

# Les unités paysagères de la péninsule d'Ampasindava (Nord-ouest de Madagascar), un terroir sous haute pression de déforestation

Jacquis A. Tahinarivony<sup>1,2</sup>, Niry S. Rasoanaivo<sup>1,2</sup>,  
Nathalie Rasolofo<sup>3</sup>, Patrick Ranirison<sup>1,2</sup>, Roger  
Edmond<sup>2</sup> & Laurent Gautier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Association Famelona, BP 3972, Antananarivo 101,  
Madagascar

E-mail : andonahary@yahoo.fr, tsikitsikilava@gmail.  
com, patrick.ranirison@gmail.com

<sup>2</sup>Département de Biologie et Ecologie Végétales,  
BP 906, Antananarivo 101, Madagascar.

E-mail : rogeredmond1@yahoo.fr

<sup>3</sup>Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de  
Genève et Laboratoire de systématique et biodiversité  
de l'Université de Genève, C.P. 60, CH-1292  
Chambésy, Suisse

E-mail : nathalie.rasolofo@ville-ge.ch, laurent.gautier@  
ville-ge.ch

## Résumé

Dans le Nord-ouest de Madagascar, la péninsule d'Ampasindava abrite une partie importante des dernières forêts du Domaine du Sambirano. Ces forêts ont connu des transformations en structure et en composition à cause de la pratique de l'agriculture itinérante. Pour pouvoir cartographier le paysage et décrire les différentes classes de végétation actuellement présentes dans la péninsule, des imageries satellitaires Landsat récentes (2010 et 2013) ont été traitées et confrontées aux données typologiques des formations végétales, obtenues grâce à des relevés de végétation.

Par la méthode de classification supervisée et l'algorithme de vraisemblance, les données de l'Indice de Végétation par Différence Normalisé ou NDVI ont été utilisées pour valider le choix des zones d'échantillon des classes d'occupations du sol prédéfinies grâce à l'utilisation des données thématiques et des données de la structure de la végétation. Sur cette base classifiée, le paysage de la péninsule d'Ampasindava est composé de cinq classes de végétation principales auxquelles s'ajoutent la classe des sols nus et celle des rivages sableux. Les données de NDVI sont bien en relation avec les données de la structure de la végétation, permettant de comprendre la structure

spatiale et fonctionnelle du milieu de la péninsule d'Ampasindava.

Le paysage est dominé par des jeunes forêts secondaires et des formations dégradées. Les forêts primaires, de type forêt dense humide sempervirente du Sambirano, sont limitées aux grands massifs et les forêts secondaires âgées sont rencontrées principalement dans la partie Ouest de la péninsule. Ces forêts qui ne font l'objet d'aucune protection légale sont de structure fragile et méritent une stratégie de conservation efficace pour sauvegarder leur biodiversité tout en maintenant leur important rôle écologique comme régulatrices du régime du réseau hydrographique de la région.

**Mots clés** : péninsule d'Ampasindava, Domaine du Sambirano, typologie de la végétation, NDVI, habitats, paysage, cartographie

## Extended Abstract

In northwestern Madagascar, the Ampasindava Peninsula covers a zone of 140,000 ha, that is 30% of the total area of the Sambirano Domain. This area experiences a sub-equatorial climate type, characterized by average annual precipitation in excess of 2.2 m and associated with the simultaneous effects of trade winds and monsoon. The climax vegetation is an evergreen lowland rainforest, homologous to the Eastern Domain. It is home to the last substantial remnants of the Sambirano rainforest but is under heavy threat due to slash-and-burn agriculture.

In order to map the vegetation cover of the Ampasindava Peninsula, Landsat satellite imagery was processed using the supervised classification method. Supervision was based on field data of different types of vegetation obtained on vegetation plots. Each central point of these plots is described by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data, the structural characteristics of the vegetation, and its multispectral characteristics.

The correspondence of these data and associated analyses used the likelihood algorithm and was based on the identification of five major classes of vegetation, as well as a class of bare soil and another

of coastal sands. Evergreen rainforests include mainly the large forest blocks of Bongomirahavavy and Andranomatavy, which have large trees and a 20-30 m high closed canopy. Older secondary forests are found in the western central part of the peninsula and dominated by young trees, mainly from the development of stump sprouts. Young secondary forests occur mainly in the vicinity of the large relatively intact forest blocks. They originated from gradual evolution of the dynamics of the vegetation following slash-and-burn agriculture. The height of this vegetation type does not exceed 12 m and mean diameter at breast height (dbh) is in the order of 10 cm. Degraded thicket formations are discontinuous, and do not exceed 3 m high, and these are poor in species diversity and dominated mostly by ruderal and pioneer taxa. Among these vegetation classes, mangroves also characterized the landscape of the Ampasindava Peninsula and are more prevalent in estuaries and lagoons of the western side as compared to the eastern side.

For the establishment of a conservation system, including the creation of a new protected area in the Ampasindava Peninsula, the descriptive data for each landscape unit together with the vegetation map are important to identify and locate regional ecological networks.

**Key words:** Ampasindava Peninsula, Sambirano Domain, typology, remote sensing, NDVI landscape, mapping

## Introduction

Le Domaine du Sambirano, est situé dans le Nord-ouest de Madagascar et occupe une superficie de plus de 420 000 ha. Il est formé par la plaine alluviale du fleuve du Sambirano et d'Ambanja, l'île de Nosy-be et la péninsule d'Ampasindava. Ce Domaine Est particulier de par sa pluviométrie annuelle de plus de 2 200 mm et une saison sèche brève et atténuée. Il est une enclave humide dans la zone sèche qui domine en général le Domaine de l'Ouest (Gautier & Goodman, 2008). La péninsule d'Ampasindava représente plus de 30,0 % de la superficie totale du Domaine du Sambirano et abrite une grande partie des forêts naturelles non encore protégées de la région (Tahinarivony, 2014). La région Est mal connue et seules quelques données cartographiques sont disponibles, notamment les données topographiques (FTM, 1958a, 1958b) et géologiques (Besairie, 1933). Jusqu'à récemment, aucune étude n'a été faite pour décrire la structure du paysage. Le milieu naturel

et ses conditions environnementales n'ont jamais fait l'objet d'une cartographie détaillée. Les seules informations trouvées sont celles des cartographies générales de l'île produites par différents spécialistes. Parmi ces données, la carte bioclimatique d'Humbert & Cours Darne (1965) définit le climat du Sambirano comme un climat propre, séparé de celui de l'Est. Il paraît pertinent pour expliquer l'installation de la flore et de la végétation de la région (Ammann, 2011).

La carte bioclimatique de Cornet (1974) divise la péninsule d'Ampasindava en deux zones principales suivant le nombre de mois secs par année. Basée sur un très petit nombre de stations météorologiques, cette division est très discutable. Comme la limite en question est celle qui sépare l'étage subhumide de l'étage sec, certains auteurs lui ont attribué une importance exagérée (Gautier & Goodman, 2008 ; Ammann, 2011). C'est un biais de ce type qui est sans doute à l'origine de la surprenante interprétation cartographique de l'Atlas de la végétation de Madagascar (Moat & Smith, 2007), où on distingue deux types de forêts primaires pour la région : les forêts denses humides et les forêts subhumides. En effet, en considérant les données bioclimatiques de Cornet (1974), Moat & Smith (2007) suggèrent que le massif de Bongomirahavavy et celui de Betsitsika se retrouvent comme une mosaïque de forêt humide et de forêt sèche et que le massif d'Andranomatavy est couvert d'une forêt sèche avec des forêts humides dégradées dans ses parties sommitales. Ces données ont été confrontées aux observations de terrain par Madiomanana (2010), Ammann (2011), Rasoanaivo (2014) et Tahinarivony (2010, 2014) mettant souvent en avant des lacunes, des discordances où encore un état révolu.

En termes de richesse en biodiversité et en importance écologique de l'habitat, la péninsule d'Ampasindava a été identifiée comme un site potentiel et prioritaire de conservation en se basant sur les résultats des modélisations des espèces clés de conservation de Madagascar (Kremen *et al.*, 2008 ; Moilanen *et al.*, 2009 ; Watts *et al.*, 2009). Depuis 2013, ces spécificités écologiques ont servi de base au projet « Managed Resource Protected Area » (MRPA) pour proposer la conservation de la péninsule d'Ampasindava au titre d'une Nouvelle Aire Protégée (NAP), dans la catégorie V de l'IUCN (Paysage marin et terrestre protégé). Cette catégorie est définie comme étant une aire protégée gérée principalement dans le but d'assurer la conservation des paysages terrestres ou marins et à des fins récréatives (IUCN, 1994). Elle est conçue pour

assurer le maintien d'une interaction harmonieuse entre l'homme et la nature, adaptée à un paysage habité dont l'agriculture et le tourisme seraient les usages prédominants.

Le présent travail vise à apporter sa contribution à ces initiatives de conservation en produisant une carte d'occupation du sol de la région, grâce aux analyses et traitements de données écologiques de terrain (relevés de végétation) et les données spatiales (imageries satellitaires). Ainsi, cette carte permettra au promoteur du projet de conservation et au grand public de comprendre la structure du paysage et d'élaborer par la suite les stratégies de conservation et de protection de l'écosystème.

## Milieu

### Localisation

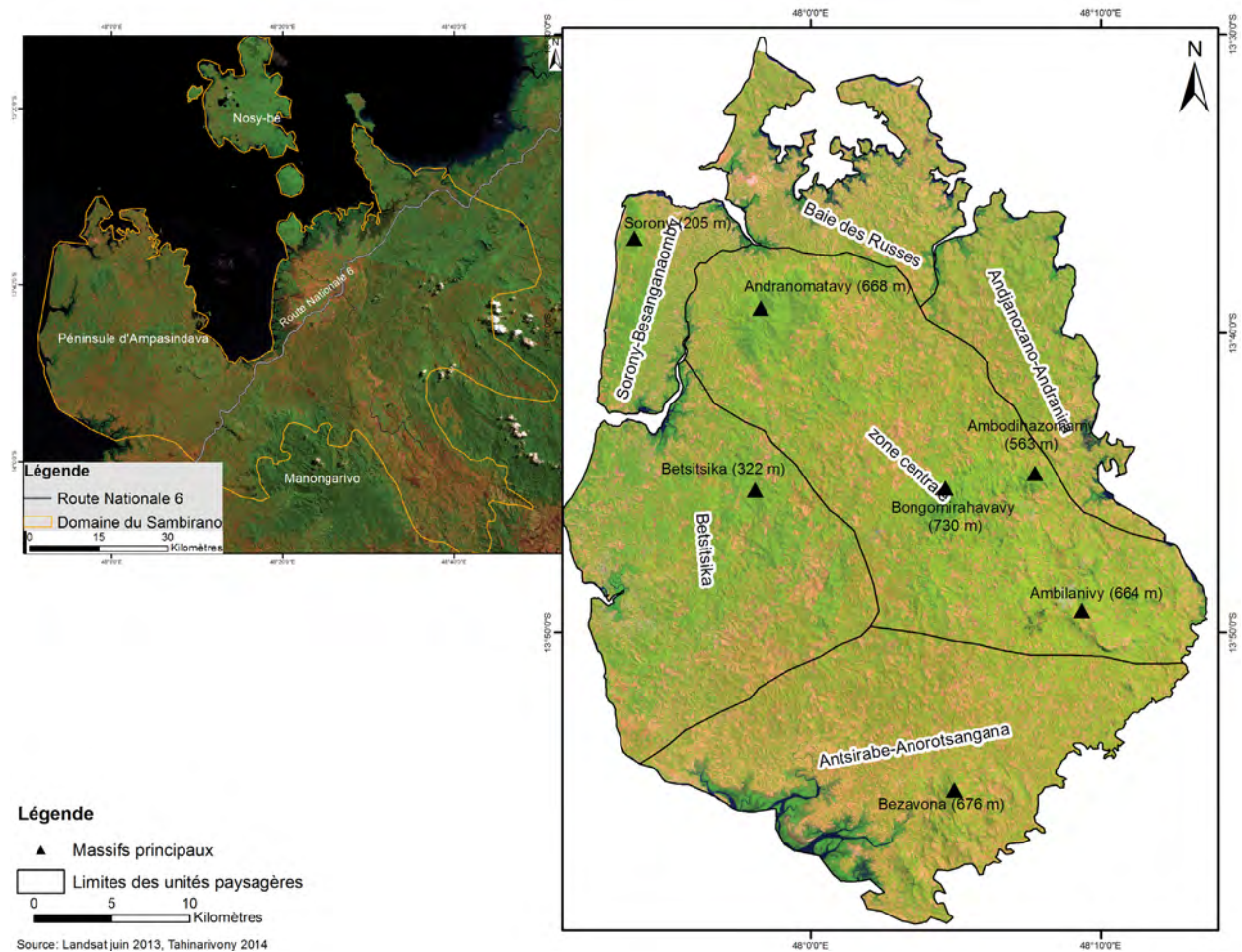
La péninsule d'Ampasindava est située entre 13°30' et 13°58' de latitude sud et 47°44' et 48°15' de longitude est et s'étend sur une superficie

d'environ 145 000 ha. Cette zone est localisée à 25 km au Sud-ouest de Nosy-be et au Nord-ouest du massif de Manongarivo (Figure 1). La péninsule d'Ampasindava peut être subdivisée en six unités paysagères différentes suivant les caractéristiques du relief, la structure spatiale et fonctionnelle des classes d'occupation du sol et les historiques de la colonisation du milieu (Tahinarivony *et al.*, 2015). Ce sont :

- La baie des Russes.
- La chaîne Sorony-Besanganaomby.
- La zone de Betsitsika.
- La zone littorale Est ou Anjanozano-Andranira.
- La zone centrale de la péninsule.
- La région Antsirabe-Anorotsangana.

### Topographie et géomorphologie

La péninsule d'Ampasindava a un relief irrégulier avec une variation altitudinale de 0 à 730 m. Les massifs principaux sont Andranomatavy (668 m),



**Figure 1.** Localisation de la péninsule d'Ampasindava et délimitation des unités paysagères (images Landsat 8, juin 2013 ; couleurs naturelles).

Bongomirahavavy (730 m), Bezavona (676 m), Ambilanivy (664 m) et Ambodihazomamy (563 m). Ces grands massifs sont de type alcalin, de forme annulaire d'âge Miocène (Rakotovao *et al.*, 2009). Par contre, la partie Centre-ouest de la péninsule, comme la zone de Betsitsika est formée principalement par des enchaînements de collines qui ne dépassent pas 330 m d'altitude. Elle est formée par des formations sédimentaires de l'Isalo datées du Lias supérieur au Jurassique moyen (Donnot, 1963).

### Climat

Appartenant au Domaine phytogéographique du Sambirano, la péninsule d'Ampasindava bénéficie d'une forte quantité de pluie annuelle de plus de 2 200 mm par l'effet simultané de l'alizé estival, dévié par le massif du Tsaratanana et du Manongarivo, et la mousson, un vent du secteur Nord-ouest (Humbert & Cours Darne, 1965 ; Donque, 1972). Suivant les données météorologiques collectées entre les années 1961 et 2011 à la station de Nosy-be (station météorologique la plus proche de la péninsule d'Ampasindava), le climat est de type subéquatorial, caractérisé par une saison de pluie qui s'étend d'octobre en avril dont les mois les plus pluvieux sont janvier et février (20 à 24 jours de pluies par mois). La température moyenne annuelle est de 25 °C et présente peu de variation entre les saisons (24 à 25 °C en saison sèche et de 28 à 29 °C en saison humide).

### Végétation

La végétation climacique est une forêt dense humide de basse altitude, de la série à Sarcolaenaceae, Myristicaceae et *Anthostema* (Humbert, 1955 ; Cornet & Guillaumet, 1976). Ces forêts sont rencontrées principalement au niveau des grands massifs comme Andranomatavy et Bongomirahavavy (Gachet, 1958 ; Madiomanana, 2010 ; Ammann, 2011 ; Rasoanaivo, 2014 ; Tahinarivony, 2010, 2014). Elles abritent plusieurs espèces dont plus de 8,0 % sont endémiques locales et 17,0 % sont endémiques du Domaine du Sambirano (Ammann, 2011).

Les données descriptives de la flore et de la végétation de la péninsule ont été collectées grâce à la méthode de relevé linéaire (Gautier *et al.*, 1994). Les résultats des analyses et des traitements de ces données nous ont montré que la formation végétale de la région est composée de quatre principales unités végétales (Tahinarivony, 2014 ; Rasoanaivo *et al.*, 2015). Ce sont les forêts denses humides,

les forêts secondaires âgées, les jeunes forêts secondaires et les formations dégradées.

Les forêts denses humides représentent les forêts climaciques du Domaine que l'on rencontre principalement au niveau des grands massifs comme Bongomirahavavy et Andranomatavy. Elles ont les caractéristiques physiologiques et structurales très semblables aux forêts denses humides de basse altitude du Domaine oriental. Les forêts secondaires âgées sont rencontrées avant tout dans la partie Centre-ouest. La formation est dense, d'une hauteur moyenne de 13 m et moins riche en bois par rapport à la forêt climacique. La présence et l'abondance des rejets de souche sont bien remarquables dont les plus grands atteignent une hauteur de 10 m. En terme de diversité, les familles les plus fréquentes et abondantes sont Sarcolaenaceae, Arecaceae, Ebenaceae, Chrysobalanaceae, Erythroxylaceae et Clusiaceae. Les jeunes forêts secondaires sont réparties de manière hétérogène dans la région. Elles sont fréquentes dans les environs de massifs forestiers à cause de la pratique du *tavy* et le phénomène de l'évolution progressive de la végétation post-culturelle (Tahinarivony, 2014). Les formations dégradées sont composées par des formations après abandon de culture, des jachères ou des formations basses et discontinues sur des substrats pauvres en matières organiques. A part ces groupements végétaux identifiés à base des données de relevés de végétation, la péninsule d'Ampasindava est caractérisée par la présence des autres classes comme les mangroves, les rivages sableux, les sols nus ou rochers et les zones d'habitation.

### Méthodes

Comme nous disposons d'une importante connaissance du terrain et de 94 relevés de végétation, ces données écologiques sont combinées avec des images satellitaires en effectuant une classification supervisée grâce à l'algorithme de maximum de vraisemblance avec la composition colorée de l'image de 2013.

### Traitement des données satellitaires *Transformation multispectrales*

Les images satellitaires LANDSAT, obtenues gratuitement par téléchargement du site <http://glovis.usgs.gov/>, sont décrites dans le Tableau 1. Elles ont été acquises lors de deux passages à des dates différentes (2010 et 2013). Ces images ont été traitées avec les logiciels Idrisi et Arc Gis.

**Tableau 1.** Caractéristiques des images utilisées.

Images du 9 juin 2010 (Landsat 7)		Images du 28 août 2013 (Landsat 8)		Résolution
Bande	Longueur d'onde (µm)	Bande	Longueur d'onde (µm)	
Bande 3	0,63 - 0,69	Bande 4	0,63 - 0,68	30 x 30 m
Bande 4	0,78 - 0,90	Bande 5	0,85 - 0,89	30 x 30 m
		Bande 6	1,16 - 1,66	30 x 30 m
		Bande 7	2,10 - 2,30	30 x 30 m

Une composition colorée a été effectuée à partir des canaux 4, 6 et 7 pour les deux dates. Les caractéristiques multispectrales observées sur les images ont été considérées pour identifier les zones d'échantillon pour chaque unité au sol. Ces premières propositions des zones d'entraînement ont ensuite été confrontées avec les données caractéristiques de la végétation et celles de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée ou NDVI surtout dans les zones où des relevés de végétation ont été réalisés. Pour les classes non représentées par des données de relevés (mangroves, rivages sableux, sols nus et rochers), seules les signatures spectrales et leur indice de végétation ont été considérées.

#### **Utilisation des données de NDVI pour l'identification et confirmation des zones d'échantillon**

Le NDVI mesure le bilan entre l'énergie reçue et émise par les objets au sol et permet de caractériser la masse végétale présente dans un milieu donné (Rouse *et al.*, 1973). En principe, les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses, les valeurs nulles pour les sols nus et les valeurs négatives pour les nuages, lacs et cours d'eau. Dans cette étude, le NDVI a été utilisé pour appuyer l'identification et le choix des zones d'échantillon, notamment les zones d'entraînement et les zones de validation.

Le changement des données de NDVI entre deux années (mais à une même saison) peut être interprété comme étant la manifestation d'un changement de la structure de la végétation ou un changement de classe de l'occupation du sol. La correspondance entre les données de la structure de la végétation et celle de l'indice de végétation a permis de trier les zones d'échantillon et de ne garder pour la classification que celles qui sont les plus fiables. Pour chaque site de relevé, la valeur de NDVI représente la moyenne des valeurs obtenues dans un « buffer » de 60 m (zone de 60 m de rayon), dont le centre correspond au point central du relevé linéaire de la végétation (relevé linéaire de 100 m, traversant le milieu d'une parcelle de 10 x 100 m).

Les deux valeurs sont ensuite confrontées suivant la méthode décrite ci-dessous avant de sélectionner les zones d'échantillon définitives :

- Lorsque les valeurs de NDVI des deux dates pour une zone d'échantillon donnée sont égales ou proches, c'est que la végétation de la zone n'a pas connu de changement pendant la période. Ainsi sa classe d'appartenance correspond à celle observée sur le terrain au moment de la réalisation du relevé de végétation.
- Quand la valeur de NDVI pour l'année 2010 est inférieure à celle de l'année 2013, alors on peut dire que la structure de la végétation a connu une évolution progressive. Pour ces raisons, les données concernant l'état du milieu en 2013 ont été retenues pour décrire les caractéristiques de la végétation de la zone.
- Si la valeur de NDVI de 2010 est supérieure à celle de 2013, alors la végétation de la zone a connu un phénomène de défrichement ou de dégradation entre les dates. Dans ce cas, les données descriptives de la végétation collectées avant 2010 sont rejetées. Par contre elles sont retenues si le relevé de végétation a été réalisé après l'année 2010.

#### **Cartographie par la méthode de classification supervisée**

Avec les zones d'échantillon, l'algorithme de maximum de vraisemblance a été lancé sur la composition colorée (4-5-7) de 2013. C'est l'algorithme le plus performant pour la classification supervisée (Bonn & Rochon, 1993 ; Chatelain, 1996), qui cherche à construire une fonction appelée fonction de vraisemblance et à maximiser son logarithme par rapport aux paramètres inconnus. La cohérence de la carte obtenue a été évaluée en la confrontant avec les données de zones de test ou zones de validation et grâce à la valeur du coefficient Kappa.

#### **Données de terrain**

Les différentes unités de végétation de la péninsule d'Ampasindava ont été étudiées à partir des données

de relevés de végétation (linéaire et surface), effectués dans un large éventail de formations (forêts primaires, forêts secondaires, jachères, etc.). La méthode employée, le relevé linéaire (Gautier *et al.*, 1994), 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 du point de vue floristique, physiologique et en condition du milieu apparent. 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 de 8 m. Pour chaque contact, l'espèce concernée ainsi que les hauteurs de contact sont relevées. Au-delà de 8 m, les mesures sont estimées. Cette méthode de relevé a permis de collecter les informations sur la hauteur de la canopée (moyenne des hauteurs maximales (Hmax), le taux de recouvrement de chaque intervalle de hauteur (IDH) et la densité de la formation. Les six IDH, souvent utilisés dans les études de forêts tropicales (Emberger *et al.*, 1968) sont utilisés, à savoir, < 2 m, [2-4 m], [4-8 m], [8-16 m], [16-32] et > 32 m. Ces données structurales ont été complétées par les données dendrométriques issues de relevés de surface de 0,1 ha, centrés sur la ligne du relevé linéaire. Les paramètres mesurés sont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) et la hauteur de chaque individu semencier (dhp supérieur ou égal à 10 cm). Ces données nous permettent d'obtenir les informations sur la surface terrière et le biovolume.

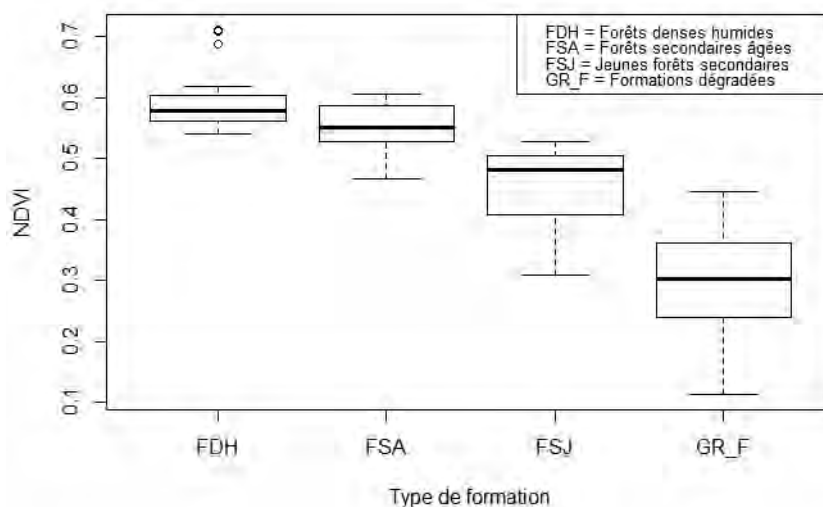
## Résultats

### Relations entre les données structurales et les valeurs de l'indice de la végétation (NDVI)

Les différentes classes de végétation de la péninsule d'Ampasindava sont décrites grâce à l'utilisation des six descripteurs de la structure de la végétation, à savoir le taux de recouvrement de l'IDH 16 à 32 m et celui de 8 à 16 m, la surface terrière, la moyenne des hauteurs maximales, la densité linéaire, le nombre de contacts, la densité en individus ayant un seul contact ou petits individus. Ce sont ces caractéristiques physiologiques et structurales qui définissent la typologie et la valeur de l'indice de végétation de la formation. Entre les différentes classes de végétation, une différence significative des moyennes de NDVI est observée (Figure 2). Pour la classe des forêts denses humides sempervirentes, l'indice a une valeur de 0,6 ( $\pm 0,04$ ) contre 0,5 ( $\pm 0,04$ ) pour les forêts secondaires âgées. Les jeunes forêts secondaires sont moins importantes et caractérisées par un indice de végétation de 0,3 ( $\pm 0,09$ ). Les formations dégradées regroupent toutes les formations de moins de cinq ans après abandon de culture (Tahinarivony, 2014 ; Rasoanaivo *et al.*, 2015) et les formations basses, discontinues et à dominance des herbacées, se développant sur des sols lessivés. Ces formations sont caractérisées par un NDVI très faible, d'une valeur de 0,3 ( $\pm 0,04$ ).

### NDVI et taux de recouvrement

Deux classes de hauteur sont considérées pour cette étude, dont l'IDH de 8 à 16 m et celui du 16 à 32 m. Le taux de recouvrement est élevé dans l'IDH où la



**Figure 2.** Variation des valeurs de l'indice de végétation (NDVI) par type de formation.

concentration en masse foliaire est optimale. Pour les forêts denses humides, ce niveau de concentration maximale de la masse foliaire est observé dans l'IDH de 16 à 32 m. A ce niveau, la voûte forestière est continue et présente un taux de recouvrement de 80,0 à 90,0 %. Par conséquent, son NDVI est élevé et peut varier de 0,6 à 0,7 (Figure 3). Chez les forêts secondaires âgées, cet IDH est caractérisé par un taux de recouvrement de 30,0 à 50,0 % et un indice de végétation de valeur moyenne de 0,6 ( $\pm 0,05$ ). La formation est pauvre en grands arbres (hauteur supérieure à 16 m) et la voûte forestière est ouverte à peu fermée. Concernant les formations basses (jeunes forêts secondaires et formations dégradées), l'IDH de 16 à 32 m est non représenté. Grâce à ces différentes informations, la relation entre le NDVI et le taux de recouvrement se résume par le coefficient de détermination ( $R^2$ ) qui montre que 25,0 % de la variance de NDVI sont expliquées par sa corrélation avec le taux de recouvrement de l'IDH de 16 à 32 m.

L'IDH de 8 à 16 m est occupé principalement par des arbres et arbustes. Son taux de recouvrement est supérieur à 90,0 % chez les forêts denses humides et les forêts secondaires âgées. Concernant les forêts secondaires, la végétation entre l'IDH de 8 à 16 m est peu ouverte et présente un taux de recouvrement de 84,0 %. Cet IDH n'est pas représenté chez les formations dégradées, car aucun individu n'a atteint la hauteur de 8 m. Pour ces raisons, on a remarqué que ce descripteur présente une importante corrélation avec le NDVI. En effet, l'indice de végétation augmente proportionnellement avec le taux de recouvrement. Cette relation est confirmée par le coefficient de détermination qui explique que plus de 73,0 % de la variance du NDVI sont expliquées par la corrélation avec le taux de recouvrement de l'IDH de 8 à 16 m (Figure 4).

### NDVI et surface terrière ( $G_i$ )

La surface terrière exprime le potentiel en individus ligneux de la formation par l'évaluation du degré de remplissage par unité de surface. Les caractéristiques physiologiques et dendrométriques des forêts

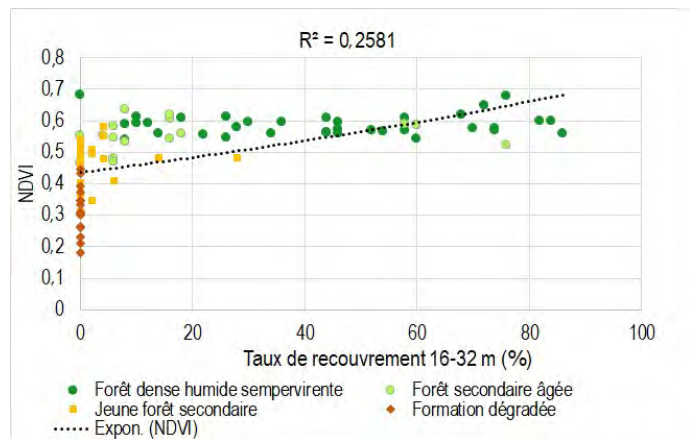


Figure 3. Relation NDVI et taux de recouvrement de la classe de hauteur 16-32 m.

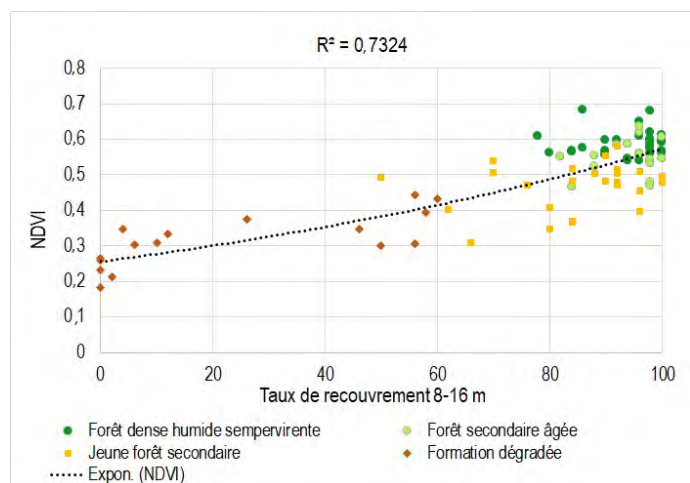


Figure 4. Relation NDVI et taux de recouvrement de la classe de hauteur 8-16 m.

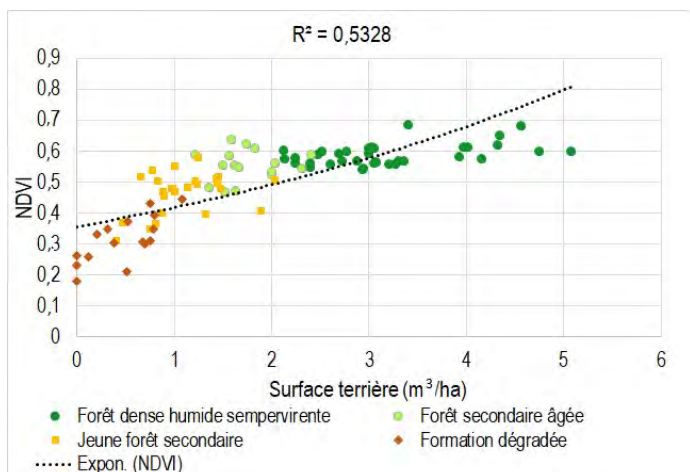


Figure 5. Relation NDVI et surface terrière.

denses humides sont définies par l'abondance des grands arbres et des individus de gros diamètre et surtout une surface terrière élevée. La valeur de la surface terrière augmente avec l'âge pour les formations post-culturelles (nombre d'années après

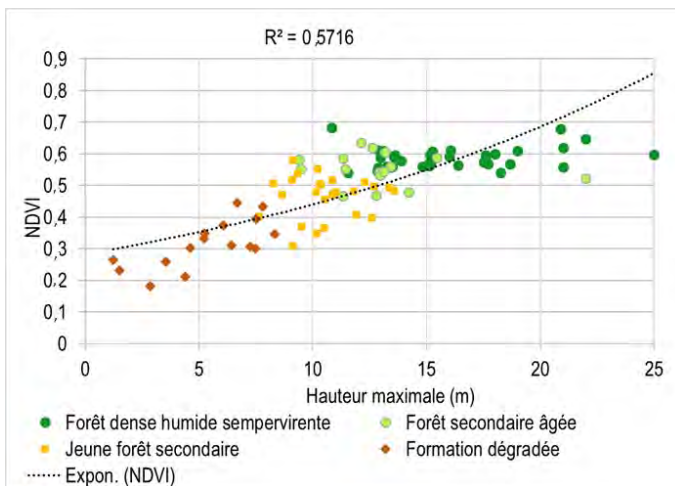


Figure 6. Relation NDVI et hauteur de la formation.

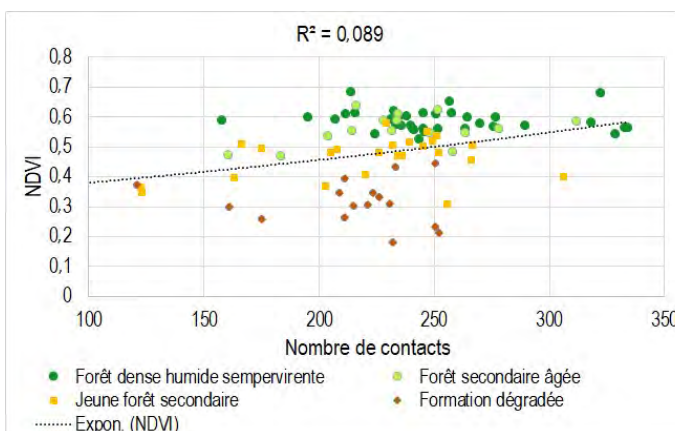


Figure 7. Relation NDVI et densité de la masse végétale.

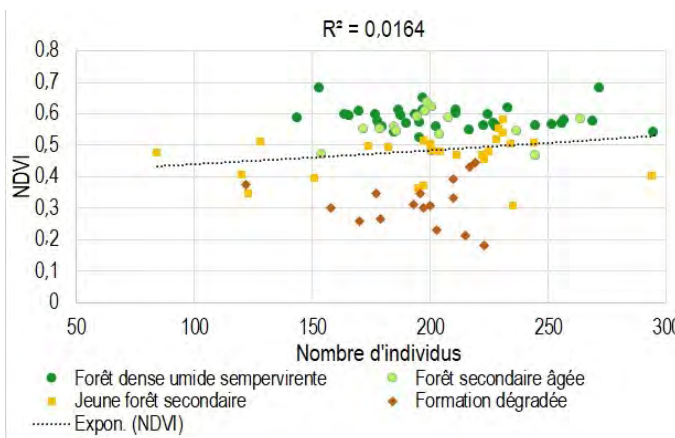


Figure 8. Relation NDVI et densité de la masse linéaire de la formation.

abandon de culture) et forme un indicateur pertinent pour étudier l'évolution progressive de la végétation. Les données de surface terrière ont une corrélation positive avec le NDVI (Figure 5). Plus la formation est dense et ou riche en bois, plus son NDVI devient grand. Cette richesse en individus semenciers

implique la présence d'une masse foliaire dense, nécessaire et primordiale pour le bilan d'énergie (émise et reçues) de la formation. En effet, le coefficient de détermination montre que 53,0 % de la variation de NDVI sont expliquées par les données de la surface terrière.

### **NDVI et moyenne des hauteurs maximales (Hmax)**

La moyenne des hauteurs maximales ou Hmax permet de caractériser les groupements végétaux de la péninsule d'Ampasindava. La Figure 6 montre que les valeurs de NDVI augmentent de manière linéaire avec la hauteur de la formation. Les NDVI élevés appartiennent aux forêts hautes comme les forêts denses humides sempervirentes et les forêts secondaires âgées. Les formations basses, qualifiées de dégradées sont attribuées à des faibles valeurs de NDVI mais qui peuvent s'évoluer de manière progressive en fonction des conditions du milieu. Le coefficient de détermination exprime que 51,0 % de la variance de NDVI sont expliquées par la hauteur de la formation.

### **NDVI et densité de la formation**

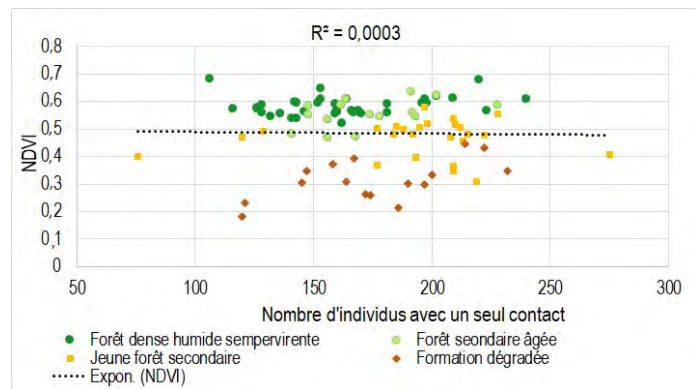
Trois types de descripteurs de la densité de la formation ont été considérés pour cette étude, à savoir le nombre de contacts, la densité linéaire ou le nombre d'individus par 100 m de relevé et la densité linéaire des individus n'ayant qu'un seul contact avec le vertical et qui sont interprétés comme des petits individus. En général les informations apportées par ces descripteurs sont similaires et confuses pour les différents groupements végétaux. Une formation riche en petit individu peut être formée par une formation post-culturale ou aussi une forêt dense humide sempervirente ou une forêt secondaire âgée à sous-bois fermé et occupé par des herbacées et des jeunes plantules et arbustes. D'ailleurs, le nombre de contacts varie en fonction de la densité en masse végétale de la formation tout comme la densité linéaire. A cause de ces confusions d'informations entre les groupements végétaux, seul un faible taux de variance de l'indice de végétation peut être



expliqué par ces descripteurs. Ce taux est de 8,9 % avec le nombre de contacts (Figure 7), 1,6 % avec la densité linéaire (Figure 8) et proche de la valeur nulle (0,3 %) avec le nombre de petits individus (Figure 9).

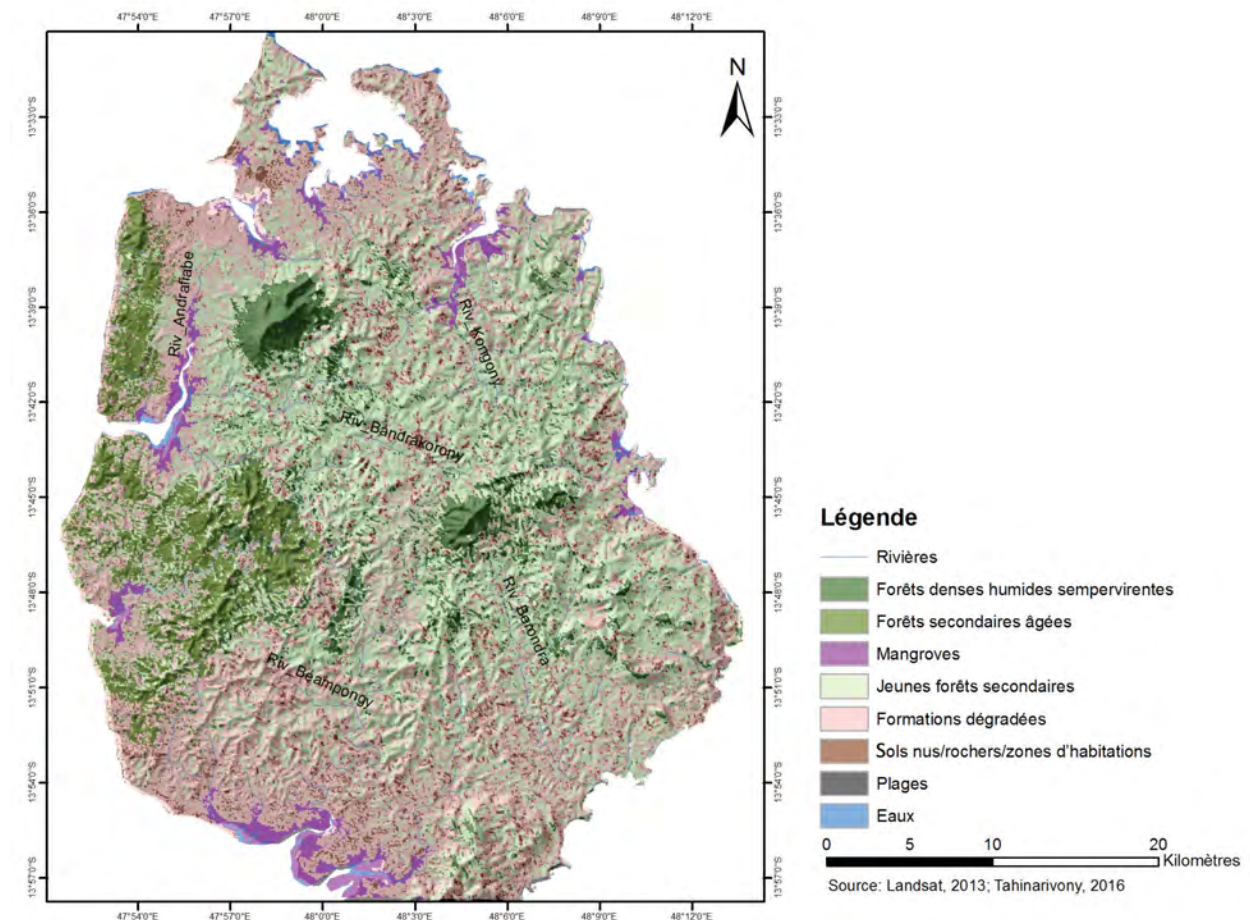
### Carte d'occupation du sol de la péninsule d'Ampasindava

La carte d'occupation du sol de la péninsule d'Ampasindava synthétise les informations concernant la distribution et l'organisation spatiale des différentes classes en fonction des conditions du milieu et les impacts des activités anthropiques notamment la dégradation des forêts primaires. La pertinence du résultat obtenu est jugée par la valeur du coefficient Kappa qui est de 0,9 ; considéré comme excellent suivant la classification de Landis & Koch (1977). Les sept classes d'occupation du sol qui composent le milieu de la péninsule sont bien spatialisées et la carte obtenue peut être considérée comme une bonne représentation de la réalité du terrain (Figure 10). Les forêts denses humides sempervirentes sont limitées dans les grands massifs



**Figure 9.** Relation NDVI et densité en petits individus de la formation.

sacrés (Andranomatavy et Bongomirahavavy) et sont rencontrées à partir de 200 m d'altitude. Ces dernières sont entourées par des jeunes forêts secondaires, qui sont issues de la transformation des forêts primaires à cause de la pratique du *tavy*. La partie ouest de la péninsule est marquée par la présence des forêts secondaires âgées qui se développent sur des grès latéritiques. Le paysage est dominé par les formations dégradées dont la



**Figure 10.** Carte de l'occupation du sol de la péninsule d'Ampasindava.

**Tableau 2.** Données d'occupation des paysages de la péninsule d'Ampasindava.

Classes	Taux d'occupation (%)	Antsirabe-Anorotsangana	Andranirana-Anjanozano	Baie des Russes	Betsitsika	Zone centrale	Sorony-Besanganaomby	Surface totale de la classe (ha)
Forêts denses humides	Dans la péninsule	4,5	4,9	0,7	16,4	73,5	0,0	8285
	Dans le paysage	1,3	3,5	0,5	4,9	14,6	0,1	
Forêts secondaires âgées	Dans la péninsule	0,0	0,0	0,0	76,5	0,0	23,5	10 200
	Dans le paysage	0,0	6,0	0,0	28,2	0,0	33,8	
Mangroves	Dans la péninsule	38,1	16,9	17,0	15,5	4,7	7,9	4205
	Dans le paysage	5,5	6,2	6,2	2,4	0,5	4,7	
Jeunes forêts secondaires	Dans la péninsule	17,3	12,2	6,4	15,4	46,8	1,9	54 258
	Dans le paysage	32,4	52,3	30,0	30,2	60,6	14,9	
Formations dégradées	Dans la péninsule	33,6	7,4	14,4	19,0	18,7	6,9	45 384
	Dans le paysage	52,7	28,2	56,5	31,1	20,3	44,2	
Sols nus ou rochers	Dans la péninsule	35,2	7,1	12,7	14,6	27,6	2,8	6206
	Dans le paysage	7,6	3,8	6,8	3,3	4,1	2,4	
Surface totale du paysage (ha)		28 764	11 544	11 549	27 711	41 878	7092	128 539

surface augmente chaque année à cause du *tavy* (*tavy* en forêts primaires ou dans les formations post-culturelles âgées). Concernant les mangroves, elles sont beaucoup plus importantes dans les larges dunes et deltas de zones Ouest et Sud-ouest que dans la partie orientale de la péninsule. Les unités paysagères sont donc différentes en terme de composition, de structure et en organisation spatiale dans la péninsule (Tableau 2).

### Description des unités paysagères de la péninsule d'Ampasindava

Les différentes classes d'unités d'occupation du sol sont réparties inégalement dans le milieu de la péninsule d'Ampasindava. Le paysage d'Antsirabe-Anorotsangana, localisé dans la région Sud-ouest est dominé principalement par les formations dégradées, qui occupent plus de la moitié de la superficie totale de la zone (52,7 %). Les forêts primaires sont très réduites et se trouvent en mosaïque dans les parties supérieures du massif de Bezavona. Cette classe n'occupe que 1,3 % de la superficie totale du paysage, reflétant l'intensité de l'activité agricole. Celle-ci contribue et favorise le développement de jeunes forêts secondaires après l'évolution progressive de la jachère, ou de sols nus vraisemblablement dans les cas où l'érosion et le phénomène de lessivage sont considérables. Les mangroves occupent une place importante dans la zone et sont rencontrées principalement à Lavalohalika et dans les embouchures de la rivière de Berondra et de Beampongy.

Dans la partie centre-ouest de la péninsule, le paysage de Betsitsika frappe d'emblée par l'abondance des forêts secondaires âgées (28,0 %), qui forment des taches continues mais peu agrégées. Cette classe est fragmentée par les jeunes forêts secondaires et les formations dégradées qui sont majoritaires (resp. 30,2 % et 31,1 %). Au milieu des forêts secondaires âgées, notamment dans les interstices des reliefs, on trouve encore les derniers restes des forêts denses humides sempervirentes de la région (taux d'occupation de 4,8 %). Ces forêts secondaires âgées sont très sensibles aux pressions anthropiques, notamment au défrichement et à l'utilisation du feu à cause de leurs caractéristiques physiologiques, floristiques et des conditions du milieu dans la zone (caractéristiques édaphiques et climatiques) (Tahinarivony, 2014).

Dans le paysage du Nord-ouest de la péninsule, les forêts secondaires âgées occupent les collines de Sorony et de Besanganaomby (33,7 %). Les vallées encaissées sont occupées par des mosaïques de forêts denses humides, qui couvrent 4,8 % de la superficie du paysage. Les forêts secondaires âgées et les forêts denses humides sont morcelées et/ou entourées par des jeunes forêts secondaires et des formations dégradées qui sont représentées respectivement par un taux d'occupation de 14,8 % et de 44,1 %. Une particularité du paysage est la présence d'une longue plage de 12 km, longeant le bord de la mer.

Dans l'extrémité Nord de la péninsule se trouve le paysage de la baie des Russes. Les formations

dégradées et les sols nus et rochers occupent plus de 63,0 % de la zone et ne laissent que très peu de zones couvertes par des jeunes forêts secondaires (30,0 %) et quelques fragments de forêts denses humides sempervirentes (0,5 %). Pour ces raisons, la population locale exploite les mangroves (6,8 % de la superficie du paysage) comme source principale en bois et en charbon.

Le paysage d'Anjanozano-Andranira, localisé dans la partie est de la péninsule, est marqué par la présence de quelques taches de forêts denses humides sempervirentes et occupent environ 3,5 % de la superficie du paysage. La persistance de cette forêt est due aux initiatives de conservation anticipées par les opérateurs économiques-touristiques de la région. Sur les grès et les zones latéritiques, se développent des formations secondaires âgées, qui affichent les mêmes caractéristiques physiologiques et floristiques que celles de la partie occidentale de la péninsule. Elles sont dominées par la famille des Sarcolaenaceae et occupent plus de 6,0 % de la superficie totale du paysage. Les jeunes forêts secondaires dominent la zone, et occupent plus de la moitié de la superficie totale du paysage, soit avec un taux d'occupation de 52,3 %. Les sols nus sont moins remarquables alors que les mangroves sont localisées dans le delta d'Ankisimany et dans les dunes étroites d'Andranira, d'Ambatobe et d'Ambaliha.

Le paysage de la partie centrale de la péninsule se singularise par la présence de restes importants des forêts denses humides sempervirentes. Ces forêts sont localisées principalement au niveau des massifs d'Andranomatavy, de Bongomirahavavy et d'Ambodihazomamy. La persistance des forêts dans ces massifs résulte du respect du *fady*, des valeurs coutumières et culturelles car ces massifs sont considérés comme sacrés pour les paysans autochtones (Tahinarivony *et al.*, 2015). Avec les autres taches de forêts éparpillées dans le paysage, la classe occupent une surface totale de 6 093 ha, qui représentent un taux d'occupation de 14,6 %. Ce sont ces principaux massifs qui représentent l'intérêt principal de la conservation de la biodiversité de la péninsule car ils conservent les caractéristiques originelles des forêts climatiques du Domaine du Sambirano avec les espèces animales et végétales endémiques et à la fois menacées de la région (Ammann, 2011 ; MBG, 2013 ; Rasoanaivo, 2014 ; Tahinarivony, 2014). Ces forêts denses humides sempervirentes forment des taches continues dans le paysage et sont entourées par des jeunes forêts secondaires. Ces jeunes forêts secondaires

dominent le paysage avec un taux d'occupation élevé, soit de 60,6 % contre 20,3 % pour les formations dégradées. C'est dans ce paysage que se déroulent les transformations du paysage les plus importantes de la péninsule, car les conditions démographiques et territoriales y poussent aux défrichements par la pratique du *tavy*, avec ensuite la mise en place des processus de régénération de la végétation par l'évolution progressive des formations post-culturelles.

## Discussion

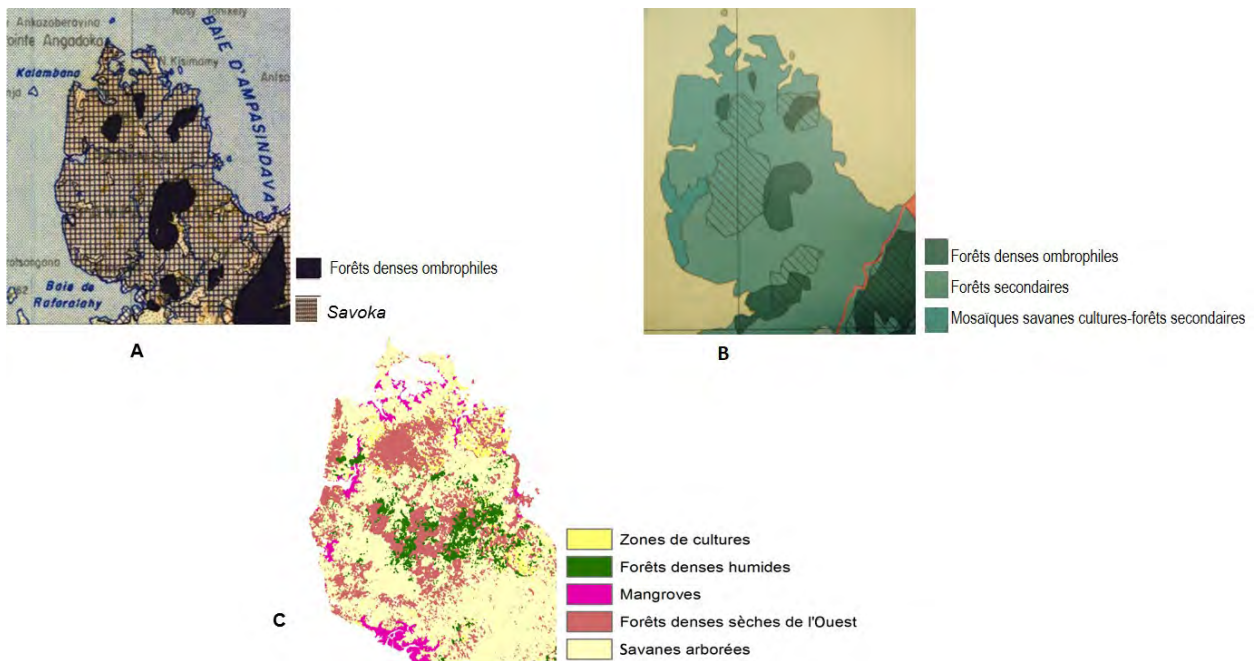
### Couplage des données écologiques et multi-spectrales pour la cartographie de la végétation

La spatialisation des données écologiques et la recherche des corrélations entre les données de terrain sur la structure de la végétation et les données spectrales sont importantes pour caractériser et cartographier la végétation d'un milieu. L'utilisation de la méthode de classification supervisée, appuyée sur les résultats des analyses statistiques a permis de réduire ou d'éviter les erreurs d'interprétations des données spectrales.

Les données de NDVI sont importantes dans la cartographie de la végétation, surtout dans un milieu où la transformation du paysage se manifeste avec une ampleur considérable. Elles permettent de suivre l'évolution de la succession végétale mais aussi la distinction entre les formations sempervirentes et semi-décidues. Grâce aux approches méthodologiques de la géomatique, le couplage des informations fonctionnelles et structurales par les informations spatiales (données spectrales et indice de végétation) produisent une carte d'occupation du milieu mettant en exergue les caractéristiques des différentes classes de formations végétales et leur répartition dans les différents paysages. Un des avantages les plus importants de cette approche est de pouvoir suivre ou étudier l'évolution de chaque type de végétation en chaque point/pixel de la zone d'étude.

### Données cartographiques de la végétation et de la transformation du milieu de la péninsule d'Ampasindava

À part les données brutes de cartes topographiques et les photographies aériennes (FTM, 1956a, 1956b), nous disposons par des cartographies à une échelle grossière d'éléments décrivant le milieu de la péninsule d'Ampasindava (Figure 11). Dans sa description des forêts du Sambirano et de Nosy-be,



**Figure 11.** Cartes de la couverture végétale de la péninsule d'Ampasindava : A) selon Humbert (1965) ; B) selon Faramalala (1995) et C) selon Moat & Smith (2007).

Gachet (1958) affirme que le milieu de la péninsule d'Ampasindava est composé des mangroves, des *savoka* et des parties forestières essentielles dont les massifs d'Andranomatavy et de Bongomirahavavy. Avec la carte du tapis végétal de la région, Humbert (1965) a identifié deux classes de végétation dans la péninsule d'Ampasindava. Ce sont les forêts denses ombrophiles du Sambirano, limitées au niveau des grands massifs, et les *savoka*. Ces données sont assez similaires à la description donnée par Gachet (1958), malgré l'absence de la classe des mangroves. En plus des forêts denses ombrophiles, Faramalala (1995) a identifié d'autres classes de végétation comme les mosaïques savanes-culture-forêt secondaire et les formations secondaires (Figure 11A). A ce niveau, la classe des *savoka* de Humbert (1965) (Figure 11B) semble être décomposée en deux classes par Faramalala (1995) qui sont la classe des mosaïques savanes-culture-forêt secondaire et celle des formations secondaires. Avec les données de l'Atlas de la végétation de Madagascar (Moat & Smith, 2007), d'autres classes de végétation et de forêts sont identifiées dans différentes parties de la péninsule d'Ampasindava (Figure 11C). Pour eux, le paysage est composé de forêts humides, de forêts sèches de l'Ouest, de forêts humides dégradées et de mangroves. Cette interprétation, issue d'une cartographie à l'échelle nationale et à notre connaissance n'ayant pas fait intervenir de données de terrain pour la zone d'Ampasindava, entre en

conflit avec les données floristiques et écologiques collectées dans le milieu, en particulier, en ce qui concerne leur classe des forêts sèches de l'Ouest qui n'ont jamais été rencontrées lors de nos prospections aux endroits où elles ont été cartographiées, à savoir à Andranomatavy et dans les environs de Betsitsika (Ammann, 2011).

Du point de vue de la dynamique de la végétation consécutive à l'agriculture itinérante, il est intéressant de confronter la classe des *savoka* identifiée par Gachet (1958) et Humbert (1965) à des données historiques. Le scénario de la transformation du paysage suivant peut être proposé pour la péninsule d'Ampasindava (Tahinarivony *et al.*, 2015) :

- Le milieu aurait connu une transformation, notamment de la dégradation de la végétation pendant la période de la colonisation par les Sakalava et surtout pendant la guerre entre ces derniers et les troupes Merina (fin 18<sup>e</sup> et début 19<sup>e</sup> siècle).
- Après cette phase, le milieu se serait reconstitué naturellement pour donner des *savoka* qui ont été identifiés par Gachet (1958) et Humbert & Cours Darne (1965).
- Après des longues années de régénération de la végétation, en même temps avec l'intensification de la pratique du *tavy*, la structure et la composition du paysage se sont complexifiées, aboutissant à une mosaïque intriquée des différents stades de la succession : les forêts

secondaires âgées, les jeunes forêts secondaires et les formations dégradées.

- Une étape de d'appauvrissement est en cours par agrégation des taches des classes les plus dégradées.

## Conclusion

La carte que nous proposons, met en évidence l'ampleur de la dégradation de la surface forestière de la péninsule d'Ampasindava. Le choix des différentes unités cartographiées selon une séquence d'évolution de la végétation (forêts denses humides sempervirentes, forêts secondaires âgées, jeunes forêts secondaires, formations dégradées, sols nus, rochers, zones d'habitations, mangroves et rivages sableux) permet d'appréhender la dynamique d'évolution de l'occupation du sol sous l'influence des activités anthropiques. La connaissance des données des processus de transformation du paysage devrait permettre de définir des mesures de conservation appropriées en particulier développer une synergie entre la protection et la valorisation de la biodiversité et le développement des populations.

En général, la structure du paysage de la péninsule d'Ampasindava est devenue homogène après plusieurs années de transformation de l'occupation du sol. La région Sud et Sud-ouest de la péninsule est la plus dégradée et montre une abondance des sols nus et des formations dégradées. Seules quelques mosaïques de forêts sont encore présentes au sommet de Bezavona et dans la partie rocheuse d'Ambilanivy. La région ouest est marquée par la présence des forêts à dominance des *Sarcocaulaceae* et de *Dyopsis* spp. (*Arecaceae*), considérées comme des forêts secondaires âgées. Le milieu est très exploité par la pratique du *tavy*, car la seule réglementation existante pour protéger les forêts est un règlement de nature traditionnelle, malheureusement pas respecté par les populations allochtones. Dans la région Nord-ouest de la péninsule, le milieu est très similaire à la région de Betsitsika de par ses caractéristiques pédologiques, topographiques mais surtout quant au type de la formation. Les forêts secondaires âgées sont souvent morcelées par des formations dégradées ou des sols nus. Dans la partie nord, le massif d'Andranomatavy est couvert de forêt dense humide et présente des formations secondaires dans les parties situées en dessous de 200 m d'altitude. Ce massif a une grande importance du fait qu'il assure la régulation hydrique de la région et constitue un réservoir de biodiversité, potentiellement susceptible de fournir le matériel génétique nécessaire à la reconstitution des forêts

environnantes. Dans l'extrême Nord, la région de la Baie des Russes est occupée par des formations dégradées et des mosaïques de forêts secondaires. La zone Nord-est est formée par les collines de Bemanevika, de Kongony et d'Anjanozano. Le milieu est dominé par des jeunes forêts secondaires fragmentées par des formations dégradées et des zones de culture ou *tavy*.

Grâce au système de conservation adopté à des fins d'écotourisme, les forêts de cette région sont en pleine reconstitution, en particulier dans la région d'Anjanozano. Cette reconstitution est démontrée par le développement de jeunes espèces ligneuses forestières comme *Asteropeia* spp. (*Asteropeiaceae*) et *Symphonia* spp. (*Clusiaceae*). Dans la partie Centre-est, se trouve le massif forestier sacré de Bongomirahavavy, la forêt d'Ambodihazomamy et les massifs à mosaïques de forêts d'Ambaliha et d'Andrampanôva. La plus grande forêt de la région est celle du massif de Bongomirahavavy, entourée par des jeunes forêts secondaires, des formations dégradées et des zones de culture. Vers Ambaliha et Ambatobe, la dégradation du milieu est très poussée et a atteint les sommets d'Ambodilaitra et d'Ambilanivy. Comme pour le massif d'Andranomatavy, la conservation de la forêt du massif de Bongomirahavavy en ce qui concerne la diversité, comme pour ce qui est de la préservation du régime hydrologique est de première importance. Ces deux massifs sont les deux poumons verts de la péninsule, garants d'un milieu naturel sain et d'une disponibilité de l'eau toute l'année. Leur disparition entraînera inévitablement la disparition de nombreuses espèces et l'extinction définitives d'endémiques locales.

## Remerciements

Les travaux d'investigation biologique sur le terrain ont été financés par la Fondation Vontobel, Suisse. Ce travail n'aurait pas été mené sans la contribution de nombreuses personnes et institutions aussi bien ici à Madagascar qu'à Genève, Suisse. Nous adressons nos remerciements à Quoc-Hy Dao pour ses conseils précis et rigoureux. Nous remercions également toute l'équipe des Conservatoires et Jardin Botaniques de la Ville de Genève (CJB), qui travaille sur la flore et la végétation de Madagascar, et les Associations Famelona et Vahatra à Madagascar. Sincères remerciements à Cyrille Chatelain et Chris Birkinshaw pour leurs commentaires et critiques constructifs. Nos reconnaissances s'adressent également aux éditeurs du présent article.

## Références bibliographiques

- Ammann, M. Y. 2011.** La presqu'île d'Ampasindava (Nord-ouest de Madagascar) : Une région mal connue et menacée, capitale pour la compréhension et la mise en place de la flore du Domaine du Sambirano. Mémoire de Master, Université de Genève, Genève.
- Besairie, H. 1933.** Carte géologique de reconnaissance d'Ambanja et Anorotsangana. Service des Mines, Antananarivo.
- Bonn, F. & Rochon, G. 1993.** *Précis de télédétection : Principes et méthodes.* Presses de l'Université du Québec, Québec.
- Chatelain, C. 1996.** Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière. Thèse de Doctorat, Université de Genève, Genève.
- Cornet, A. 1974.** *Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar, carte à 1 : 2 000 000. Notice Explicative N°55.* ORSTOM, Paris.
- Cornet, A. & Guillaumet, J.-L. 1976.** Divisions floristiques et étages de végétation à Madagascar. *Cahier ORSTOM, Série Biologie*, 6(1): 35-40.
- Donnot, M. 1963.** Les complexes intrusifs alcalins d'Ampasindava (Madagascar). *Annale Géologique de Madagascar*, 33: 81-87.
- Donque, G. 1972.** The climatology of Madagascar. In *Biogeography and ecology of Madagascar*, eds. R. Battistini & G. Richard-Vindard, pp. 87-144. The Hague: W. Junk.
- Emberger, L., Gogron, M. & Daget, P. 1968.** *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu.* CNRS, Paris.
- Faramalala, M. H. 1995.** *Formations végétales et domaine forestier national de Madagascar.* Carte 1:1,000,000. Conservation International, Washington, D.C. et DEF, CNRE et FTM, Antananarivo.
- Foiben-Taontsaritanin'i Madagasikara. 1956a.** *Carte de Madagascar au 1:100,000.* Feuille R 33-34, Ankaramibe, Antananarivo.
- Foiben-Taontsaritanin'i Madagasikara. 1956b.** *Carte de Madagascar au 1:100,000.* Feuille Q 33-34, Anorotsangana Antananarivo.
- Gachet, C. 1958.** Les forêts du Sambirano et de Nossi-Bé. II. Les presqu'îles d'Anorotsanga et d'Ambato, le Kalobenono, le Galoka, Nosy-Be et Nosy Komba. *Bulletin de Madagascar*, 151: 1043-1064.
- Gautier, L. & Goodman S. M. 2008.** Introduction à la flore. Dans *Paysages naturels et biodiversité de Madagascar*, ed. S. M. Goodman, pp. 103-109. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Gautier, L., Chatelain, C. & Spichiger, R. 1994.** Presentation of a relevé method for vegetation studies based on high-resolution satellite imagery. In *Proceedings of XIII<sup>th</sup> plenary meeting of AETFAT*, eds. J. H. Seyani & A. C. Chikuni, pp. 1339-1350. National Herbarium and Botanic Gardens of Malawi, Zomba.
- Humbert, H. 1955.** Les territoires phytogéographiques de Madagascar. *Année Biologique*, série 3, 31: 439-448.
- Humbert, H. 1965.** Description des types de végétation. Dans Notice de la carte de Madagascar, eds. H. Humbert & G. Cours Darne. *Travaux de la Section Scientifique et Technique de l'Institut Français de Pondichéry*, hors-série, 6: 46-78.
- Humbert, H. & Darne, G. C. 1965.** Notice de la carte internationale du tapis végétal et les conditions écologiques au 1/1 000 000 : Madagascar. Institut Français de Pondichéry, Paris.
- Kremen, C., Cameron, A., Moilanen, A., Phillips, S. J., Thomas, C. D., Beentj, E. H., Dransfield, J., Fisher, B. L., Glaw, F., Good, T. C., Harper, G. J., Hijmans, R. J., Lees, D. C., Louis, Jr. E., Nussbaum, R. A., Raxworthy, C. J., Razafimpahana, A., Schatz, G. E., Vences, M., Vieites, D. R. Wright, P. C. & Zjhra, M. L. 2008.** Aligning conservation priorities across taxa in Madagascar with high-resolution planning tools. *Science*, 320: 222-226.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. 1977.** The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33: 159-174.
- Madiomanana, C. 2010.** Caractérisation des groupes floristiques de la presqu'île d'Ampasindava. Cas des massifs forestiers d'Ambohimirahavavy et de Betsitsika (Région DIANA). Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Missouri Botanical Garden. 2013.** *Inventaires des sites du projet MRPA-LotN°1 : Ampasindava-Galoko-DPNO 01-13/DP/UCPE/MRPA.* Rapport d'étude, Antananarivo.
- Moat, J. & Smith, P. 2007.** *Atlas de la végétation de Madagascar.* Royal Botanical Gardens, Kew.
- Moilanen, A., Wilson, K. A. & Possingham, H. P. 2009.** *Spatial conservation prioritization: Quantitative methods and computational tools.* Oxford University Press, Oxford.
- Rakotovo, S., Rakotondrazafy, R., Beziat, D., Salvi, S. & Rasolomanana, E. 2009.** Pétrologie du complexe alcalin cénozoïque d'Ambohimirahavavy, presqu'île d'Ampasindava, Nord-ouest de Madagascar. *Mada-Géo : Journal des Sciences de la Terre*, 13: 2-19.
- Rasoanaivo, N. S. 2014.** Les successions post-culturelles dans la presqu'île d'Ampasindava, Domaine du Sambirano, Nord-ouest de Madagascar. Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rasoanaivo, N. S., Tahinarivony, J. A., Ranirison, P., Roger, E. & Gautier, L. 2015.** Dynamique post-culturelle de la végétation dans la presqu'île d'Ampasindava, Domaine du Sambirano, Nord-ouest de Madagascar. *Malagasy Nature*, 9: 1-14.
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. 1974.** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, NASA SP-351. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt*, NASA, Washington D.C., 1: 309-317.

- Tahinarivony, A. J. 2010.** Caractérisation écologique de la végétation dans la presqu'île d'Ampasindava. Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Tahinarivony, A. J. 2014.** Analyse typologique et cartographique de la transformation du paysage de la péninsule d'Ampasindava, Domaine du Sambirano. Mémoire de Certificat de Géomatique. Université de Genève, Genève.
- Tahinarivony, A. J. 2015.** Histoire de la colonisation du milieu de la presqu'île d'Ampasindava : transformations du paysage et système de conservation. *Madagascar Conservation & Development*, 10: 77-84
- UICN. 1994.** *Lignes directrices pour les catégories de gestion des aires protégées.* Rapport non publié. Commission des Parcs Nationaux et des Aires Protégées de l'Union Mondiale pour la Nature, Suisse et Centre Mondial de la Surveillance Continue de la Conservation, Royaume-Uni.
- Watts, M. E., Ball, I. R., Stewart, R. S., Klein, C. J., Wilson, K., Steinback, C., Lourival, R., Kircher, L. & Possingham, P. 2009.** Marxan with zones: Software for optimal conservation based land-and sea-use zoning. *Environmental Modeling & Software*, 24: 1513-1521.