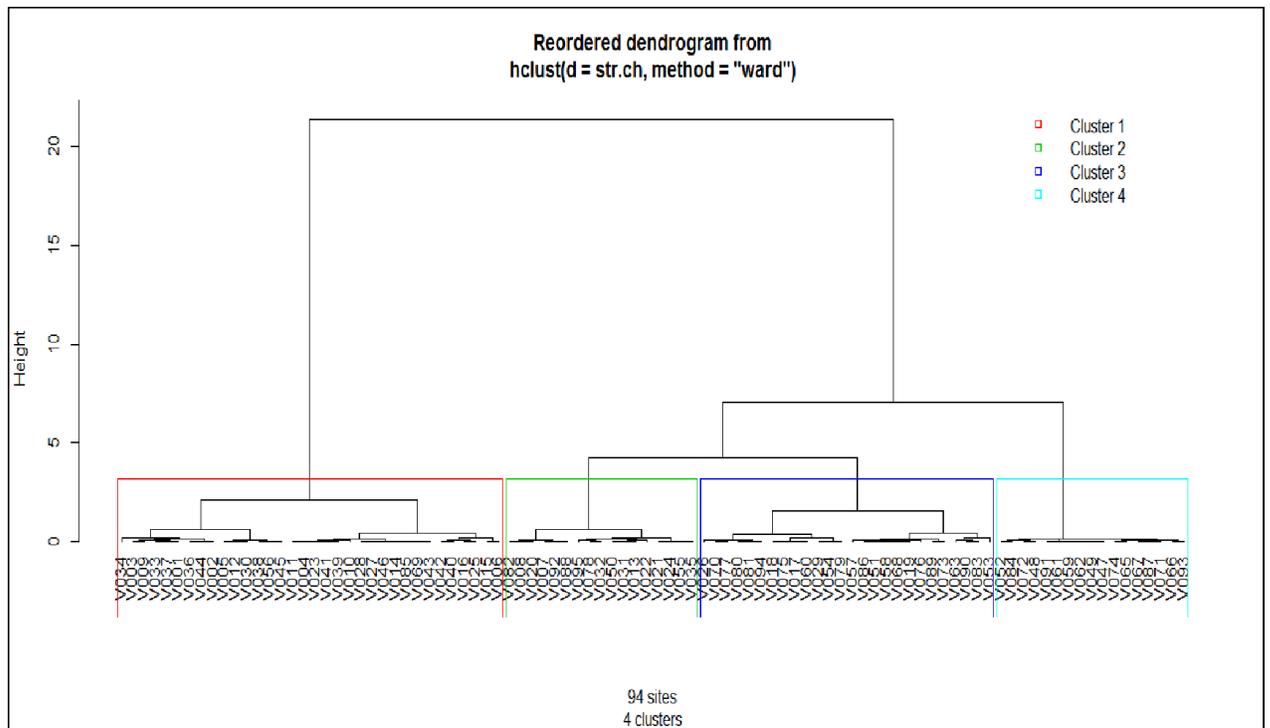


Figure 11 : dendrogramme de classification des 94 relevés de végétations

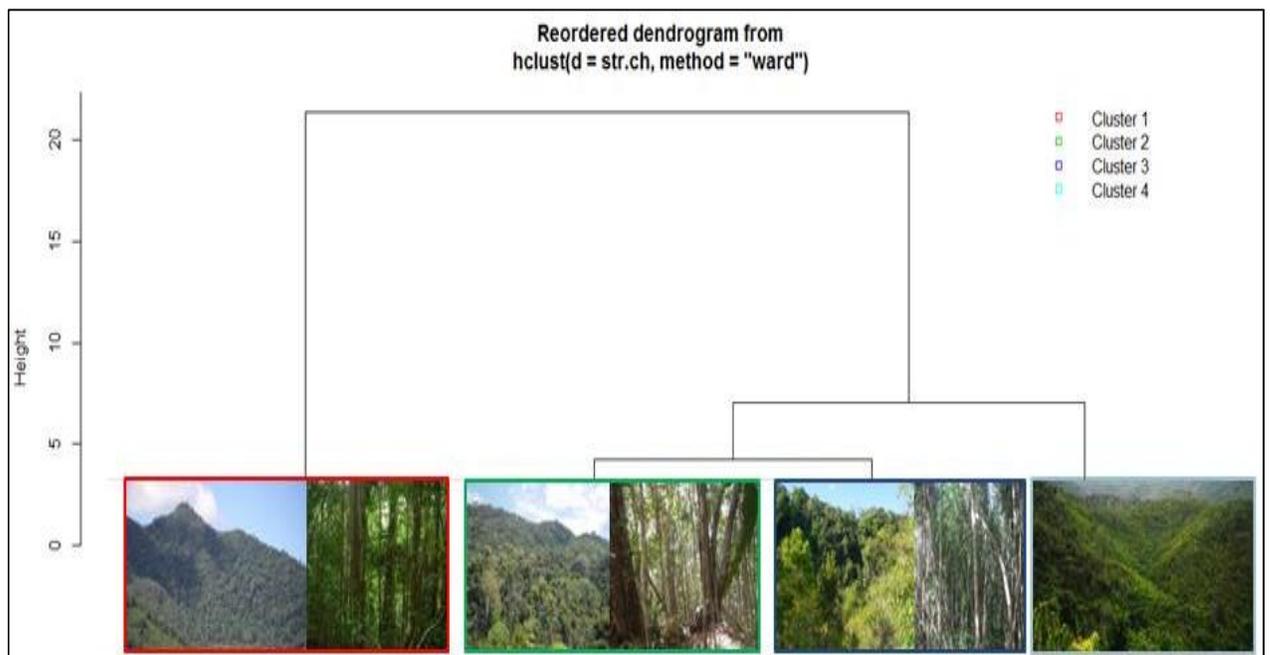


Figure 12 : Types de formations de chaque groupement végétal de la presqu'île d'Ampasindava

#### IV-1-1 Comparaison des données des groupes

Les quatre groupes structuraux de la presqu'île d'Ampasindava représentent les différents types de formations végétales qui y sont présents, autres que les formations de mangroves. Ce sont les forêts denses hautes et sempervirentes, rencontrées principalement au niveau des grands massifs forestiers, les forêts denses moyennement hautes de la zone ouest de la Presqu'île, les jeunes forêts secondaires et les formations dégradées. Quatre descripteurs structuraux pertinents obtenus après test de corrélation sont utilisés pour décrire les groupements végétaux. Ce sont la moyenne des hauteurs maximales (Hmax), le biovolume (Vi), la densité des individus n'entrant qu'une seule fois en contact avec la ligne verticale des points de lecture (IndContact) et le rapport entre la densité et le nombre total de contact (R). IndContact apporte des informations sur la densité des jeunes individus de la formation. Plus la valeur est élevée, plus la formation est dominée par des jeunes individus, et ne présente guère des individus ayant un diamètre du houppier qui pourrait dépasser 2 m (l'équivalent de la distance entre deux points de lecture). Le rapport entre la densité et le nombre de contact (R) renseigne sur l'importance du recouvrement basal des individus par rapports à la densité de la formation. Les valeurs de R sont élevées quand la formation est dominée par des grands arbres. Par contre, R est faible ou très proche de 1 quand la formation est dominée par des jeunes individus ou à dominance des herbacées et des arbustes. D'après les résultats obtenus (Figure 13), Vi et Hmax présentent une distribution de valeurs assez étendue au niveau du groupe A. Ils diminuent de groupe en groupe et deviennent très faibles dans le groupe D. Des chevauchements de valeurs sont parfois observés mais la différence des médianes reste nette. Sur les descripteurs de la densité de la formation, les groupes C et D sont très riches en IndContact. Leur peuplement est en effet dominé par des jeunes individus de taille petite. Au niveau du groupe A, les valeurs d'IndContact sont largement distribuées. En revanche, sa valeur moyenne reste inférieure à celle du groupe D. Concernant le descripteur synthétique R, les groupes A et B ont des valeurs assez repondues, voire même symétriques pour le groupe A. La valeur de la médiane est très proche de 1 pour les groupes C et D, mais la valeur de R du groupe D est très hétérogène. En effet, dans ces derniers groupes, à cause de la petite dimension des houppiers, la faible hauteur et la densité de la formation, le nombre de contacts est très proche du nombre d'individus qui composent la formation.

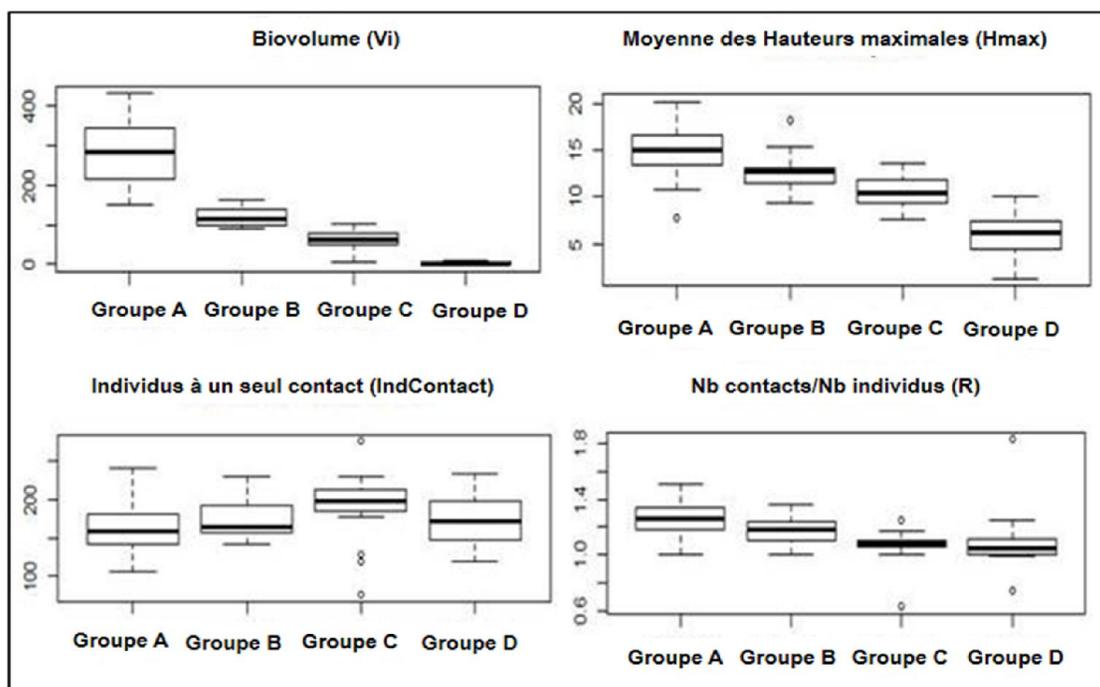


Figure 13 : Distribution des valeurs des descripteurs par groupe

## Test de comparaison des moyennes

Pour connaître la portée de ces résultats, et afin de compléter la comparaison des groupes entre eux, des tests de comparaison de moyennes sont nécessaires. Après le test de normalité, des tests de comparaison des moyennes ont été choisis en fonction de la nature des descripteurs. Pour ceux dont la distribution des valeurs suit la loi normale, comme Hmax et IndContact, le test d'homoscédasticité des variables, ou test de variance, permet de vérifier si pour chaque traitement les variances sont égales ou non. Dans notre cas, les variances sont égales et le test choisi est un test paramétrique : il s'agit du test-t de Student. Avec un seuil alpha de 5% (0,05), les résultats du test sont montrés dans le tableau 2. Concernant le paramètre Hmax, les différences entre les groupes sont significatives car les p-values sont toutes inférieures au seuil alpha. Quant à l'indice IndContact, des différences non significatives sont observées entre les groupes A et B, de même qu'entre les groupes B et C.

**Tableau 2: p-values obtenues par test de comparaison des moyennes d'IndContact et Hmax**

Nombre d'individus à un seul contact	Hauteur moyenne maximale de la formation		
	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Groupe A	0.3571	0.0010	<2.2e-16
Groupe B	-	0.3325	2.234e-15
Groupe C	-	-	<2.2e-16

Hauteur moyenne maximale de la formation	Nombre d'individus à un seul contact		
	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Groupe A	0.0019	1.26e-09	3.912e-07
Groupe B	-	0.0009	2.615e-10
Groupe C	-	-	0.0002

Quant aux descripteurs qui ne suivent pas la loi normale, le test est un test non paramétrique : le test de Wilcoxon (Tableau 3). Pour Vi, les p-values sont toutes inférieures au seuil alpha de 5% entre les quatre groupes ; les différences sont donc significatives. Concernant le descripteur R, les différences restent aussi significatives entre les groupes A-B, A-C, A-D, B-C et B-D. Par contre, il ne discrimine pas les groupes C et D par sa p-value de 0,1797.

**Tableau 3: p-value obtenues par test de comparaison des moyennes de Biovolume et du Nombre de Contacts/Nombre d'individus**

Biovolume	Nombre de contacts/nombre d'individus		
	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Groupe A	9.738e-06	<2.2e-16	6.868e-09
Groupe B	-	2.543e-07	6.986e-07
Groupe C	-	-	4.946e-08

Nombre de contacts/nombre d'individus	Biovolume		
	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Groupe A	0.0192	1.342e-08	1.299e-05
Groupe B	-	0.0035	0.0092
Groupe C	-	-	0.1797

### IV-1-2 Description des groupements végétaux

- **Groupe A**

Ce groupe est composé des 34 relevés effectués en forêt primaire. Ils sont réalisés au niveau des massifs forestiers de Bongomirahavavy, d'Andranomatavy et dans quelques unités de végétation de Betsitsika. Les données descriptives montrent que le groupe est caractérisé par une forêt naturelle haute, dense, à canopée continue et bien fermée, située à environ 20 m de hauteur, composée par des émergents tels que *Canarium madagascariense* (Burseraceae), *Diospyros* spp. (Ebenaceae) et *Faucherea manongarivensis* (Sapotaceae) (Figure 14). Ces forêts ont une grande diversité floristique et les espèces caractéristiques sont *Dypsis pinnatifrons*, *Masoala madagascariensis*, *Ravenea sambiranensis* (Arecaceae), *Ambavia gerrardii* (Annonaceae), *Symphonia urophylla*, *Garcinia verrucosa* (Clusiaceae), *Breonia sambiranensis* (Rubiaceae), *Orfilea multispicata*, *Croton adenophorus* (Euphorbiaceae), *Diospyros* spp. (Ebenaceae), *Dalbergia madagascariensis*, *Parkia madagascariensis* (Fabaceae), *Tambourissa hildebrandtii* (Monimiaceae), *Mauloutchia chapelieri* (Myristicaceae), *Noronhia sambiranensis* (Oleaceae), *Uapaca ambanjensis* (Phyllanthaceae), *Canarium* spp. (Burseraceae), *Symphonia* cf. *pauciflora*, *Garcinia verrucosa*, *Garcinia* aff. *pauciflora* (Clusiaceae), *Calophyllum paniculatum*, *Mammea punctata* (Calophyllaceae). Des taxa utilisés par Humbert (1965) pour désigner les forêts denses humides de basse altitude

du Sambirano sont aussi rencontrés dans les relevés, comme les Myristicaceae et *Anthostema madagascariense*. La densité de la formation se résume par une moyenne de 230 individus par 100 m de ligne de relevé, soit de 65 à 100 espèces par 100 m. Les données dendrométriques montrent en outre que la formation a une densité élevée en individus semenciers. Dans les formations les plus riches et les plus denses, plus de 120 individus sont recensés pour une surface de 0,1 ha. Les plus gros diamètres sont observés chez *Canarium* spp. (Burseraceae) et atteignent 150 cm. Le biovolume s'élève à 400 m<sup>3</sup>/ha.

- **Groupe B**

Le groupe structural B est composé de 17 relevés écologiques, dont 75% représentent des formations de la zone ouest de la presqu'île d'Ampasindava (Betsitsika, Besanganaomby et Bekalanoro). Ces milieux seraient soumis à un climat moins humide que celui de la partie est (Cornet 1972). La hauteur de la formation varie suivant le type du milieu. En moyenne, la formation mesure 13 m de haut, mais elle peut atteindre les 17-18 m dans certains cas (Figure 14), comme dans les forêts à *Sarcolaena multiflora* (Sarcolaenaceae) et *Diospyros* spp. (Ebenaceae). La voûte forestière est moyennement continue, et les émergents sont *Dypsis* spp. (Arecaceae), *Ambavia richardii* (Annonaceae), *Albizia* spp. (Fabaceae) et *Sarcolaena multiflora* (Sarcolaenaceae). Le sous-bois est parfois très dense et souvent inaccessible par l'abondance des herbacées, comme *Scleria longifolia*, *Machaerina flexuosa* (Cyperaceae), *Nastus* sp. (Poaceae) et *Carex* sp. (Cyperaceae). Les espèces caractéristiques de la formation sont *Sarcolaena multiflora*, *Leptolaena cuspidata*, *Leptolaena gautieri*, *Xyloolaena richardii*, *Xyloolaena sambiranensis*, *Schizolaena viscosa* (Sarcolaenaceae), *Grangeria porosa* (Chrysobalanaceae), *Antidesma madagascariensis* (Phyllanthaceae), *Erythroxylum* spp. (Erythroxylaceae), *Uapaca ambanjensis*, (Phyllanthaceae), *Dypsis ampasindavae*, *Dypsis madagascariensis*, *Ravenea sambiranensis* (Arecaceae), *Garcinia* spp, *Symphonia* spp. (Clusiaceae), *Diospyros* spp. (Ebenaceae), *Bertiera longithyrsa*, *Breonia sambiranensis*, *Peponidium velutinum* (Rubiaceae), *Campylospermum dependens* (Ochanceae), *Pandanus vandamii* (Pandanaeae), *Physena madagascariensis* (Phytenaceae), *Brachylaena merana* (Asteraceae), *Polycardia lateralis* (Celastraceae) et *Strychnos madagascariensis* (Loganiaceae). Parmi ces espèces caractéristiques, nombreuses sont typiques des forêts secondaires âgées.

La formation est dense, avec 198 individus pour 100 m de ligne de relevé. Quelques 50 à 60 individus semenciers sont recensés par unité de 0,1 ha, dont les plus gros diamètres mesurent entre 80 à 100 cm. C'est le cas de *Sarcolaena multiflora* (Sarcolaenaceae), *Albizia* spp. (Fabaceae), et *Canarium* spp. (Burseraceae). Un biovolume variant de 80 à 200 m<sup>3</sup>/ha en découle.

- **Groupe C**

Le groupe C regroupe 26 relevés écologiques, dont 80% sont réalisés dans différentes formations secondaires au niveau des piedmonts des massifs forestiers (Andranomatavy et Bongomirahavavy). C'est une unité de végétation qui a une composition floristique et des caractéristiques structurales qui se développent et s'enrichissent avec l'âge, à condition qu'aucune forme de perturbation n'intervienne. Leur composition floristique reflète les historiques de la succession végétale par la présence des espèces pionnières, de quelques espèces rudérales et de nombreuses espèces forestières. Ces dernières proviennent des rejets, des souches ou du stock grainier du milieu. Ces faits vérifient les dires de la stratégie CSR (Compétition, Stress et Perturbation) de John Philip Grime (1974). Les espèces caractéristiques sont *Orfilea multispicata*, *Croton* spp. (Euphorbiaceae), *Paropsia obscura* (Passifloraceae), *Trophis montana* (Moraceae), *Dichapetalum madagascariensis* (Dichapetalaceae), *Lygodium lanceolatum* (Lygodiaceae), *Mantalania sambiranensis* (Rubiaceae), *Garcinia chapelieri* (Clusiaceae), *Merremia peltata* (Convolvulaceae), *Bathiorhamnus louvelii* (Rhamnaceae), *Diospyros* spp. (Ebenaceae), *Dypsis* spp. (Arecaceae), *Grewia sambiranensis* (Malvaceae), *Campylospermum dependens* (Ochanceae). Outre les espèces forestières, les espèces pionnières et cicatricielles fréquentes sont *Aphloia theiformis* (Aphloiaceae), *Pittosporum senacia* (Pittosporaceae), *Macphersonia gracilis* (Sapindaceae), *Annona* sp. (Annonaceae), *Mangifera indica* (Anacardiaceae) et *Harungana madagascariensis* (Hypericaceae). Au niveau de sa structure, la formation est

dense et les arbres ont tous des diamètres (dhp) et hauteurs similaires. Elle atteint une hauteur moyenne de 10 à 12 m et se compose majoritairement de jeunes arbres et arbustes (Figure 14). Plus de 210 individus sont recensés pour 100 m de ligne de relevé, et environ 50 individus semenciers sont mesurés sur une surface de 0,1 ha. Les plus gros fûts mesurent 20 cm de diamètre (dhp) : il s'agit de *Dichaetanthera* sp. (Melastomataceae), *Dypsis* spp. (Arecaceae) et *Ocotea* spp. (Lauraceae). Par conséquent, le potentiel en bois est limité à une moyenne de 80 m<sup>3</sup>/ha.

- **Groupe D**

Le groupe D est composé de 17 relevés écologiques, effectués dans les zones dégradées par la pratique du tavy ou dans les zones récemment abandonnées après cultures. C'est pourquoi des traces de feu et des troncs d'arbres abattus sont fréquents dans ces milieux. La formation peut être discontinue ou très dense selon le type de milieu et l'historique de la parcelle. La flore est moins diversifiée et dominée par des espèces rudérales typiques des sols pauvres. Parmi les espèces caractéristiques, on relève : *Trema orientalis* (Cannabaceae), *Harungana madagascariensis* (Hypericaceae), *Bremeria pervillei* (Rubiaceae), *Mascarenhasia arborescens* (Apocynaceae), *Smilax anceps* (Smilacaceae), *Solanum mauritanum* (Solanaceae), *Urena lobata* (Malvaceae), *Toddalia asiatica* (Rutaceae), *Ravenala madagascariensis* (Strelitzeaceae), *Scleria longifolia*, *Machaera flexuosa* et *Carex* sp. (Cyperaceae). Parmi les formations du groupe, beaucoup suivent une tendance progressive, pour redonner des forêts, mais il y a aussi celles qui régressent et se transforment en formations herbeuses. La formation est basse et très pauvres en individus semenciers. La hauteur moyenne de la formation est de 5,66 m ( $\pm 2,3$ ) et présente un très faible potentiel en bois.

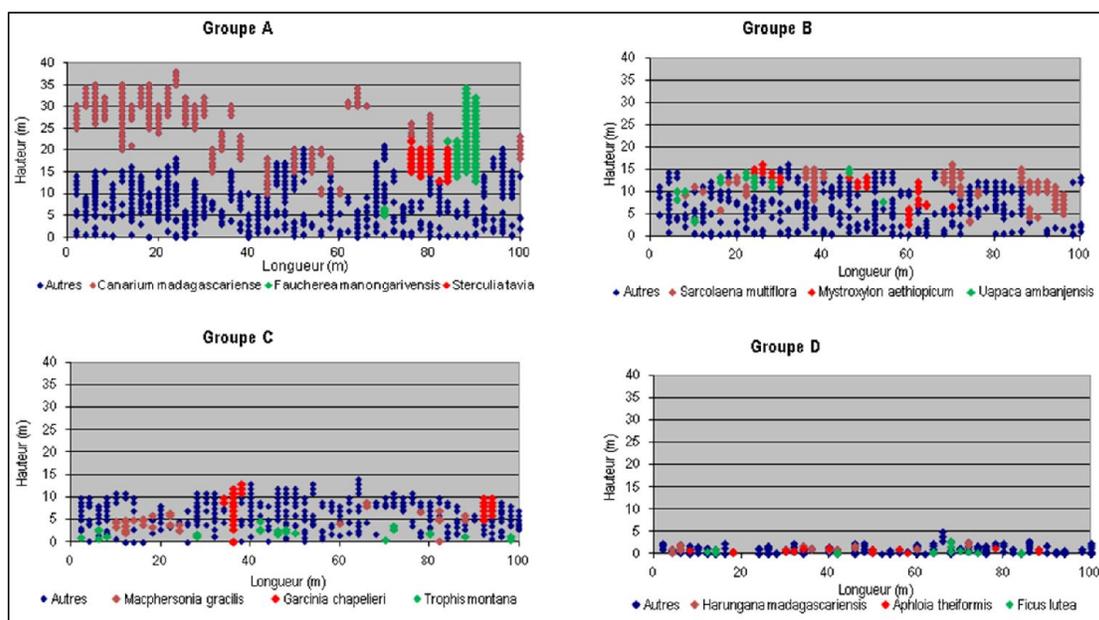
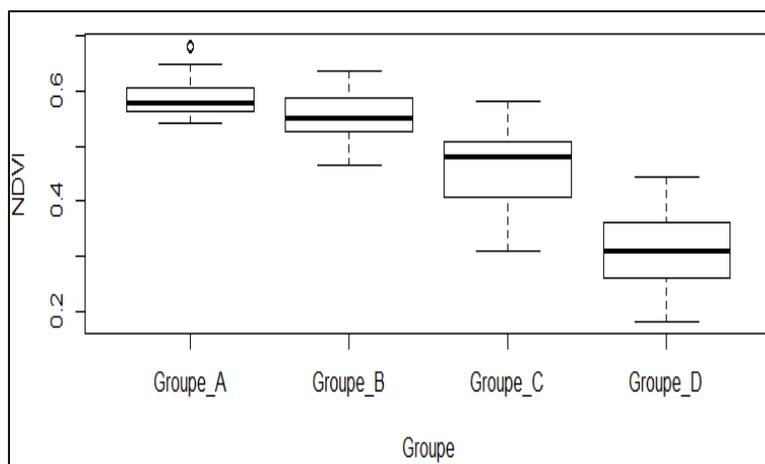


Figure 14 : Exemples de profils structuraux des quatre groupements végétaux

#### IV-2 NDVI et descripteurs de la typologie de la végétation

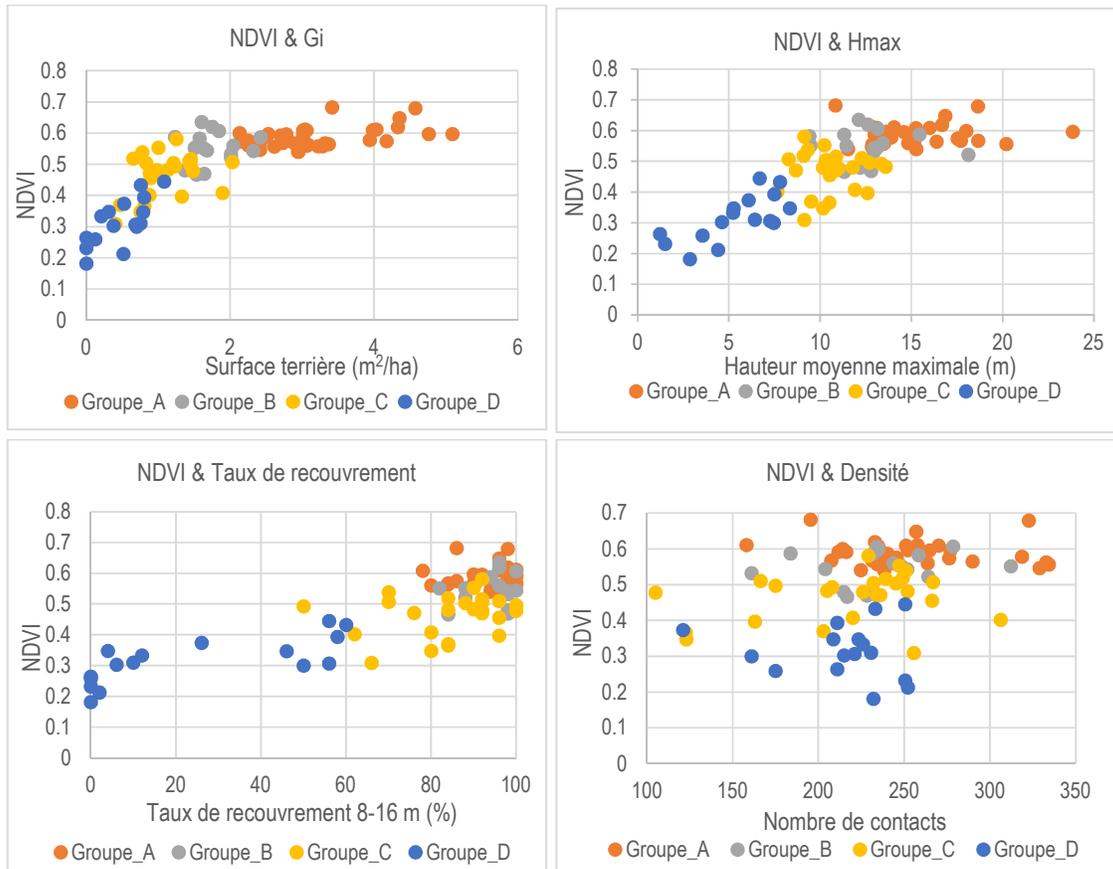
Les NDVI calculé à partir d'un buffer de 60 m de chaque point de relevé ont permis d'avoir des différentes valeurs pour chaque groupe. Les unités de végétation étudiées présentent une variation en NDVI de 0,16 à 0,7 et les valeurs les plus élevées sont rencontrées au niveau des forêts primaires, qui sont ici représentées par le groupe A. La moyenne des valeurs observées chez le groupe A est de 0,59, due à sa structure physionomique dense et à sa canopée élevée. Les forêts de la zone ouest de la presqu'île sont moins hautes et moins denses et présentent une moyenne de NDVI de 0,55. Au niveau des formations secondaires jeunes et des formations dégradées (groupe

C), les NDVI présentent une grande variation suivant leur stade d'évolution, avec une moyenne de 0,46, nettement inférieure à celle du groupe B, indiquant moins de végétation et de biomasse (Figure 15).



**Figure 15 : Différences de NDVI entre les groupes**

Ensuite, les valeurs de NDVI sont comparées avec celles des descripteurs de la structure de la végétation (Figure 16). Celles qui présentent la relation la plus nette sont la surface terrière ( $G_i$ ), la moyenne des hauteurs maximales ( $H_{max}$ ) et le taux de recouvrement entre 8-16 m de haut. Les valeurs de NDVI augmentent avec les descripteurs de la structure de la végétation comme la densité et le taux de fermeture de la canopée. Dans les milieux récemment abandonnés après cultures ou les milieux dégradés (groupe D), l'indice de végétation a une valeur moyenne de 0,31 et peut descendre jusqu'à 0,17. Ces milieux sont parfois à végétation basse, discontinue et pauvres en espèces ligneuses. Comme dans le groupe C, les NDVI du groupe D évoluent suivant la reconstitution de la couverture végétale.



**Figure 16 : Distribution des valeurs de NDVI en fonction de la surface terrière (Gi), de la moyenne des hauteurs maximales (max) du taux de recouvrement et de la densité.**

### IV-3 Couverture végétale de la presqu'île d'Amipasindava

La qualité des résultats cartographiques est jugée par le taux de précision globale des classes, donné par la matrice de confusion. Il s'agit d'un tableau confrontant les classes obtenues (colonnes) et les classes désirées (lignes), dont la diagonale contient les valeurs bien classées (Annexe V et VI). En effet, on a un taux de reconnaissance globale de 86,48% pour les données de 1991 et de 89,46% pour celles de l'année 2013.

Les cartes de la couverture végétale (1991 et 2013) sont montrées dans les figures 17 et 18. Les différences observées sont frappantes entre les dates. En 1991, les forêts des massifs étaient encore connectées entre eux et en plus, nombreuses taches de forêts de différentes tailles prédominent le milieu. Par contre, le défrichement commençait à menacer les grands massifs forestiers. En effet des traces de tavy sont représentées par les taches de formations dégradées rencontrées au piedmont du massif d'Andanomatavy et de Bongomirahavy. Par l'accroissement du taux de défrichement dans la région, les massifs forestiers sont complètement isolés en 2013 (Figure 18). Plusieurs forêts primaires sont transformées en forêts secondaires et/ou en formations dégradées et la classe des formations dégradées est devenue importante.

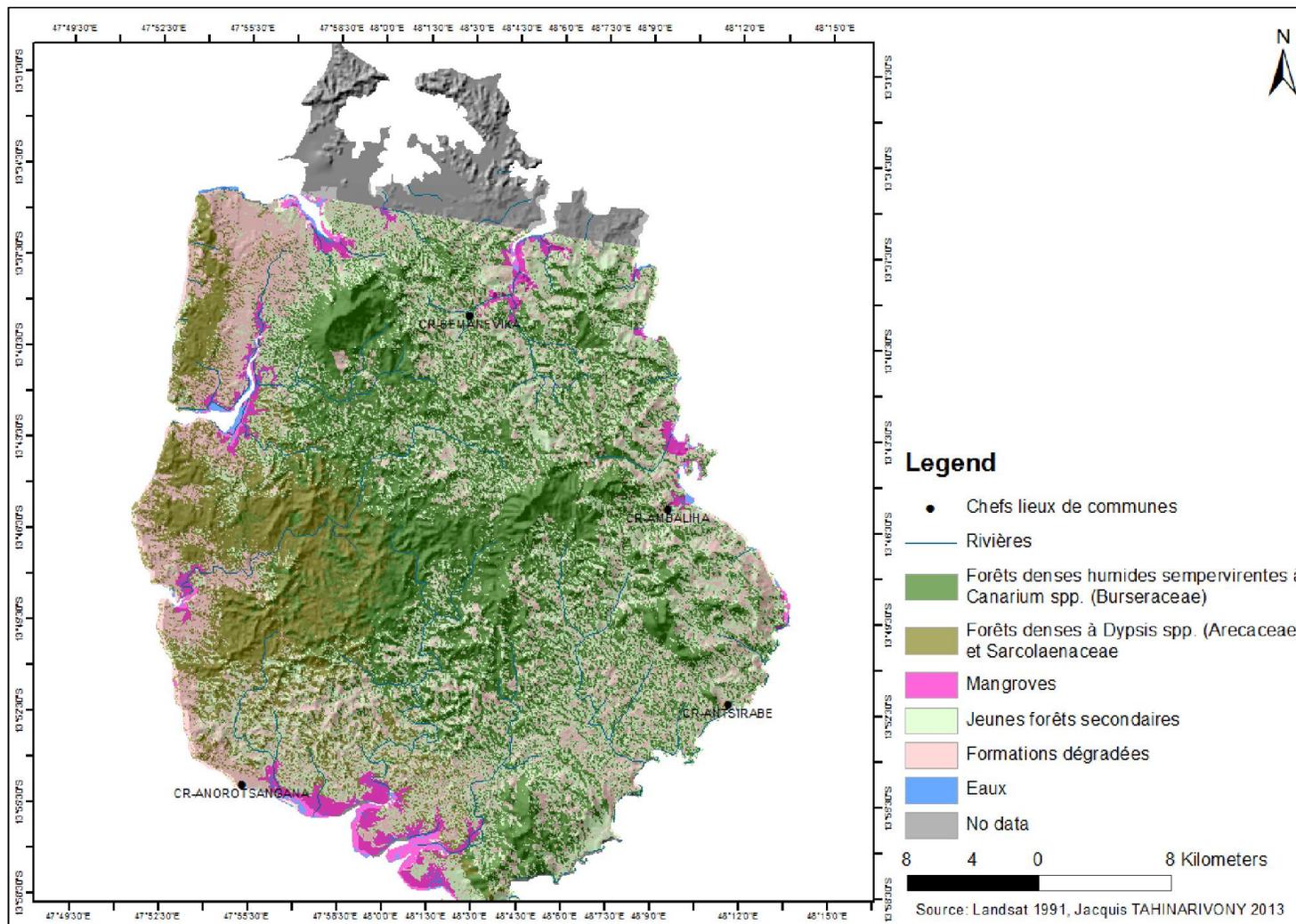


Figure 17 : Couverture végétale de la presqu'île d'Ampasindava en 1991

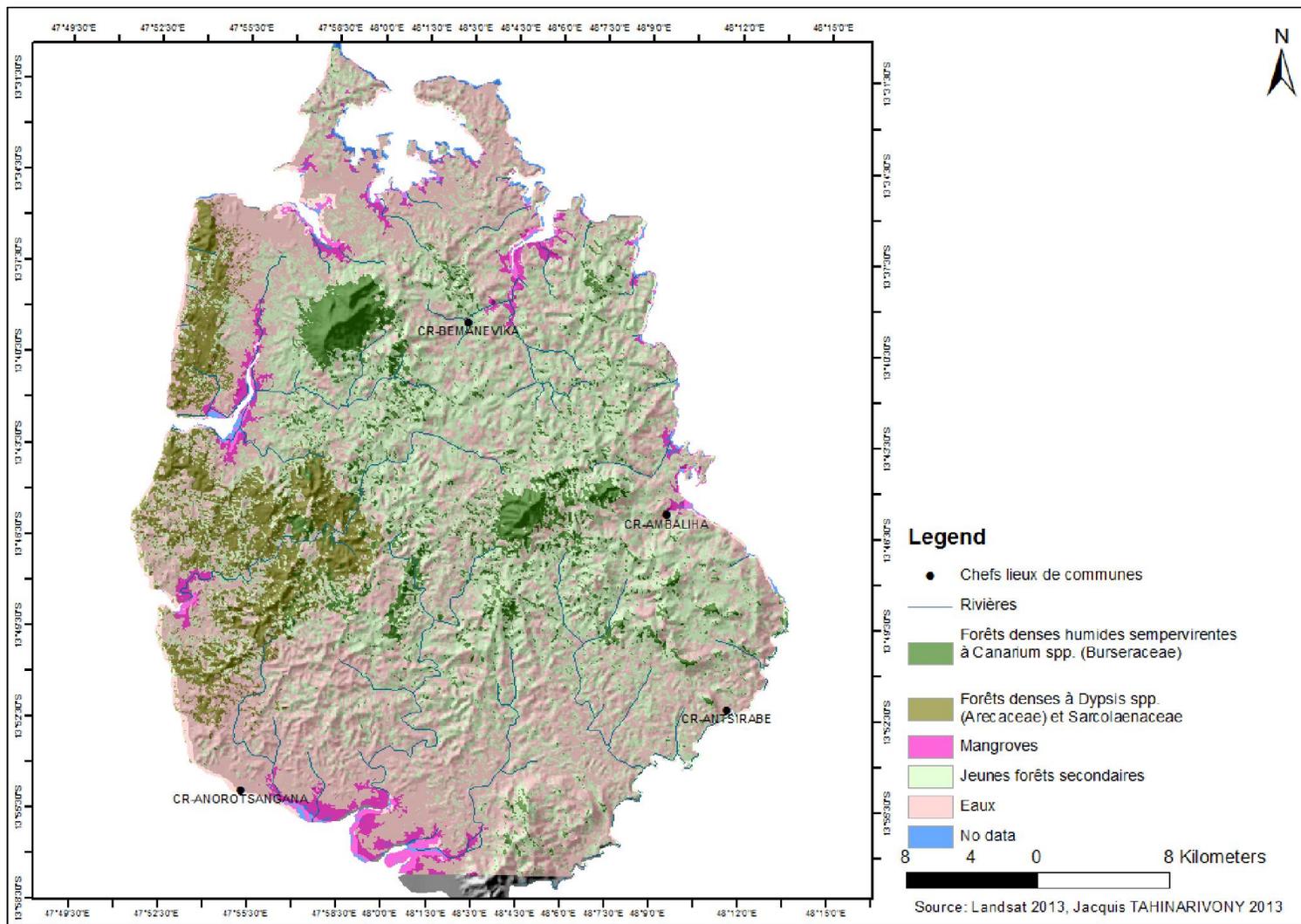


Figure 18 : Couverture végétale de la presqu'île d'Ampasindava en 2013

#### **IV-4 Analyse des changements du paysage de la presqu'île d'Ampasindava**

Les types de changements de la structure paysagère s'interprètent d'abord par la structure et les caractéristiques des taches, un élément constitutif de toutes classes d'occupation du sol. Les cas sont qualifiés suivant l'arbre de décision de Bogaert et al. (2004) qui traite le nombre, la superficie et le périmètre des composantes paysagères. D'une manière globale sur la zone d'étude et indépendamment des classes, entre 1991 et 2013, une réduction importante en nombre de taches est observée (32726 en 1991 contre 10.369 en 2013). Les patchs sont devenus beaucoup plus grands et la taille maximale est presque trois fois plus élevée qu'en 1991. De ces faits, on peut avancer qu'un phénomène d'agrandissement s'est produit par fusion de plusieurs patchs pour donner des taches moins nombreuses mais beaucoup plus grandes.

L'interprétation de ce résultat reste à ce stade difficile car, tout agrandissement des patchs d'une classe se fait aux dépens d'autres classes. Il nous faut donc affiner nos analyses pour caractériser les types de changements au niveau de chaque classe d'occupation du sol. Les résultats sont montrés dans les figures 18, 19 et 20.

##### **IV-4-1 Analyse descriptive des changements des types de formations**

- **Groupe A : Forêts denses humides sempervirentes à *Canarium* spp. (Burseraceae)**

Le nombre de patchs du groupe A a beaucoup changé entre 1991 et 2013. Les valeurs sont passées de 8007 (1991) à 1803 (2013). En plus, une réduction massive en superficie de la classe est observée. En effet, environ 33200 ha de forêts ont été défrichées en 22 ans. Par ailleurs, en 2013, la superficie de la plus grande tache de forêt humide ne mesure que 2387,61 ha, alors qu'elle était de 24560,28 ha en 1991. La perte est énorme et flagrante, et nous amène à déduire que la classe a subi un rétrécissement à cause de la pratique du « Tavy ».

- **Groupe B : Forêts denses à *Dyopsis* spp. (Arecaceae) et *Sarcolaenaceae***

Comme la classe des forêts denses humides à *Canarium* spp. (Burseraceae), les forêts denses à *Dyopsis* spp. et *Sarcolaenaceae* ont connu une réduction considérable en nombre de patchs entre 1991 et 2013. Il est passé de 3750 à 1540. Les patchs sont réduits non seulement en nombre, mais aussi en surface. Une perte d'environ 7502 ha est estimée entre les années 1991 et 2013. Ces faits sont aussi accompagnés d'une réduction en périmètre des patchs. En conclusion, un tel phénomène de changement peut être classé comme un rétrécissement.

- **Groupe C : Jeunes forêts secondaires**

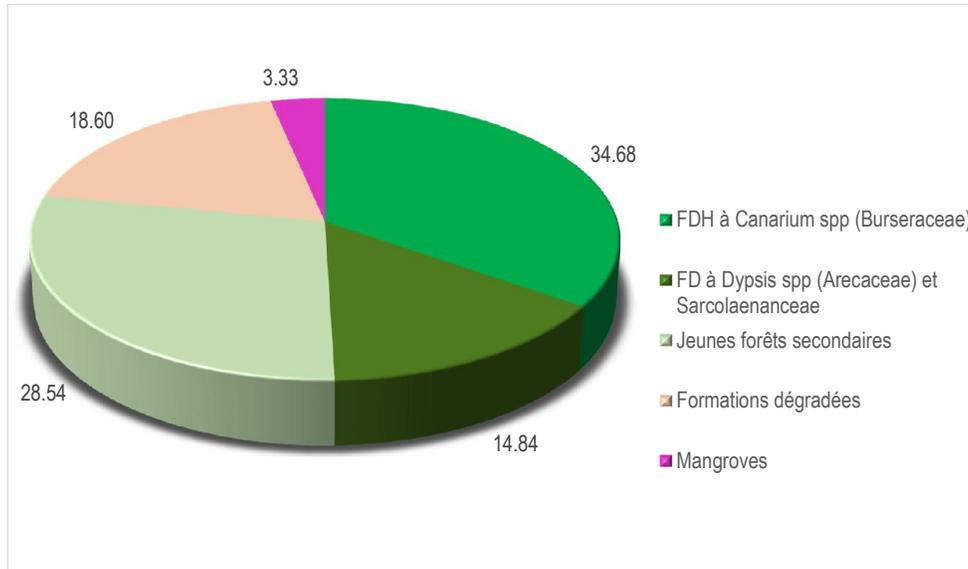
Après la transformation des formations originelles par la pratique du tavy, s'installent les formations secondaires. Elles sont composées par une panoplie de types de formations de jachères et de friches. La classe des forêts secondaires est une des classes les plus dynamiques de par l'effet des facteurs anthropiques. En 1991, les forêts secondaires se présentaient sous forme de nombreuses petites taches éparpillées dans beaucoup de régions. Actuellement, ces taches se sont regroupées et devenues dominantes dans plusieurs zones. Le nombre de patchs est passé de 10280 à 3300, soit l'équivalent de 33961 ha en 1991 à 51741 ha en 2013. Ce phénomène de changement est classé comme un agrandissement.

- **Groupe D : Formations dégradées et ou jeunes formations post-culturelles**

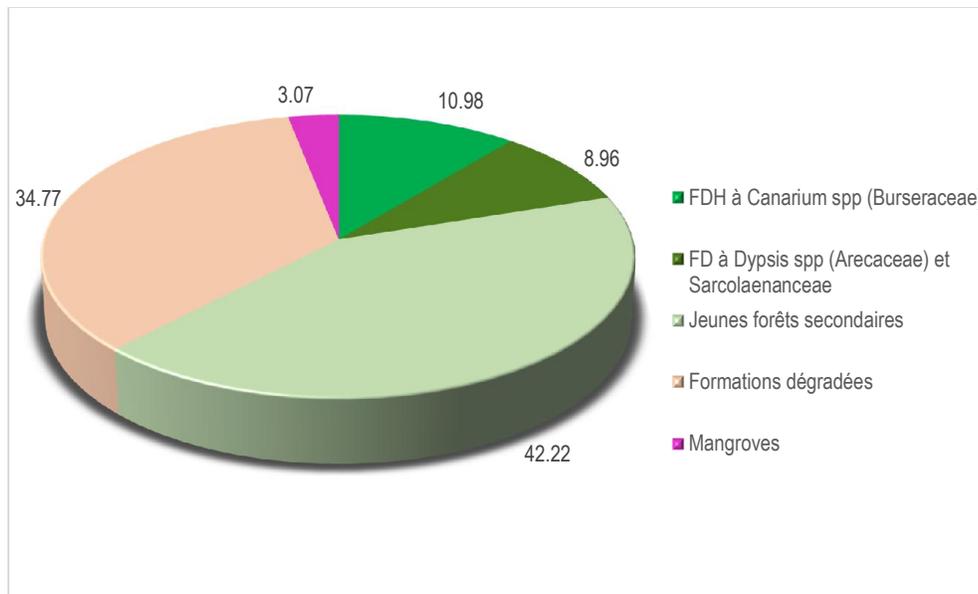
Les formations dégradées évoluent au détriment des autres classes. Elles sont issues des forêts primaires mais aussi des formations secondaires, par la pratique du tavy. Entre 1991 et 2013, la classe a connu une réduction en nombre de patchs (de 10140 à 3241) et une augmentation importante en surface. Si les zones dégradées couvraient une superficie 22139 ha en 1991, en 2013, elles sont devenues beaucoup plus grandes et occupent environ 45177 ha. On peut alors dire que le changement a abouti à un phénomène d'agrandissement de la classe pendant ces vingt-deux dernières années.

- **Mangroves**

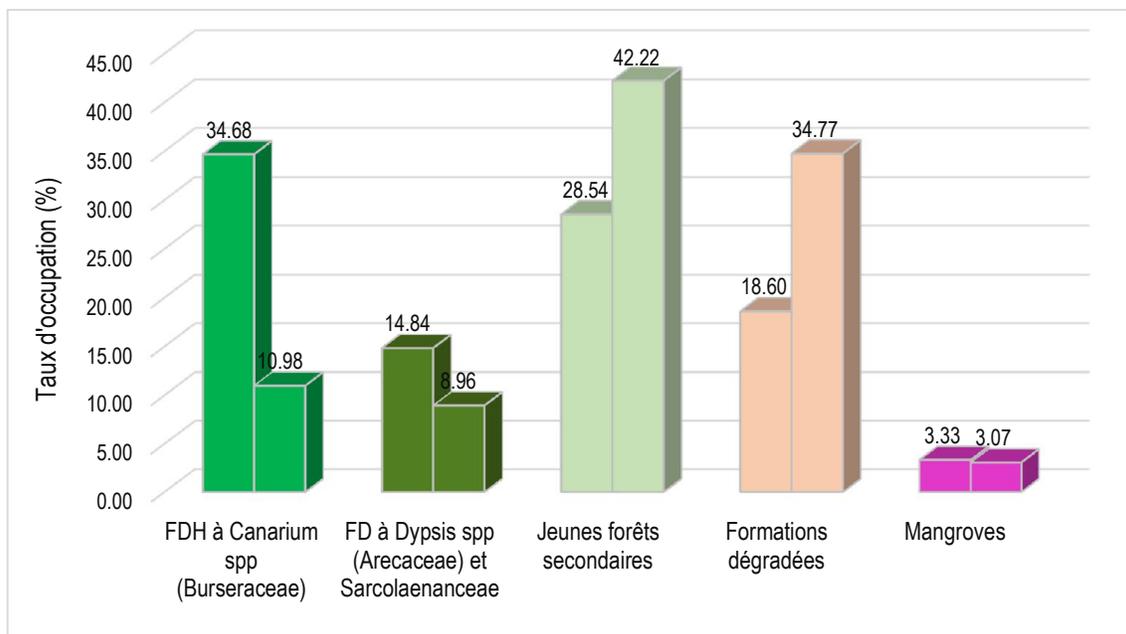
Les formations de mangroves sont nombreuses à la périphérie de la presqu'île d'Ampasindava. On les rencontre dans les estuaires, les lagunes et les deltas des rivières. Elles occupent une superficie beaucoup plus importante dans la partie occidentale. A noter que le charbon de bois dérivé des mangroves est le plus apprécié et le plus demandé dans les marchés de Nosy-Be et d'Amбанja. Le charbonnage est en conséquence la menace principale pour ce type d'habitat, associé au défrichage pour des plantations des cocotiers. Entre 1991 et 2013, le nombre de patches a baissé de 549 à 485. Quelques 395 ha de mangroves ont été perdus dans cet intervalle de temps, soit un rythme d'environ 18 ha par année. On conclut que le changement dans la classe des mangroves est de type rétrécissement.



**Figure 19 : Taux d'occupation des classes en 1991**



**Figure 20: Taux d'occupation des classes en 2013**



**Figure 21: Histogramme de comparaison des changements du taux d'occupation des classes entre 1991 et 2013.**

- **Synthèse**

Plusieurs types de changements se sont produits entre les années 1991 et 2013. Les formations primaires sont les plus touchées, générant à leur tour des changements aux classes de remplacements (formations secondaires et/ou formations dégradées). Les formations climaciques ont en conséquence connu une perte en surface entre les deux dates, perte qui se présente sous deux formes :

- par une augmentation en nombres de patches de tailles inférieures aux patches mères: c'est la fragmentation ;
- par une réduction en nombres de patches et en superficie: c'est le rétrécissement.

La suppression est observée au niveau de la classe des forêts denses humides sempervirentes et le rétrécissement est remarqué au niveau de la classe des forêts denses à *Dypsis* spp. et Sarcolaenaceae et des mangroves. Pour leurs dérivés, on note un phénomène d'agrandissement essentiellement au niveau des formations secondaires.

#### **IV-4-2 Analyse quantitative de changements par l'utilisation des indices paysagers**

L'analyse quantitative est basée principalement sur les indices calculés par le Logiciel Fragstat ©. Selon leur importance, ils sont calculés soit au niveau du paysage, soit au niveau des classes, soit aux deux niveaux.

- **Mesure de composition**

La composition se définit par le nombre de patches, le taux d'occupation et la diversité. A l'échelle du paysage (Tableau 4), une simplification ou homogénéisation du paysage est mise en évidence par la réduction du nombre de patches entre 1991 et 2013. Ce fait est vérifié par la réduction du SHDI.

**Tableau 4 : Comparaison des indices de composition au niveau du paysage**

Années	NP	SHDI
1991	32726	1,459
2013	10369	1,249

**NP** (Number of patches); **SHDI** (Shannon Diversity Index)

L'analyse de composition au niveau des classes (Tableau 5) permet d'expliquer le processus de simplification en donnant leurs caractéristiques évolutives dans le temps. Ces résultats sont assez similaires aux résultats présentés dans les figures 18, 19 et 20. Le plus important porte cependant sur les valeurs de LPI. Elles montrent une réduction importante de la taille des formations primaires au détriment des formations anthropisées. Les formations secondaires et les zones dégradées se sont compactées en 2013 (respectivement de 9,93 à 52,78 et de 3,02 à 16,73) contre une perforation, un morcèlement et surtout une perte des forêts denses humides, des forêts à *Dyopsis* spp. (Arecaceae) et Sarcocaulaceae et des mangroves.

**Tableau 5: Comparaison des indices de composition au niveau des classes**

Classe	FDH à <i>Canarium</i> spp. (Burseraceae)		FD à <i>Dyopsis</i> spp. (Arecaceae) et Sarcocaulaceae		Jeunes forêts secondaires		Formations dégradées		Mangroves	
	1991	2013	1991	2013	1991	2013	1991	2013	1991	2013
NP	8007	1803	3750	1540	10280	3300	10140	3241	549	485
CA	41272	8072	17665	10163	33961	51741	22139	45177	3968	3573
PLAND	34,68	10,98	14,84	8,96	28,54	42,22	18,60	34,77	3,33	3,07
LPI	22,13	1,63	9,42	4,81	9,93	33,60	3,02	16,73	0,49	0,48

(NP: Number of Patches; CA: Class Area (ha); PLAND: Percentage of Landscape; LPI: Largest Patch Index)

- **Mesure de fragmentation et d'agrégation**

La fragmentation et l'agrégation des composantes paysagères à travers le temps (Tableau 6) peuvent s'interpréter par l'indice d'agrégation (AI), l'indice d'adjacence entre les classes (IJI), la tendance des classes à être spatialement agrégées (CONTAG) et l'indice de densité de contour (ED). Selon les résultats du tableau 6, entre les années 1991 et 2013, il y a une réduction de IJI, ce qui signifie qu'un milieu défini est composé de moins en moins d'objets appartenant à une ou plusieurs classes données. En effet, sa valeur est passée de 51,75% (1991) à 43,98% (2013). D'ailleurs, ceci est marqué par une diminution de densité de contour (ED) montrant qu'une ou quelques classes ont tendance à dominer le paysage par contagion. C'est pourquoi CONTAG a connu une hausse de 43,01% (1991) à 53,24% (2013). Par ces divers phénomènes, les changements qui ont eu lieu sont dus à un processus d'agrégation, démontré par une élévation de l'AI de 75,48% (1991) à 88,65% (2013).

**Tableau 6 : Comparaison des valeurs des indices de fragmentation et d'agrégation au niveau du paysage**

	ED	CONTAG	IJI	AI
1991	162,74	43,01	51,75	75,48
2013	75,56	53,24	43,98	88,65

(AI : Agregation Index; IJI : Interspersion/Juxtaposition Index; CONTAG : Contagion, ED : Edge Density)

Au niveau des classes (Tableau 7), les mesures de fragmentation et d'agrégation deviennent plus détaillées et plus explicites. Les résultats montrent que, entre 1991 et 2013, il y a une augmentation de l'AI pour toutes les classes. Cette augmentation est importante pour les formations secondaires, puisqu'elle est passée de 64,37% (1991) à 87,95% (2013). C'est la classe la plus dynamique et la plus instable, de par le phénomène du tavy et, qui par ailleurs est devenue de plus en plus compacte. En revanche, la classe des mangroves se caractérise par un faible changement, par une moindre réduction du taux d'occupation, mais aussi une faible augmentation de AI. Avec la réduction d'ED et de FRACT\_MN, il n'y a aucun doute que le processus d'agrégation est commun entre les classes d'occupation du sol de la presqu'île d'Ampasindava. En outre, la relation et/ou interspersion d'une classe avec les autres est très réduite en 2013. Les différentes classes sont donc devenues moins agrégées et moins

interconnectées entre eux. Ce fait est vérifié par la réduction des valeurs d'IJI de toutes les classes entre les années 1991 et 2013.

**Tableau 7: Comparaison des valeurs des indices de fragmentation et d'agrégation au niveau des classes**

TYPE	FDH à <i>Canarium</i> spp. (Burseraceae)		FD à <i>Dyopsis</i> spp. (Arecaceae) et Sarcolaenaceae		Jeunes forêts secondaires		Zones dégradées		Mangroves	
	1991	2013	1991	2013	1991	2013	1991	2013	1991	2013
ED	84,581	12,431	37,052	11,352	134,289	70,016	61,791	52,748	5,829	3,493
FRAC_MN	1,053	1,039	1,053	1,049	1,053	1,057	1,052	1,044	1,041	1,071
IJI	35,968	18,657	65,780	48,624	57,832	54,798	37,760	20,173	80,959	73,341
AI	81,693	86,469	81,336	90,244	64,371	87,951	74,511	89,507	86,295	90,557

(ED: Edge Density, **FRAC\_MN**: Mean Fractal Dimension; **IJI**: Interspersion/Juxtaposition Index, **AI**: Agregation Index)

## V- DISCUSSION

La presqu'île d'Ampasindava, dans le domaine du Sambirano abrite une grande diversité et possède une importance au niveau de la compréhension de la flore et de la végétation de Madagascar. Avec ses caractéristiques climatiques, la zone se singularise par la présence des forêts denses humides sempervirentes, typique du domaine oriental mais rencontré dans la zone occidentale de l'île.

### V-1 Méthodologie et données antérieures

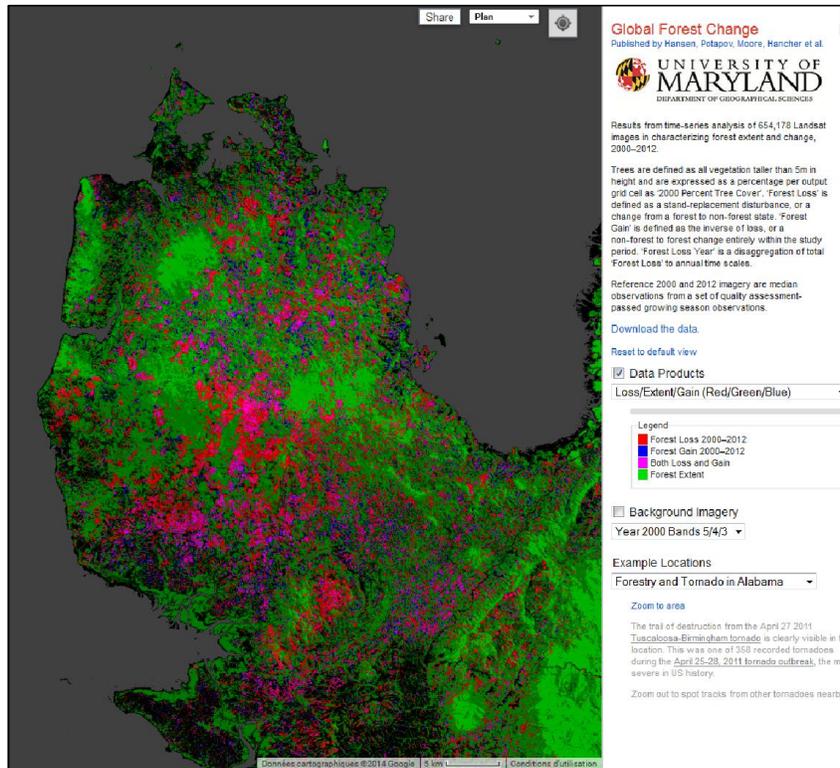
Plusieurs études antérieures à large échelle (Faramalala 1995 ; Moat & Smith 2007) proposent des cartes de la végétation basées sur l'analyse des images satellitaires, sans avoir suffisamment considéré les vérités de terrain. Par conséquent, certaines interprétations sont discutables et beaucoup de détails sont ignorés. Ces travaux ont été commentés par Amman (2011) qui a mis en doute certaines conclusions sur la Presqu'île. Concernant la carte bioclimatique de Cornet (1974) simplifiée par Schatz (2000), Cornet avait même reconnu que sa carte comportait plusieurs approximations et imprécisions, et avec la simplification de Schatz, beaucoup de points caractéristiques et spécifiques sont masqués. Dans sa carte *Formations végétales et Domaine forestier de Madagascar*, établie à l'échelle nationale, Faramalala (1995) considère que la presqu'île d'Ampasindava est composée majoritairement par des formations secondaires avec quelques taches de forêts sur le massif de Bongomirahavavy et d'Andranomatavy. L'échelle de cette étude n'a pas permis la mise en évidence des massifs forestiers à l'époque encore bien présents de Betsitsika de Bekalanoro et de Besanganaomby ni de ceux des collines d'Anorotsangana. Les données cartographiques de Moat & Smith (2007) nous ont servi de référence lors de la réalisation des échantillonnages stratifiés avant les descentes sur le terrain. Dans leur carte, la Presqu'île est composée majoritairement par des forêts sèches, dans lesquelles sont inclus le massif d'Andranomatavy, les alentours de Bongomirahavavy et la région de Betsitsika. Ces interprétations entrent en conflit avec nos observations sur le terrain, qui malgré qu'elles aient été effectuées pendant différentes saisons (sèches et humides), n'ont jamais permis de mettre en évidence des forêts sèches, toutes les formations naturelles rencontrées étant de type humide.

Dans cette étude, la cartographie de la végétation est basée sur des analyses et des approches locales, en couplant l'imagerie satellitaire à un corpus important de données de flore et de végétation récoltées dans le terrain. Ces méthodes produisent des résultats très proches de la réalité mais présentent quelques limites :

- la disponibilité et la qualité des imageries satellitaires : les images de qualité et exemptes de couverture nuageuse nécessaires à l'analyse cartographique de la végétation sont très rares et pas toujours d'accès libre;
- les formations secondaires sont des objets très difficiles à manipuler dans la cartographie. Ils ont des caractéristiques instables (par la différence des NDVI saisonnières à cause de la caractéristiques éco-physiologiques et des espèces caractéristiques) et très dynamiques du fait du processus de la succession végétale. Seules des données écologiques (relevés de végétation) bien localisées dans le temps et dans l'espace et l'existence d'images de qualité prises peu de temps avant permettent une association pertinente.

### V-2 Analyse de la fragmentation et dégradation des forêts

Les analyses cartographiques effectuées à l'échelle mondiale faites par Hassen et al. (2013), sont importantes pour analyser la déforestation. Au niveau de la presqu'île d'Ampasindava (Figure 22) les zones les plus sensibles sont principalement la zone nord-ouest et la partie centre. Par contre ces données sont non satisfaisantes pour montrer et décrire les réalités à l'échelle locale, surtout dans définition de la classe « forêt » qui est une base importante dans la cartographie de la végétation. Par conséquent, les approches locales sont les plus importantes dans cette étude, surtout dans le but d'identifier les zones prioritaires pour la conservation.



**Figure 22 : Carte de changement de la couverture forestière de la presqu'île d'Ampasindava**

Dans notre cas, la dégradation et la fragmentation des habitats de la presqu'île d'Ampasindava ont été analysées par l'utilisation du logiciel FRAGSTAT. Les analyses ont considéré trois niveaux hiérarchiques complémentaires : les taches, les classes et le paysage. Le système d'analyse met à disposition différents indices métriques pour chaque niveau et sont choisis suivant les objectifs de l'étude. Dans notre cas, ces indices sont appuyés par l'utilisation de l'arbre de décision de Bogaert et al (2004). La pertinence des résultats issus de ces deux approches est largement dépendante de la qualité des résultats cartographiques. En premier lieu, l'arbre de décision sert à identifier les caractéristiques et les processus des changements. C'est à ce niveau qu'on essaie de connaître le type de changement qu'une classe a subi pendant un intervalle de temps bien délimité. Ensuite, les analyses par Fragstat cherchent à montrer les caractéristiques inter- et intra-classes par les indices de cohésion, d'agrégation et de fragmentation. Néanmoins, parmi les divers indices proposés par Fragstat, plusieurs apportent des informations similaires et ou redondantes, raison pour laquelle le choix des indices est fonction des objectifs, et des caractéristiques des zones à étudier.

Dans l'optique de chercher les zones prioritaires de la conservation, ces analyses ne sont pas suffisantes car les résultats sont de type quantitatif et non qualitatif et ne permettent pas d'identifier l'importance écologique des différentes unités, et notamment leur rôle dans l'écosystème. En effet, les classes et le paysage sont décrits de manière structurelle et non directement par leur composition floristique et/ou leur importance écologique. C'est pourquoi les conclusions qu'on peut tirer de ce type d'analyses ne suffisent pas pour comprendre l'ensemble des processus de transformation de la végétation. Par contre, ils fournissent des bases solides sur l'identification des réseaux écologiques (Zone nodale, Zone de développement, ect) suivant les critères de références établis au préalable (espèces ou écosystèmes ; les critères IUCN et/ou CITES ; valeurs culturelles ou éco-socioéconomiques, ect).

### V-3 Sources et causes des changements

La dynamique démographique constitue un facteur à l'origine de la dégradation des forêts dans la presqu'île d'Ampasindava. Elle est surtout accélérée par le mouvement migratoire de la population venant des différentes régions. Parmi les migrants, les paysans des tribus « Tsimihety » venant de la région SOFIA (sud-est d'Ampasindava) représentent une contribution de première importance. Ils ont choisi comme destination la région de la Presqu'île en raison de sa richesse en milieux humides, plus favorables pour la pratique du Tavy. Par ailleurs, pour pouvoir satisfaire leurs besoins et se ménager un revenu, toutes les personnes actives âgées de plus de 14 ou 15 ans (surtout les hommes) sont orientées dans la pratique du Tavy, en l'absence d'alternative. En conséquence, en moyenne 0,6 ha de formations végétales (forêts primaires et forêts secondaires) ont été défrichés par ménage par année dans la région.

Cette croissance démographique accélère non seulement la perte et la fragmentation des forêts mais cause aussi des problèmes fonciers, sociaux et culturels entre les paysans. Les nouveaux venus qui n'ont pas de terres choisissent les zones non encore attribuées ou exploitées auparavant, qui correspondent principalement à des forêts primaires, qui sont souvent des forêts sacrées. Elles sont défrichées par les immigrants au mépris de leur valeur culturelle. Dans la zone ouest, une grande partie des forêts ont aussi disparu entre 1991 et 2013, toujours à cause de la pratique du Tavy. C'est le cas de nos quelques sites de relevé de 2008, défrichés depuis par les paysans entre les années 2010-2011. Ce changement est très fréquent au niveau des zones longeant les grandes rivières. Néanmoins, des reliques de forêts témoignent de l'importance de la flore et de la végétation du milieu. Ces forêts subsistent car :

- elles se trouvent très éloignées des villages et d'un accès difficile;
- elles poussent sur un substrat inapproprié à la culture du riz (substrat sableux ou rochers), comme les forêts de Besanganaomby et de Marotony ;
- elles sont inaccessibles par l'abondance des espèces herbacées tranchantes : *Scleria boivinii* (Cyperaceae) ;
- la pratique du Tavy est impossible par l'abondance d'espèces végétales compliquant la mise à feu ;
- la forêt abrite des tombeaux et ou des mauvais esprits (selon les dires de la population locale).

## CONCLUSION

Par sa position dans le nord-ouest de Madagascar, sous un climat humide, avec une forte pluviométrie moyenne dépassant les 2000 mm, la presqu'île d'Ampasindava abrite des formations végétales particulièrement riches en diversité et en composition floristique. Les inventaires floristiques et les relevés de végétation dans les différentes unités de végétation nous ont permis de conclure que la formation climacique a une grande affinité floristique (en plus de ces espèces endémiques locales) et structurale avec celle du domaine orientale malgache

La région est soumise à une déforestation intense par la pratique d'un système d'agriculture itinérante connu sous le nom du « Tavy ». C'est une pratique assez productive mais très dévastatrice. Elle a causé une transformation de la végétation originelle par morcèlement et dégradation. Pourtant, les forêts des massifs (Bongomirahavavy, Andranomatavy et Betsitsika) sont des forêts classées selon la carte du zonage forestier de la région DIANA. Ces destructions montrent l'inefficacité du système de législation forestière régionale malgré la présence d'un système de protection coutumière des indigènes ou « Fady » qui a été ébranlé par les immigrants. Face à cette situation, la mise en place d'un système de conservation construit à partir des approches locales est le seul moyen pour préserver les reliques des forêts et la biodiversité de la Presqu'île d'Ampasindava.

La définition des zones prioritaires de conservation est basée principalement sur les données écologiques et la disposition spatiale des unités d'occupation du sol dans le milieu. Les données cartographiques occupent une grande importance et forment le support de base dans les analyses spatiales et temporelles. Ces données cartographiques sont obtenues après traitements des images satellitaires multitemporales et multispectrales (Landsat) tout en considérant les données écologiques des relevés de végétations. En effet, les différentes unités de formations végétales identifiées sont les forêts denses humides sempervirentes à *Canarium* spp. (Burseraceae), les forêts denses à *Dyopsis* spp. (Arecaceae) et *Sarcolaenaceae*, les forêts secondaires et les formations dégradées.

Les forêts denses humides sempervirentes sont actuellement isolées au niveau des grands massifs sacrés, à savoir Andranomatavy et Bongomirahavavy. La formation est haute, dense et très riche en diversité floristique et correspond à la forêt climacique du domaine du Sambirano. Ces blocs de forêts primaires sont entourés par des forêts secondaires et des formations dégradées par la suite de l'effet répété et continu de la pratique du Tavy. Dans la zone ouest de la Presqu'île, les forêts denses à *Dyopsis* spp. (Arecaceae) et *Sarcolaenaceae* recouvrent les chaînes de collines comme à Betsitsika, à Besanganaomby et à Bekalanoro. Ces forêts sont soumises à un climat moins humide que celle de la partie est et se développent sur un relief de dissection dans les grès et les quartzites. Elles pourraient par ailleurs avoir une origine secondaire en étant des faciès avancés de recréation forestière après culture. Ces formations sont morcelées par des forêts secondaires jeunes et des formations dégradées toujours à cause du Tavy. Dans ce zone ouest, les forêts denses humides sont aussi présentes, dans les milieux humides et parfois en longeant les rivières permanentes. Enfin, les mangroves occupent aussi une grande importance dans la Presqu'île. Elles sont beaucoup plus présentes dans les deltas, les lagunes et les estuaires de la partie occidentale.

Le processus de changement du milieu a été analysé à partir des suivis des caractéristiques spatiales et fonctionnelles de ces différentes unités d'occupation du sol dans le temps. Ce changement est causé par les activités anthropiques, à l'instar du Tavy et de l'exploitation forestière. Entre autre, la croissance démographique galopante et le mode de vie très dépendant des ressources naturelles accélèrent la dégradation des forêts et le paysage de la Presqu'île d'Ampasindava.

Les analyses des changements entre 1991 et 2013 ont permis d'évaluer le rythme de la déforestation et les types de modifications qu'ont subi chaque unité de formation et, de définir l'état actuel de la couverture végétale de la presqu'île. Les résultats ont montré que des surfaces importantes ont changé de classe entre ces dates, et en

particulier les classes de forêt dense, mettant en évidence un taux élevé de la déforestation. En effet, environ 960 ha de forêts denses humides et 260 ha de forêts denses à *Dyopsis* spp. (Arecaceae) et *Sarcolaenaceae* sont défrichées par années dans la région. Les formations de mangroves ont connu aussi une réduction en superficie par l'effet du charbonnage. Par contre, les forêts secondaires et les zones dégradées ont connue des développements au détriment de ces formations forestières denses. Les caractéristiques et les processus des changements sont expliqués par l'intermédiaire des indices paysagers.

Les analyses quantitatives de changements se sont basées sur les valeurs des indices paysagers calculés par Fragstat ®. Le paysage de la presqu'île était composé par des taches et de formations primaires dispersées de manière hétérogène en 1991. En 2013, par le phénomène de rétrécissement (pour les formations primaires), et/ou d'agrandissement (formations anthropisées), des agrégations des taches appartenant à des mêmes classes sont observées. De cela, on peut dire que les changements ont abouti à une simplification ou une homogénéisation du paysage. Cette simplification se voit par le regroupement des forêts, isolées au niveau des massifs, entourées par des forêts secondaires et des formations dégradées couvrant des étendues de plus en plus vastes. Actuellement, ces dernières commencent à dominer le milieu et montent de plus en plus en altitude.

En conclusion, parmi les zones prioritaires de conservation, les zones nodales devraient être localisées au niveau des massifs forestiers et notamment les mangroves. Ensuite, les zones tampons pourraient être composées des jeunes forêts secondaires qui s'évaluent en forêts préclimaciques par le processus de l'évolution progressive. Ensuite, ces zones tampons assureront les rôles des ponts biologiques pour reconstituer le paysage de la région. Toutefois, en partant de ces données, la délimitation des différents réseaux écologiques demande l'utilisation des données indicatrices (comme l'aire d'occupation des espèces clés animales/végétales et/ou des données socioéconomiques), ce qui constituera la suite de notre étude. Nous sommes actuellement en train de mettre en place tous les outils et toutes les informations nécessaires pour préserver les forêts de la presqu'île d'Ampasindava par la création d'une nouvelle aire protégée (NAP) avec le projet Managed Resources Protected Areas (MRPA), financé par le Fond pour l'Environnement Mondial (FEM) et le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

## BIBLIOGRAPHIE

- AMMANN M. 2011. *La presqu'île d'Ampasindava (Nord-Ouest de Madagascar) : Une région mal connue et menacée, capitale pour la compréhension de la mise en place de la flore du Domaine du Sambirano*. Travail de maîtrise universitaire (Master) en Biologie. Université de Genève, Laboratoire de Botanique Systématique et Biodiversité Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève. 200 pp.
- BAUER, H.L. 1943. The statistical analysis of chaparral and other plant communities by means of transect samples. *Ecology* 24: 45–60.
- BESAIRIE, H. 1933, Carte géologique de reconnaissance d'Ambanja et Anorotsangana avec notice. Tananarive.
- BESAIRIE, H. avec la coll. de Collignon, M., 1972, Géologie de Madagascar. I. Terrain sédimentaires. *Ann. Géol. Madagascar*.
- BOGAERT, J., I. BAMBA, K.J. KOFFI, S. SIBOMANA, J.-P.K. DJIBU, D. CHAMPLUVIER, E. ROBBRECHT, ET AL. 2008. Fragmentation of forest landscapes in Central Africa: Causes, consequences and management. *In* Patterns and processes in forest landscapes, 67–87. Springer. Available at: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8504-8\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8504-8_5) [Accessed January 14, 2014].
- BOGAERT, J., R. CEULEMANS, AND D. SALVADOR-VAN EYSENRODE. 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management* 33: 62–73.
- BROADBENT, E.N., G.P. ASNER, M. KELLER, D.E. KNAPP, P.J. OLIVEIRA, AND J.N. SILVA. 2008. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biological conservation* 141: 1745–1757.
- BUELL, M.F., AND J.E. CANTLON. 1950. A study of two communities of the New Jersey Pine Barrens and a comparison of methods. *Ecology* 31: 567–586.
- BUREL, F., AND J. BAUDRY. 1999. Ecologie du paysage. *Concepts, méthodes et applications* 359p.
- CALLMANDER, M.W., P.B. PHILLIPSON, G.E. SCHATZ, S. ANDRIAMBOLOLONERA, M. RABARIMANARIVO, N. RAKOTONIRINA, J. RAHARIMAMPIONONA, ET AL. 2011. The endemic and non-endemic vascular flora of Madagascar updated. *Plant Ecology and Evolution* 144: 121–125.
- CASTELLI A. D. 2011. *Etude bibliographique du domaine du Sambirano, nord-ouest de Madagascar*. Travail de Bachelor. Université de Genève / Laboratoire de Systématique végétale et biodiversité et Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, 27p.
- CLEVERS, J. 1988. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 25: 53–69.
- CONSERVATION INTERNAL. 2012. *Carte de Feux en Forêt de 2002 – 2010 en DIANA*.
- DAGET, P., AND J. POISSONET. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *In Annales agronomiques* 22 (1) : 541.,
- D'AMICO, C., AND L. GAUTIER. 2000. Inventory of a 1-ha lowland rainforest plot in Manongarivo, (NW Madagascar). *Candollea* 55: 319–340.
- DEVINEAU, J.-L. 1980. Couvert angulaire et architecture forestière: Etudes en Côte d'Ivoire. *Annales de l'université d'Abidjan sér. E* 13: 7–37.
- DEVINEAU, J.-L. 1984. Structure et dynamique de quelques forêts tropicales de l'Ouest africain (Côte d'Ivoire). Université Pierre et Marie Curie-Paris VI. Available at: <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00359023/> [Accessed August 14, 2014].
- DONNOT, M. 1963. Les complexes intrusifs alcalins d'Ampasidava (Madagascar). *Ann Géol Madagascar* 33: 81–87.

- DONQUE, G. 1972. *Contribution à l'étude géographique du climat de Madagascar*. Mémoire de thèse de Doctorat es-lettres, édition provisoire, 3 volumes de 612 p.+ atlas de 440 fig., 5 photos. Tananarive.
- DU PUY, D.J., AND J. MOAT. 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 conservation status. *Biogéographie de Madagascar* 1996: 205–218.
- DU PUY, D.J., AND J. MOAT. 1998. Vegetation mapping and classification in Madagascar (using GIS): implications and recommendations for the conservation of biodiversity. *Chorology, Taxonomy & Ecology of the Floras of Africa and Madagascar*. Royal Botanic Gardens, Kew 97–117.
- DU PUY, D.J., AND J. MOAT. 2003. Using geological substrate to identify and map primary vegetation types in Madagascar and the implications for planning biodiversity conservation. *The natural history of Madagascar* 51–67.
- DUFILS, J.M. 2008. Couvert forestier restant. *Paysages naturels et biodiversité de Madagascar*. Paris: Musée National d'Histoire Naturelle 67–79.
- DUFOURNET, R. 1972. Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. *Revue de Géographie* 20: 25-118.
- EMBERGER, L., M. GODRON, AND P. DAGET. 1968. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu, principes et transcription sur cartes perforées. Éditions du Centre national de la recherche scientifique. Available at: <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/433635> [Accessed January 4, 2014].
- FARAMALALA, M.H. 1995. Formations végétales et domaine forestier national de Madagascar. Carte 1 :1.000.000. *Conservation International, Antananarivo*.
- GAUTIER L., CHATELAIN C. & SPICHIGER R. 1994. Presentation of a relevé method for vegetation studies based on high-resolution satellite imagery. In: SEYANI, J. H. & A. C. CHIKUNI (eds.). Proceedings of XIIIth plenary meeting of AETFAT, Zomba, Malawi, 1991: 1339-1350. National Herbarium and Botanic Gardens of Malawi, Zomba.
- GODEFROIT, S. 2002. Stratégies patrimoniales au paradis de la nature. Conservation de la biodiversité, développement et revendications locales à Madagascar. *Patrimonialiser la nature tropicale. Dynamiques locales, enjeux internationaux* 67–108.
- GOODMAN, S.M., AND J.P. BENSTEAD. 2005. Updated estimates of biotic diversity and endemism for Madagascar. *Oryx* 39: 73–77.
- GREEN, G.M., AND R.W. SUSSMAN. 1990. Deforestation history of the eastern rain forests of Madagascar from satellite images. *Science* 248: 212–215.
- GUICHON, A. 1960. La superficie des formations forestières de Madagascar. Available at: <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/24287> [Accessed May 9, 2014].
- HANSEN, M.C., P.V. POTAPOV, R. MOORE, M. HANCHER, S.A. TURUBANOVA, A. TYUKAVINA, D. THAU, ET AL. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342: 850–853.
- HARPER, G.J., M.K. STEININGER, C.J. TUCKER, D. JUHN, AND F. HAWKINS. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation* 34: 325–333.
- HUMBERT, H. 1955. Les territoires phytogéographiques de Madagascar. Leur cartographie. *Année biologique* 31: 439–448.
- HUMBERT, H., AND G.C. DARNE. 1965. Notice de la carte“ Madagascar”: carte internationale du tapis vegetal et des conditions écologiques à 1/1.000. 000. na.

- IEFN. 1996. Inventaire écologique et forestier National. Antananarivo, DFS – FTM- Mamokatra.
- KOECHLIN, J., J.L. GUILLAUMET, AND P. MORAT. 1974. Flore et végétation de Madagascar. Vaduz. *Cramer*, 687p.
- LAVAUDEN, L. 1934. Histoire de la législation et de l'administration forestière à Madagascar. *Revue des Eaux et Forêts* 72: 949–960.
- LONG, G., P. POISSONET, J. POISSONET, M. GODRON, AND P. DAGET. 1970. Méthode d'analyse par points de la végétation prairiale dense. *Comparaison avec d'autres méthodes. Doc.*
- MADAGASCAR CATALOGUE. 2013. — Catalogue of the Vascular Plants of Madagascar. Missouri Botanical Garden, St. Louis, U.S.A. & Antananarivo, Madagascar [<http://www.efloras.org/madagascar>. Accessed: month, 2013].
- MADIOMANANA, M.R.C. 2010. *Caractérisation des groupes floristiques de la végétation de la Presqu'île d'Ampasindava, cas des massifs forestiers d'Ambohimirahavavy et de Betsitsika* (Région Diana). Diplôme d'études approfondies en biologie et écologie végétales. Université d'Antananarivo/Faculté des sciences : 117 pp
- MCGARIGAL, K. 2002. Landscape pattern metrics. *Encyclopedia of environmetrics*. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470057339.val006.pub2/full> [Accessed July 8, 2014].
- MCGARIGAL, K., AND B.J. MARKS. 1994. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Dolores (CO): PO Box 606*: 67.
- MYERS, N., R.A. MITTERMEIER, C.G. MITTERMEIER, G.A. DA FONSECA, AND J. KENT. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- NELSON, R., AND N. HORNING. 1993. AVHRR-LAC estimates of forest area in Madagascar, 1990. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1463–1475.
- NUSBAUMER L., RANIRISON P., ROGER E. & GAUTIER L. (2008). — Reconnaissance des sites d'étude et mesure de l'état de conservation des forêts de la presqu'île d'Ampasindava. Rapport de mission : 18pp. Not published.
- O'NEILL, R.V., KRUMMEL, J.R., GARDNER, R.H., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DEANGELIS, D.L., MILNE, B.T., TURNER, M.G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S.W., DALE, V.H. & GRAHAM, R.L. 1988. Indices of landscape pattern. *Landsc. Ecol.* 1 (3): 153-162.
- PERRIER DE LA BATHIE, H. 1921. La végétation malgache. Musée Colonial, Marseille: 1-268. - (1926). Le Tsaratanana, l'Ankaratra et l'Andringitra. *Mém. Acad. Malg.* 3: 1-71.
- PERRIER DE LA BATHIE, H. 1936. Biogéographie des plantes de Madagascar. Available at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300359292> [Accessed July 21, 2014].
- RAKOTOVAO, S., R. RAKOTONDRAZAFY, D. BEZIAT, S. SALVI, AND E. RASOLOMANANA. 2009. Pétrologie du complexe alcalin cénozoïque d'Ambohimirahavavy, presqu'île d'Ampasindava, nord-ouest de Madagascar. *Mada-Géo* 13: 2–19.
- RICHARDSON, A.J., AND C.L. WEIGAND. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43: . Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=60764> [Accessed August 14, 2014].
- ROBBEZ-MASSON, J.M., J.C. FOLTÊTE, L. CABELLO, AND M. FLITTI. 1999. Prise en compte du contexte spatial dans l'instrumentation de la notion de paysage. Application à une segmentation géographique assistée. *Revue internationale de Géomatique* 9: 173–195.

- RODERICK, M., R. SMITH, AND G. LODWICK. 1996. Calibrating long-term AVHRR-derived NDVI imagery. *Remote Sensing of Environment* 58: 1–12.
- SAINT OURS J. (de). 1956. Prospection de la province d'Ampasindava. Travaux du Bureau Géologique, Tananarive, n° 75, 37 pp. et 9 pls.
- TAHINARIVONY A. J. 2010. *Caractérisation écologique de la végétation dans la Presqu'île d'Ampasindava, cas de la forêt des massifs de Bongomirahavavy et Betsitsika* (domaine du Sambirano). Diplôme d'études approfondies en biologie et écologie végétales. Université d'Antananarivo/ Faculté des sciences. 117 pp.
- TERCINIER, G. 1952. Rapport sur les sols de la plaine du haut Sambirano (région de Bemanevika). Available at: <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:37165> [Accessed July 14, 2014].
- TUCKER, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment* 8: 127–150.
- GROUP, W.B. 2012. World Development Indicators 2012. World Bank Publications. Available at: [http://books.google.ch/books?hl=fr&lr=&id=YLXzAl\\_oVmcC&oi=fnd&pg=PR5&dq=World+Development+Indicators+&ots=dbvKL3N5Ow&sig=l297Yq-C1Yli84fYBeqhgqhuvK8](http://books.google.ch/books?hl=fr&lr=&id=YLXzAl_oVmcC&oi=fnd&pg=PR5&dq=World+Development+Indicators+&ots=dbvKL3N5Ow&sig=l297Yq-C1Yli84fYBeqhgqhuvK8) [Accessed August 14, 2014].

## ANNEXES

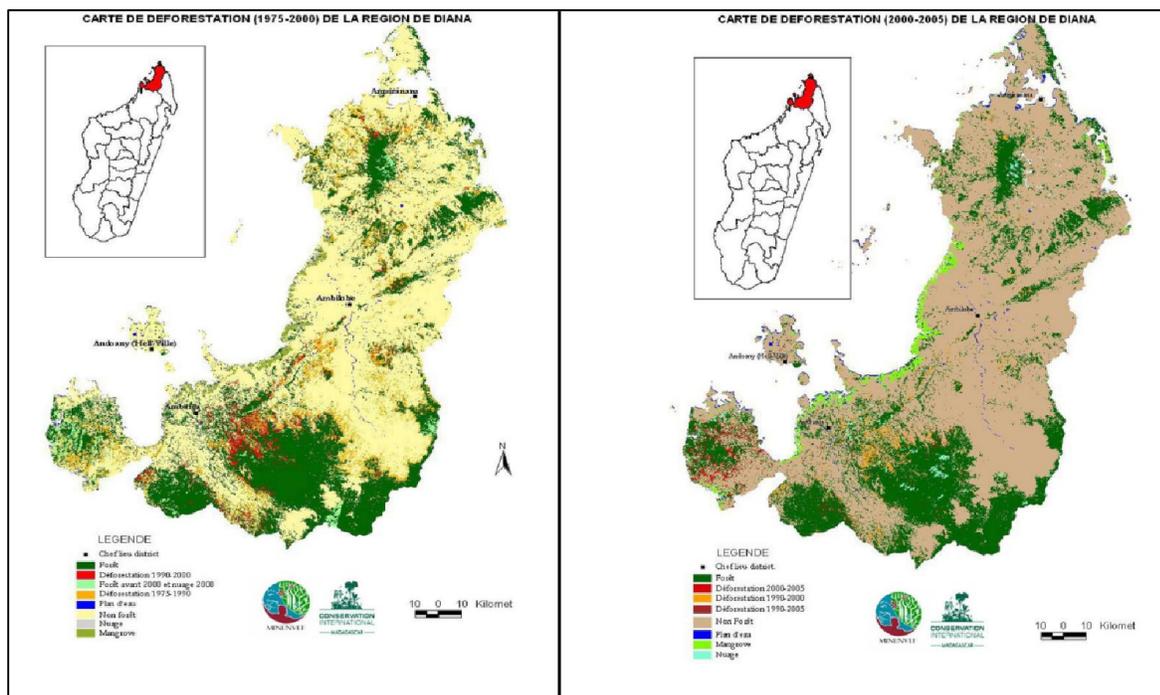
**Annexe I : Comparaison des estimations historiques du couvert national (dérivé de IEFN) en hectares. (Source : IEFN et Landsat. + MSS, couvert forestier superficies non compris dans IEFN ) (Dufils, 2008)**

Source	Date de récolte des données	Couverture sempervirente	Autre couverture	Total	Source des données
Lavauden (1934)	1895	-	-	20.000.000	Estimation de l'auteur
Girod-Genet (1899)	1899	-	-	12.000.000	Estimation de l'auteur
Perrier de la Bathie (1921)	1921	-	-	7000.000	Estimation de l'auteur
Lavauden (1934)	1931	-	-	10.000.000	Estimation de l'auteur
Perrier de la Bathie (1936)	1936	-	-	17.000.000	Estimation de l'auteur
Guichon (1960)	1945-1957	9.717.000	6.978.000	16.695.000	Photos aériennes 1/50000(incomplet)
Humbert & Cours Darne (1965)	1949-1957	10.743.000	8.405.000	19.148.000	Photos 1/50000 (cartes complètes/1000000)
Eaux et Forêts	1949-1957	4.062.000	8.316.000	12.378.000	Photos 1/50000 et Cartes 1/100000 (381 sur 460)
Faramalala (1995)	1972-1979	10.676.000	5.136.000	15.812.000	Interprété par MSS (Couverture incomplète)
Green & Sussman (1990)	1984-1985	3.800.000			Estimation des forêts de l'est et du centre
Nelson & Horning (1993)	1990	3.417.000	2.392.000	5.809.000	NOAA AVHRR-LAC
IEFN (1996)	1990-1994	6.062.000	7.198.000	13.260.000	LTMS-Interprétation visuelle+contrôle sur terrain
JRC (2000)	1998-1999	5532.800	11.770.400	17.303.200	Végétation SPOT 4 (composite 10-jour)

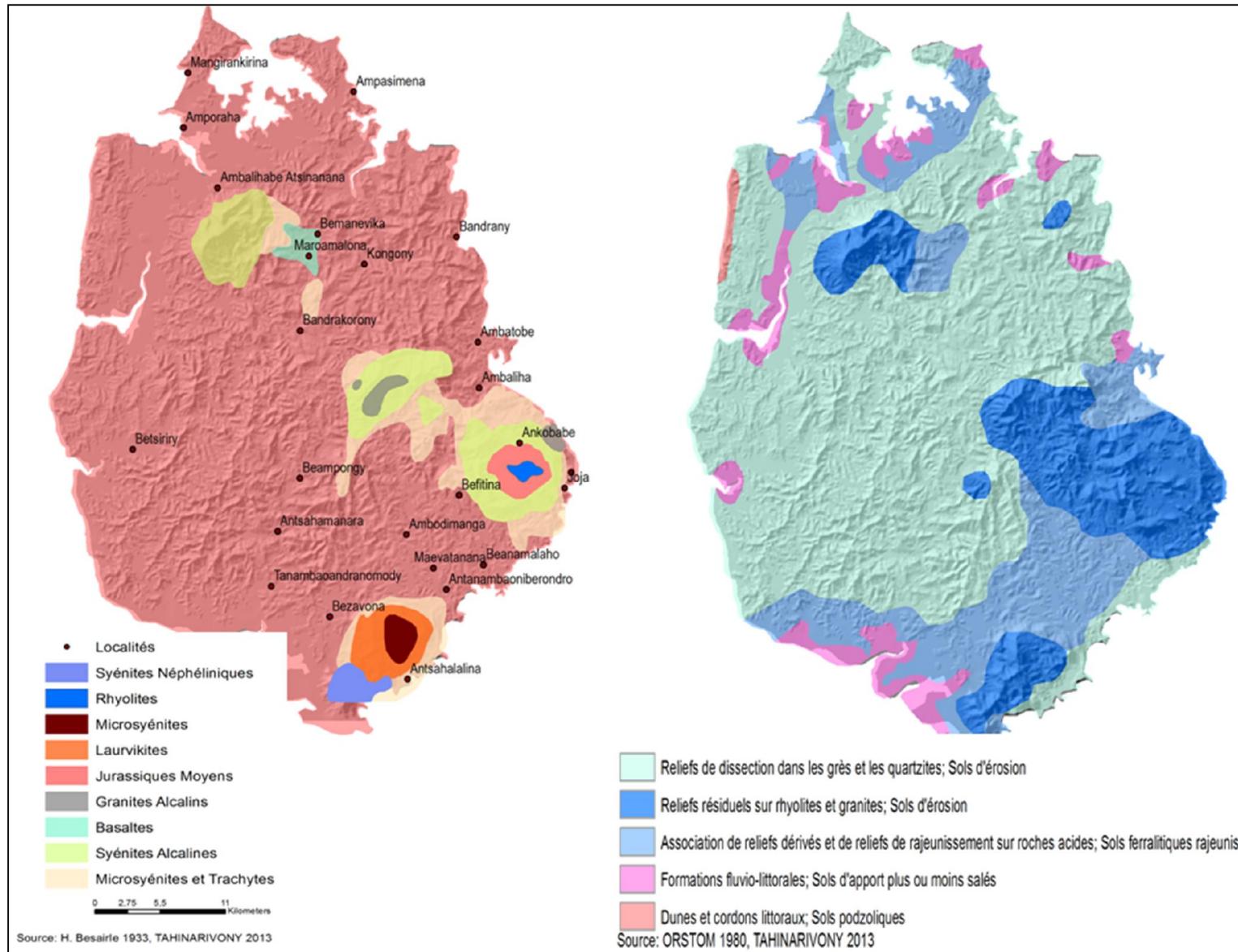
**Annexe II : Données de déforestation nationale entre 1990 et 2010 (CI et Ministère des Forêts, 2010)**

Année	Superficie (ha)	Période	Taux de déforestation (%/an)
1990	10.659.036		
2000	9.661.695	1999 - 2000	0,8
2005	9.401.137	2000 - 2005	0,5
2010	9.220.010	2005 - 2010	0,4

**Annexe III : Données cartographiques des changements des types d'occupation du sol entre 1975-2000 de la région DIANA**



## Annexe IV : Géologie et pédologie de la Presqu'île d'Ampasindava



**Annexe V : Matrice de confusion 1991**

	Forêts denses humides sempervirentes à <i>Canarium</i> spp. (Burseraceae)	Forêts denses à <i>Dypsis</i> spp. (Arecaceae) et <i>Sarcolaenaceae</i>	Jeunes forêts secondaires	Formations dégradées	Mangroves	Eaux	TOTAL	Précision
Forêts denses humides sempervirentes à <i>Canarium</i> spp. (Burseraceae)	980	65	32		25		1802	88.93
Forêts denses à <i>Dypsis</i> spp. (Arecaceae) et <i>Sarcolaenaceae</i>	132	687	45				1469	79.51
Jeunes forêts secondaires	46	84	805	94			996	78.23
Formations dégradées			55	597			652	91.56
Mangroves	27				548		548	95.30
Eaux						253	253	100.00
TOTAL	1185	1402	937	691	573	253	5720	
Précision (%)	82.70	82.18	85.91	86.40	95.64	100		
<i>Précision globale</i>	<b>86.48%</b>							

**Annexe VI : Matrice de confusion 2013**

	Forêts denses humides sempervirentes à <i>Canarium</i> spp. (Burseraceae)	Forêts denses à <i>Dypsis</i> spp. (Arecaceae) et <i>Sarcolaenaceae</i>	Jeunes forêts secondaires	Formations dégradées	Mangroves	Eaux	TOTAL	Précision
Forêts denses humides sempervirentes à <i>Canarium</i> spp. (Burseraceae)	659	165	66		24		914	72.10
Forêts denses à <i>Dypsis</i> spp. (Arecaceae) et <i>Sarcolaenaceae</i>	85	807					892	90.47
Jeunes forêts secondaires			665	55			720	92.36
Formations dégradées			28	984			1012	97.23
Mangroves	15				351		366	95.90
Eaux						250	250	100
TOTAL	759	972	759	1039	375	250	5144	
Précision (%)	86.82	83.02	87.62	94.71	93.60	100		
<i>Précision globale</i>	<b>89.46%</b>							