

**CNES-ISIS, Dossier N°138, Demande 2009**

**Suivi de l'occupation du sol par imagerie satellitale  
pour la mise en place des aires protégées.**

**Rapport 1, première année, 2009**

**Dominique HERVÉ, IRD, UR199, Programme MEM (IRD-Université de Fianarantsoa)**

**Avisoa ANDRIANARIVO (MEM, Fianarantsoa)**

**Samuel RAZANAKA (CNRE, Antananarivo)**

**Ahmed BATTI (pour l'IRD Unité ESPACE S140)**

## Table des matières

A. INTRODUCTION	3
B. SUIVI DE L'OCCUPATION DU SOL PAR IMAGERIE SATELLITALE POUR LA MISE EN PLACE DES AIRES PROTÉGÉES	7
I. COMPOSANTE 1 : ÉTAT DES LIEUX DES SITES FORESTIERS	7
1. Etat des lieux des parcs de la forêt humide	7
2. Promouvoir le patrimoine mondial à Madagascar	10
3. Le Parc National de Ranomafana	11
a. Principales caractéristiques	11
b. Menaces	12
c. Limites	13
4. Le Parc National d'Andringitra	16
a. Principales caractéristiques	16
b. Menaces	17
c. Données disponibles	17
d. Limites	17
5. La Réserve Spéciale du pic d'Ivohibe	18
a. Principales caractéristiques	21
b. Menaces	21
c. Données disponibles	21
d. Limites	21
II. COMPOSANTE 2 : ÉTUDE DE CAS	23
1. Cartographie de l'occupation du sol Parc National de Ranomafana	23
a. Traitement d'images	23
2. Cartographie de l'occupation du sol Parc National d'Andringitra – Réserve Spéciale du pic d'ivohibe	29
a. Traitement d'images	30
C. FORMATION EN TÉLÉDÉTECTION	42

## A. Introduction

Ce rapport expose les travaux et l'étude de cas réalisés au sein du projet « Suivi des sites patrimoniaux UNESCO par télédétection spatiale » sur l'île de Madagascar.

Un état des lieux des sites forestiers a été réalisé et une étude de cas s'est focalisée sur les sites classés UNESCO du COFAV : le parc national de Ranomafana et le parc National d'Andringitra, et sur la réserve spéciale d'Ivohibe.

Suite à une visite terrain réalisée en janvier 2009, une enquête auprès des gestionnaires des sites forestiers labélisés UNESCO a permis de recueillir leurs avis et leurs besoins en matière de données de télédétection et d'outils ou techniques de traitement de ces données. Cette première mission a permis d'effectuer les premiers traitements d'images de télédétection sur le parc national de Ranomafana. La visite terrain et les traitements ont permis la réalisation d'une cartographie de l'occupation du sol du parc et de sa zone tampon à la date des images SPOT 5 (26/03/2004), et de séparer ainsi les zones forêt des zones non-forêt répondant à la demande prioritaire de l'UNESCO. Cette première mission a révélé les difficultés qui peuvent être rencontrées : d'une part les contraintes pratiques au niveau de l'accessibilité aux zones d'études, d'autre part les contraintes techniques, au niveau des traitements d'images en zone forestière nuageuse et à relief accentué et au niveau de la disponibilité à la fois au niveau des compétences locales pour réaliser les traitements et aussi au niveau des outils de traitements adaptés aux besoins recensés. Entre mars et août 2009, les travaux de télédétection se sont étendus au parc national d'Andringitra et à la réserve spéciale du Pic d'Ivohibe, sur le terrain et avec des traitements réalisés par Liza DADU lors d'un stage de Master 2 (univ. Paul Valérie, SI2G3T, Montpellier) réalisé à l'unité Espace. Au cours de ce stage, l'évolution de l'occupation du sol par imagerie satellitaire (SPOT) a été étudiée sur ces deux sites, pour les années 1986 et 2008.

Un atelier national de télédétection, couplé à une formation en télédétection, a été organisé à l'initiative du CNES et de l'IRD à Antananarivo (Madagascar) du 9 au 12 novembre 2009. Pour préparer cet atelier et pour répondre aux besoins en matière de données télédétection, Ahmed Batti a contribué au montage de quatre projets ISIS pour la commande de 36 scènes SPOT et préparé les données qui ont servi aux travaux pratiques pour l'atelier CNES/IRD. Sur les 4 thématiques des projets ISIS, 2 ont été choisies pour les travaux pratiques.

## Données disponibles

Les scènes SPOT des Aires protégées du Corridor de Fianarantsoa (Figure 4) sont énumérées avec le détail des dates sur le tableau 1 ; elles regroupent les scènes actuellement disponibles. 4 périodes sont disponibles : 1986-1988, 1998-1999-2000, 2004 et 2007-2008, avec des résolutions spatiales variables (résolution de 20 m sur les images anciennes et de 10 m sur les images les plus récentes).

Des assemblages de 2 scènes sont possibles à 4 périodes, des plus récentes au plus anciennes :

- SPOT 2007, 10 m (28/03/07) et SPOT 2008, 10 m (15/04/08).
- 2 scènes SPOT 2004, 10 m (à la même date le 26/03/04).
- SPOT 1998, 20 m (21/07/98), SPOT 2000, 20 m (30/01/00), et Landsat TM et ETM+ 1999, image 158/75 (11/11/99).
- 2 scènes SPOT 1988, 20 m (12/07/88 et 1/08/88).

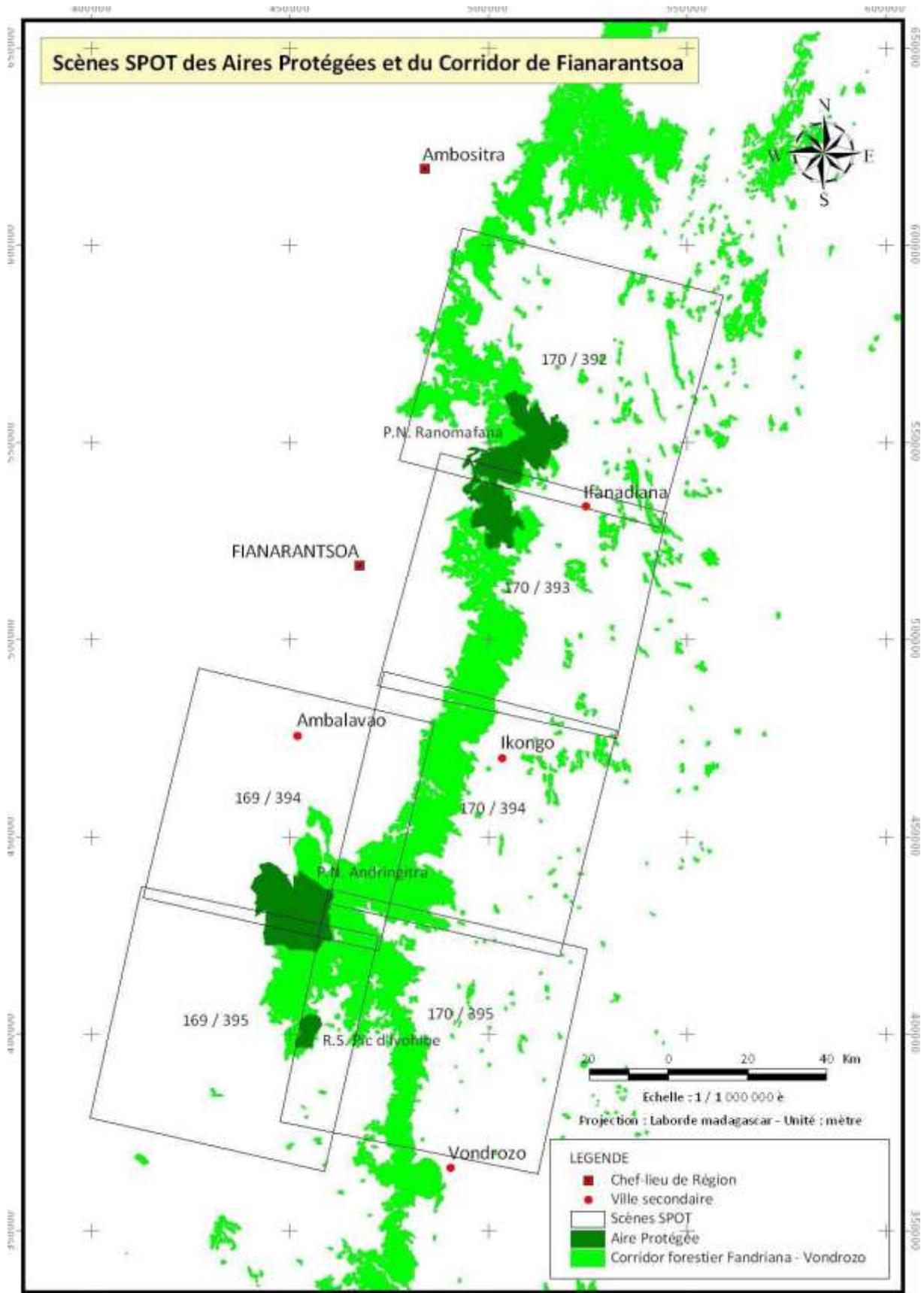
L'aire protégée Ranomafana créée en 1986, n'a vu son décret de création qu'en 1991 ; on prendra 1988 comme date de référence avant la création du parc. Il faut attendre 2004 pour bénéficier d'une meilleure précision pour les images SPOT. Donc, on adoptera le couple 1988-2004 pour l'avant et l'après labellisation.

**Tableau 1** : Référence des scènes SPOT du corridor

Référence scène	K/J	Date	SPOT	Résolution	Prétraitement	Fenêtre
<b>51703940804150707462J0</b>	170/394	15 / 04 / 08	5	10 m. C	2A	Centre
<b>51703930403260652141J2</b>	170/393	26 / 03 / 04	5	10 m. C	2A	
<b>21703949908070704481X0</b>	170/394	07 / 08 / 99	2	20 m. C	2A	
<b>11703948603220715022X0</b>	170/394	22 / 03 / 86	1	20 m. C	2A	
<b>51693940804200706342J0</b>	169/394	20 / 04 / 08	5	10 m. C	2A	Centre Ouest
<b>51693940403260652252J0</b>	169/394	26 / 03 / 04	5	10 m. C	2A	
<b>41693940004170652252I0</b>	169/394	17 / 04 / 00	4	20 m. C	2A	
<b>11693948603220715031X0</b>	169/394	22 / 03 / 86	1	20 m. C	2A	
<b>51703920703280651411J0</b>	170/392	28 / 03 / 07	5	10 m. C	2A	Zafimaniry Sud
<b>51703920403260652061J0</b>	170/392	26 / 03 / 04	5	10 m. C	2A	
<b>41703929807210723052I0</b>	170/392	21 / 07 / 98	4	20 m. C	2A	
<b>11703928807120702292X0</b>	170/392	12 / 07 / 88	1	20 m. C	2A	
<b>51703950703010711391J0</b>	170/395	01 / 03 / 07	5	10 m. C	2A	Sud
<b>21703950007210651242X0</b>	170/395	21 / 07 / 00	2	20 m. C	2A	
<b>21703950408150713222X0</b>	170/395	15 / 08 / 04	2	20 m. C	2A	
<b>11703958608150707492X0</b>	170/395	15 / 08 / 86	1	20 m. C	2A	
<b>41693950712140700562I0</b>	169/395	14 / 12 / 07	4	20 m. C	2A	Sud Ouest
<b>51693950403260652332J0</b>	169/395	26 / 03 / 04	5	10 m. C	2A	
<b>21693959911090656392X0</b>	169/395	09 / 11 / 99	2	20 m. C	2A	
<b>11693958603220715111X0</b>	169/395	22 / 03 / 86	2	20 m. C	2A	

<b>51703930804150702372J0</b>	170/393	15 / 04 / 08	5	10 m. C	2A	
<b>51703930403260652141J2</b>	170/393	26 / 03 / 04	5	10 m. C	2A	
<b>21703930007210651061X0</b>	170/393	21 / 07 / 00	2	20 m. C	2A	Nord
<b>21703930001300718442X0</b>	170/393	30 / 01 / 00	2	20 m. C	2A	
<b>11703938808010718132X0</b>	170/393	01 / 08 / 88	1	20 m. C	2A	
<b>11703938607200707292X0</b>	170/393	20 / 07 / 86	1	20 m. C	2A	
<b>51703930804150702372J</b>	170/393	18 / 04 / 08	5	2,5 m. C	ortho	Nord
<b>51703940804150702462J</b>	170/394	18 / 04 / 08	5	2,5 m. C	ortho	Centre

Figure 1 : Scènes SPOT sur le corridor forestier de Fianarantsoa



## B. Suivi de l'occupation du sol par imagerie satellitale pour la mise en place des aires protégées. Corridor forestier Fandriana-Vondrozo Site MADAGASCAR

HERVE Dominique, BATTI Ahmed, ADRIANARIVO Avisoa, RAZANAKA Samuel

(Janvier 2009)

### I. COMPOSANTE 1 : ÉTAT DES LIEUX DES SITES FORESTIERS

#### 1. ÉTAT DES LIEUX DES PARCS DE LA FORÊT HUMIDE

Les forêts humides de l'Atsinanana à Madagascar comprennent six parcs nationaux répartis le long des marges orientales de l'île du Nord au Sud : Marojejy, Masoala, Zahamena, Ranomafana, Andringitra, Andohahela (Figure 1). Ces forêts très anciennes sont très importantes pour le maintien des processus écologiques nécessaires à la survie de la biodiversité unique de Madagascar. Celle-ci reflète l'histoire géologique de l'île : en raison de sa séparation des autres masses terrestres il y a plus de 60 millions d'années, Madagascar abrite une flore et une faune qui ont évolué isolément, et qui de ce fait, ont un taux d'endémisme exceptionnellement élevé, de 80 à 90 % pour tous les groupes. Inscrites pour leur importance dans les processus écologiques et biologiques, les forêts humides le sont également pour leur biodiversité et les espèces menacées qu'elles hébergent. Le site est d'importance mondiale en matière de faune, notamment pour les primates (au moins 25 espèces de lémurien) ; parmi les 123 mammifères non volants que compte Madagascar, 78 sont présents dans les forêts humides, dont 72 figurent sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN.

La forêt tropicale humide d'altitude (*Rain forest* de moyenne et basse altitude) est la formation végétale incluse dans la décision de labellisation UNESCO de juin 2007. Le programme de labellisation des forêts malgaches suit l'ordre suivant : forêt humide, forêt sèche, mangrove. Les ensembles en cours de labellisation sont les forêts sèches (formations en lambeaux discontinus) du Sud-Ouest, l'AP de Midongy et les mangroves de la côte ouest. Il est également question d'incorporer les corridors forestiers actuellement sans statut légal, qui relient les parcs entre eux, pour qu'ils intègrent également le patrimoine mondial, une fois qu'ils seront reconnus dans les SAPM (Système des Aires Protégées Malgaches).

Le couloir est malgache se caractérise par une forêt humide quasi continue du nord au sud de l'île. Les 6 sites labellisés Unesco sont situés le long du couloir forestier (Figure 1) entre les autres aires protégées citées ci-dessous, que relient dans certains cas des « corridors forestiers » :

- 1) Tsingy Nord et Montagne d'Ambre, PN du MNP, Antsiranana.
- 2) Marojejy, **PN labellisé Unesco**, accessible depuis Antsiranana.
- 3) Masoala, **PN labellisé Unesco**, le plus arrosé et le plus inaccessible (WWF-Good Planet).

- 4) Zahamena, **PN labellisé Unesco**, accessible depuis le Lac Alaotra (Cirad). Projet d'Observatoire des forêts humides à Toamasina.
- 5) Mantadia (PN, non labellisé Unesco et qui ne peut plus être soumis à la Liste du patrimoine mondial), GTZ, ONG FFA. Projet d'Observatoire des forêts humides à Toamasina.
- 6) Fandriana-Marolambo, PN de 200 000 ha (WWF-Good Planet). Restauration : plantation d'espèces natives sur savane et sur jachères (250 000 plants pour 100 ha en 2008) ; Compensations : miel, production fruitière (café, agrumes, kaki, litchi), SRI / Ambositra.
- 7) COFAV : PN Fandriana + PN Ranomafana + PN Andringitra - RS Pic d'Ivohibe + Vondrozo, comprend **deux sites labellisés Unesco : Ranomafana et Andringitra** (Fianarantsoa), et un projet de restauration à Ankarimbelo (Ambalavao). Limites des 2 parcs Ranomafana et Andringitra (CNES-IRD/Unesco, ISIS 1). VALBIO à Ranomafana, IRD et ERI entre Ranomafana et Andringitra, KFW à Andringitra, WWF à Fandriana et Vondrozo. Projet d'Observatoire des forêts humides à Fianarantsoa.

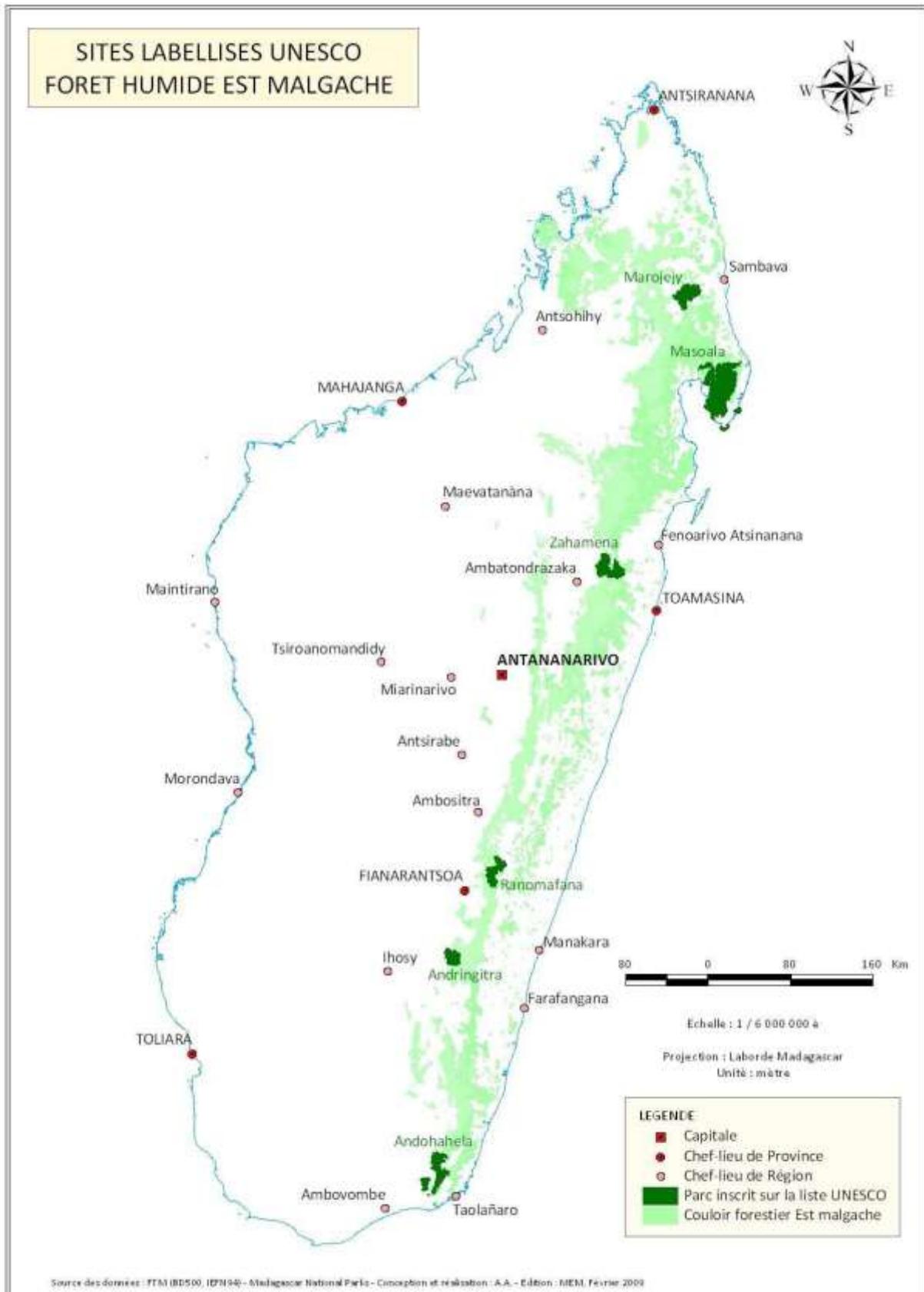
La Nouvelle Aire Protégée (NAP) COFAV d'une superficie 490 598 ha a eu son Arrêté Interministériel n°16071/2006-MINENVEF/MEM du 15 septembre 2006 portant protection temporaire de l'aire protégée en création dénommée "Corridor Fandriana - Vondrozo"; signé par le Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts et le Ministère de l'Energie et des Mines (Figure 2). L'objectif du Programme est d'appuyer les DREFT concernés pour la mise en œuvre de processus de création jusqu'à l'obtention de l'arrêté de protection définitive de la NAP Fandriana Vondrozo, repoussé de septembre 2008 à septembre 2009. Le processus de mise en place de la NAP COFAV a donné lieu à des consultations communales en 2008 avec la participation active des acteurs concernés : les communautés de base riveraines du Corridor, les services techniques déconcentrés et décentralisés, les programmes et projets intervenants dans le corridor.

- 8) Vondrozo, 18 000 ha (WWF-Good Planet) : 28 COBA, 9 communes (Vohimary, Ahandravy, Vondrozo, Mahazoarivo, Ambohimana, Ivato, Vohiboreka, Manambidalo, Mototeza), dans la province de Fianarantsoa, le territoire s'étendant au nord et au sud de la route venant de Farafangana.

Ce sont des forêts de basse altitude à 650-850 m, similaires à celles de basse altitude d'Andringitra et d'Ivohibe.

- 9) Befotaka - Midongy (PN en attente de labellisation Unesco ; a figuré dans le premier cluster, mais sera complété d'ici juin 2009, pour être à nouveau présenté pour 2010 à la Liste du patrimoine mondial). Befotaka - Midongy fait encore partie de la province de Fianarantsoa. Ce sont des forêts littorales de basse altitude où sont protégées des espèces menacées, *Daubentonia madagascariensis*, *Eulemur collaris* endémique.
- 10) Andohahela, **PN labellisé Unesco**, dans la province de Toliara ; ce parc est constitué de deux massifs, une forêt sèche et une forêt humide (Taolañaro).

**Figure 2 : Sites Labélisés UNESCO – Forêt humide est Malgache**



Pour suivre la dynamique d'évolution des couverts forestiers et l'impact des différentes mesures de conservation, nous proposons de réfléchir sur la création d'un observatoire de la forêt humide malgache basé sur deux pôles sur lesquels existent des séries longues de résultats de recherches : Zahamena-Mantadia au Nord et Fandriana-Vondrozo au Sud, dans une perspective de généralisation à l'ensemble du couloir forestier est malgache.

## 2. Promouvoir le Patrimoine Mondial à Madagascar

« Promouvoir le Patrimoine Mondial à Madagascar » est un programme du Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO, qui a débuté à Madagascar en 2000, et qui a pour finalité la mise en œuvre de la Convention du patrimoine mondial comme outil de conservation de la biodiversité et de développement intégré des communautés riveraines aux aires protégées. Il est sous la tutelle du Ministère de l'Environnement, des Forêts et du Tourisme (MEFT) et travaille en étroite collaboration avec le Madagascar National Park (MNP, ex-Angap).

En tant que Programme de l'UNESCO, il contribue activement à l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) et travaille étroitement avec les agences des Nations Unies à Madagascar dans le cadre de l'UNDAF (Plan cadre des Nations Unies pour l'Assistance au développement).

La Conférence internationale de Berastagi (1998), sur le thème « Les Forêts du Patrimoine Mondial : la Convention du patrimoine mondial comme mécanisme de conservation de la biodiversité de la forêt tropicale », avait soulevé les lacunes de la représentation des forêts tropicales humides sur la Liste du patrimoine mondial, et en particulier celles de Madagascar. Des études préliminaires menées en 2000 dans les parcs nationaux de Ranomafana et de Midongy ont permis l'élaboration d'un document cadre pour le lancement en 2003, par le Centre du Patrimoine Mondial de l'Unesco, du programme « Promouvoir le patrimoine mondial à Madagascar » avec un financement de la Fondation des Nations Unies (UNF). Ce programme a préparé 5 aires protégées de la partie Sud-est de Madagascar à une éventuelle proposition d'inscription sur la Liste du patrimoine mondial : parcs nationaux de Ranomafana, Andringitra, Befotaka-Midongy, réserve spéciale de Manombo et réserve spéciale de Kalambatritra.

Au cours d'un atelier national organisé en 2003, le Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO identifie 4 ensembles de sites naturels qui pourraient être inscrits sur la Liste du patrimoine mondial :

- L'ensemble des Forêts Humides de l'Est avec 8 parcs nationaux : Marojejy, Masoala, Zahamena, Mantadia, Ranomafana, Andringitra, Befotaka-Midongy, et Andohahela.
- L'ensemble des Forêts sèches de l'Ouest en extension au Tsingy de Bemaraha avec 5 sites : Ankarafantsika, Ankarana, Kirindy-Mitea, Daraina, et Menabe.
- L'ensemble des Forêts sèches du Sud-Ouest avec 2 sites : Tsimanampetsotse et Mikea.
- L'ensemble des aires protégées marines et côtières : grand récif de Tuléar, lagons de Mikea, Sahamalaza, Nosy Hara, et les récifs de la pointe de Diego.

En janvier 2005, le programme du Patrimoine Mondial à Madagascar et le Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts inaugurent le bureau de l'unité de gestion du parc national de

Befotaka-Midongy (ANGAP Midongy) et les activités de conservation et développement sont lancées dans et autour du parc en février 2005, avec le PNM-ANGAP, le Programme Conjoint Éducation Pour Tous (PC/EPT), le MGHC de JSI (Madagascar Green Health Communities de John Snow Institute) par le biais de la Fondation Tany Meva pour une durée de 1 an et demi. L'objectif ultime de ces activités est de promouvoir un mode collaboratif de la gestion des ressources naturelles du parc national en intégrant les populations locales dans des activités de développement socio-économique et de conservation.

En février 2005, avec l'appui du Programme du Patrimoine Mondial à Madagascar, le Gouvernement malgache soumet au Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO une liste indicative de 8 forêts humides de l'Atsinanana pour proposition d'inscription sur la Liste du patrimoine mondial : Marojejy, Masoala, Zahamena, Mantadia, Ranomafana, Andringitra, Befotaka-Midongy, Andohahela. Le dossier de nomination des Forêts Humides de l'Atsinanana sera finalement soumis par le gouvernement malgache au Centre du Patrimoine Mondial en février 2006. En août - septembre 2006, une mission de l'UICN (Union Mondiale pour la Nature) vient évaluer cette proposition à Madagascar ; elle recommandera le retrait temporaire du parc national de Mantadia et de Befotaka-Midongy de la proposition de nomination à cause de problèmes d'intégrité rencontrés au sein de ces deux parcs.

Le 27 Juin 2007, les « Forêts Humides de l'Atsinanana » regroupant alors 6 parcs nationaux (Marojejy, Masoala, Zahamena, Ranomafana, Andringitra et Andohahela) sont inscrites sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO lors de la réunion de la 31ème session du Comité du Patrimoine Mondial à Christchurch, Nouvelle Zélande. Il est à noter que c'est un fait rare dans le monde qu'un État, Partie de la Convention, propose un ensemble de sites au lieu d'un seul site naturel.

En juillet 2007, selon un système de collecte de fonds ("matching fund"), le programme du Patrimoine Mondial à Madagascar réunit les financements de l'UNF (Fondation des Nations Unies), "Conservation International Madagascar", la Fondation Norvégienne pour le Patrimoine Mondial (NWHF), la Fondation Tany Meva et le Programme Conjoint de l'Éducation Pour Tous (PC/EPT), pour lancer le début de la deuxième phase du Programme du Patrimoine Mondial à Madagascar, pour une durée de 18 mois. Cette seconde phase vise à préparer l'extension des Forêts Humides de l'Atsinanana, par l'intégration des corridors forestiers (NAP, SAPM) reliant les 6 parcs nationaux inscrits sur la Liste du patrimoine mondial, et à terminer le dossier de nomination des forêts sèches sur la Liste du patrimoine mondial.

### **3. Le Parc National de Ranomafana**

#### ***a. Principales caractéristiques***

Le Parc National de Ranomafana est institué par décret n° 91-250 du 7/05/91 et inauguré le 31/05/91, dans la première phase du programme environnemental malgache. Tout le parc dépend de la juridiction du tribunal de Mananjary. Il s'étend sur deux régions : Haute-Matsiatra et Vatovavy-Fitovinany, à 60 km de Fianarantsoa (1h30 de route), et 400 km d'Antananarivo (9h de route).

Localisation : Latitude 21° 02' – 21° 25' S, Longitude 41° 28' – 47° 37' E.

Surface : 416 km<sup>2</sup>. 43 549 ha divisés en trois parcelles Nord (23 970 ha), Ouest (3 503 ha), Sud (14 128 ha) ; la zone périphérique du parc est constituée d'un anneau de 3 à 5 km (soit 396 km<sup>2</sup>), 7 communes, 34 fokontany et 134 villages, 25 000 habitants (Figure 3).

Entre 500 et 1417 m d'altitude ; à l'entrée du parc, la pluviométrie moyenne sur 7 ans est de 2809 mm, et la température moyenne de 17.9°C. La température moyenne varie de 14 à 20°C, suivant l'altitude. La pluviométrie moyenne annuelle peut atteindre 4000 mm. La saison pluvieuse a lieu d'octobre à mars, les précipitations sont presque nulles en août.

Ethnie dominante : Betsileo

#### Spécificités environnementales et touristiques : Forêts humides d'altitude

Le PN de Ranomafana constitue l'une des forêts denses humides (flore de forêts tropicales à diverses altitudes) les plus riches du monde (Lowry *et al.*, 1997 ; Ganzhorn *et al.*, 1999). Sa faune est exceptionnellement riche mais seulement à l'échelle du pays, elle est plus pauvre en comparaison d'autres forêts tropicales : 114 espèces d'oiseaux (Wright, 1997 et 2002), 130 espèces de reptiles et d'amphibiens et 12 espèces de lémuriers (Tan, 1999). C'est la découverte du célèbre lémurien *Haplemur aureus* « the golden bamboo lemur » en 1986 qui accéléra l'intérêt porté à la forêt de Ranomafana puis son établissement formel comme du PN par le gouvernement malgache (Meier *et al.*, 1987 ; Wright, 1992 et 1997). Dix ans après, 98% des habitats sont maintenus (Wright, 1997) malgré quelques incursions dans le PN pour la pratique du tavy<sup>1</sup>. Des recherches datant de 1999 et 2000 montrent que les 12 espèces de lémuriers, figures emblématiques du PN, sont toujours présentes dans le Parc (Irwin *et al.*, 2000).

Le PN de Ranomafana est devenu depuis un véritable laboratoire vivant *in situ*, un site privilégié pour la recherche scientifique (Valbio, Centre International de Formation pour la Valorisation de la Biodiversité), les inventaires biologiques (faune et flore), la bioprospection (molécules pour l'industrie pharmaceutique), le monitoring, les études d'impacts des activités humaines sur la biodiversité et pour la création de base de données écologiques, sociales et économiques sur le long terme. Le Parc de Ranomafana est depuis 2008 parmi les premiers cinq sites du réseau international TEAM sur les forêts humides (50 sites prévus sur les 3 continents, Amérique latine, Afrique, Asie), comme l'avait envisagé P. Wright : faire du Parc de Ranomafana une station de recherche « top-quality » sur la biodiversité (animale et végétale) et sur le long terme basée sur le modèle de La Selva au Costa Rica et Barro Colorado Island au Panama (Mc Dade & Davidar, 1994).

Le parc abrite des bamboueraies, et différentes variétés de *Pandanus*.

Attractions : Piscine et bains thermaux alimentés par une eau chaude sulfureuse à Ranomafana.

### ***b. Menaces***

- Espèces invasives : bambou (quelles espèces endémiques ?) et goyave de Chine, consommées par les lémuriers.
- Sentiers illicites pour aller couper des essences forestières, à détecter si possible par télédétection.
- Aménagement des bas-fonds et marais en rizières. Certains bas-fonds en bordure de parc ont été délogés, les casiers revenant à l'état de marais.
- Feux de tavy et feux de brousse. Quel est l'historique des dégâts observés ?
- Chute d'arbres déracinés suite aux cyclones.

---

<sup>1</sup> Pratique traditionnelle : riziculture après défriche et brûlis de forêt

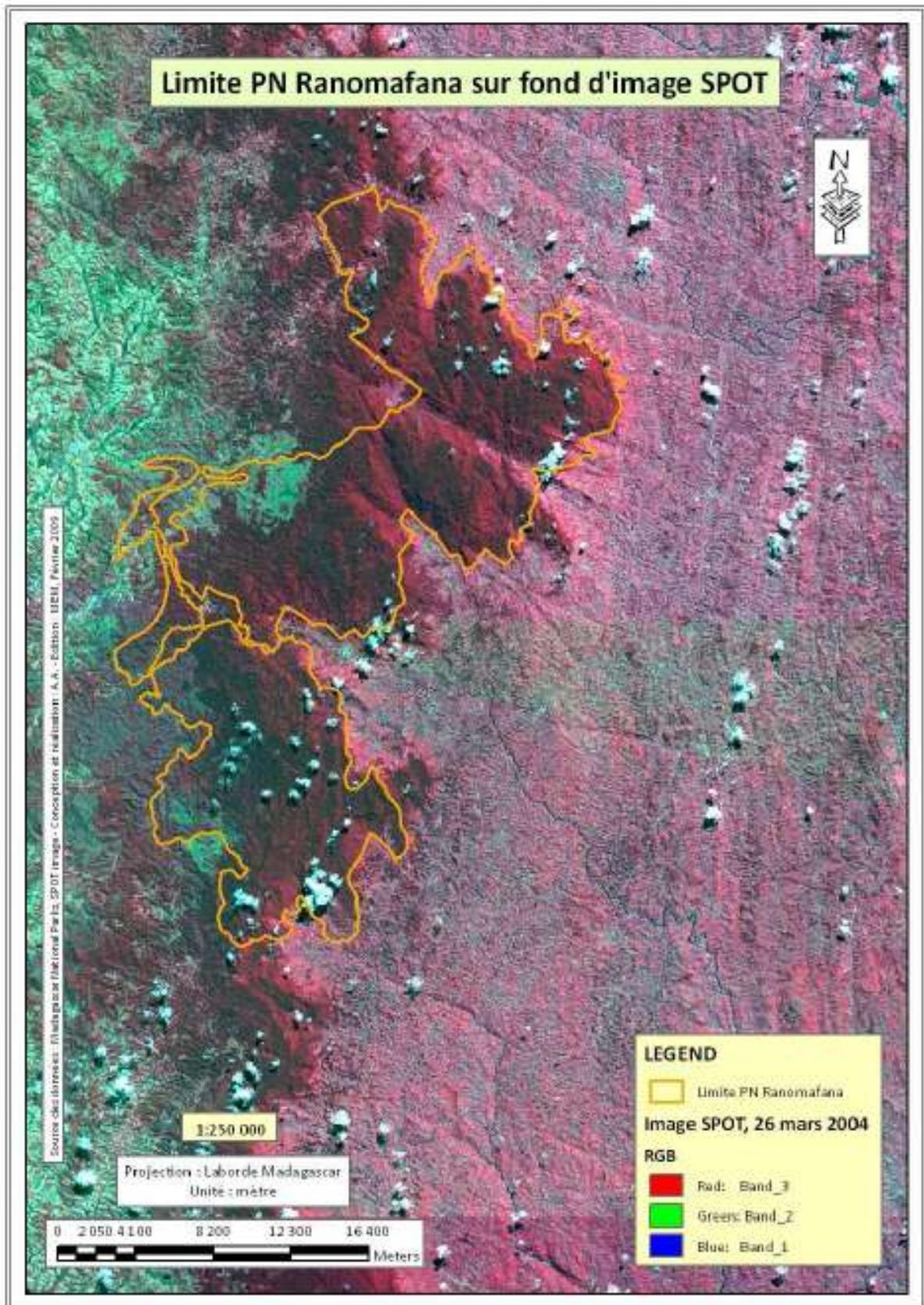
### *c. Limites*

- Limites naturelles : Ranomafana sur fonds image Spot (Figure 2)
- Etapes dans la délimitation : tracé entre lieux-dits, géoréférencement (GPS), matérialisation, bornage.
- Zonages internes : recherche et écotourisme

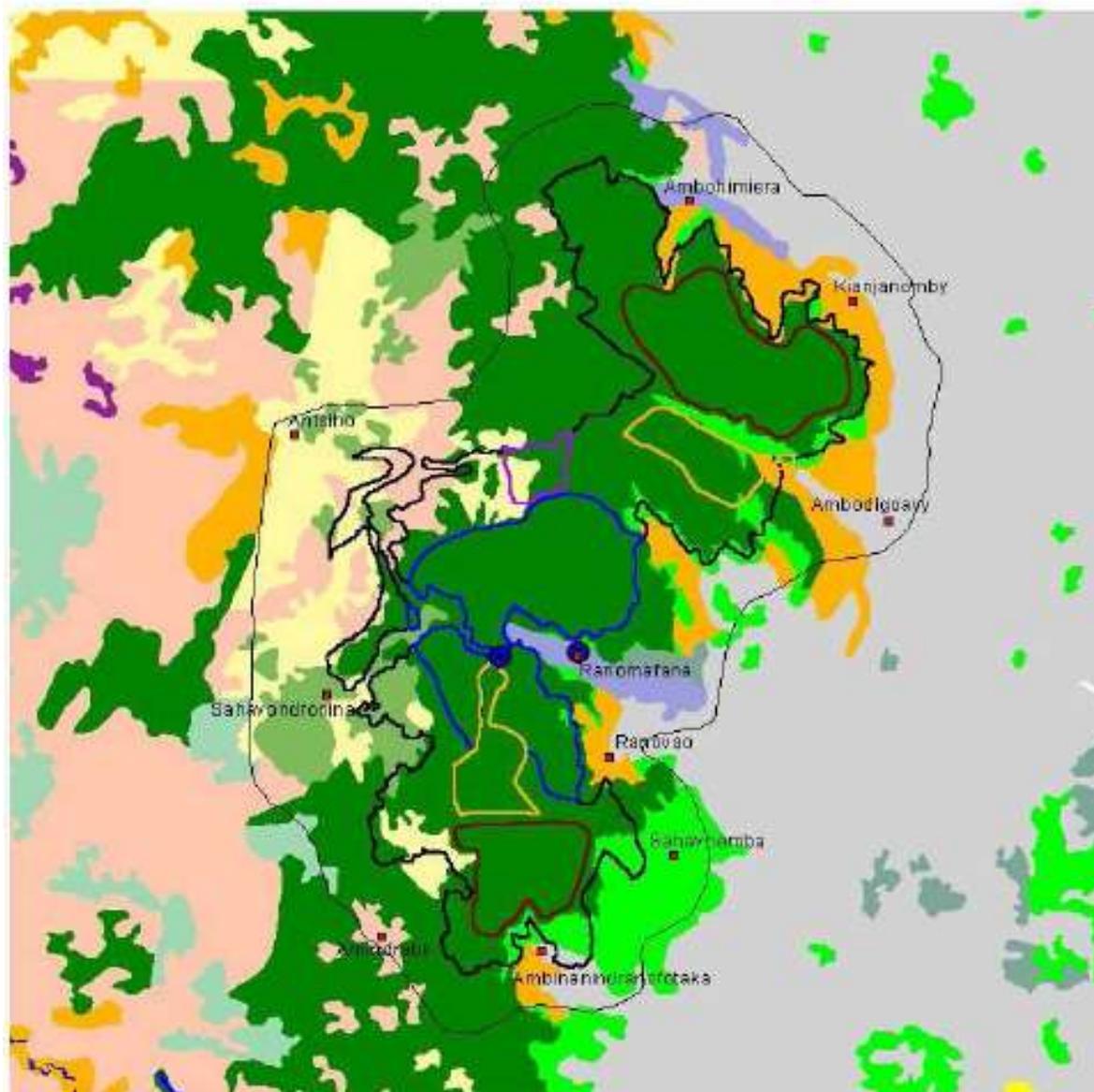
A Madagascar, les politiques générales exigent auprès des programmes de conservation des liens très forts entre les aires protégées et les bénéfices économiques que peuvent en tirer les populations locales (Richard & O'Connor, 1997). La position géographique accessible du Parc par une route asphaltée neuve (centrale hydro-électrique et centre internet), ainsi que la présence de populations de lémuriers habitués à la présence de l'homme et donc facilement observables, justifient *a posteriori* le parc et l'activité d'écotourisme qu'il génère. Cet écotourisme pourrait prendre le relais d'une multitude d'actions (éducation, conservation et développement) financées par les ONG jusqu'en 1997, afin de contribuer au développement économique durable de la région. Le « marché » de la conservation reposerait donc sur deux clientèles, la recherche et l'écotourisme, désireuses de séjourner plus ou moins longtemps sur le terrain (hôtellerie ; alimentation ; services de portage, guide et interprète ; artisanat).

La figure 3 indique les zonages internes sur une carte de 2004. Ils traduisent les priorités dans la valorisation du parc : trois zones étendues ouvertes à l'écotourisme, deux zones de recherche dont l'une directement accessible depuis la route, et qui sont les mieux préservées à l'intérieur du massif alors que les noyaux durs peuvent être menacés aux frontières, à l'Ouest par la progression de savanes incluses et à l'Est par des avancées d'exploitation agricole qui remontent le long des cours d'eau. Finalement, une zone d'utilisation contrôlée, à cheval entre savane et forêt, dans une zone dépourvue de peuplement, qui mériterait un suivi rapproché de la couverture végétale.

Figure 3 : Limites du parc Ranomafana sur fond d'images SPOT



**Figure 4** : Carte du PN Ranomafana et des zonages. ANGAP 2004



□ Noyau dur

**Zone tampon :**

□ Zone d'utilisation contrôlée    □ Zone de recherche    □ Zone de service (écotourisme)    ● Zone de service (société/bureau)

□ Zone périphérique

□ Limite du Parc

■ Village

- Forêts denses humides sempervirentes de basse altitude
- Forêts denses humides sempervirentes de basse altitude dégradées et/ou secondaires
- Forêts denses humides sempervirentes de moyenne altitude
- Forêts denses humides sempervirentes de moyenne altitude dégradées et/ou secondaires
- Mosaïque de cultures, jachères, lambeaux forestiers, formations graminéennes
- Peuplements d'Eucalyptus
- Peuplements de Pins
- Rars d'eau
- Riz
- Prairies côtières, savanes et/ou pseudosteppe avec éléments ligneux
- Savanes et/ou pseudosteppe avec éléments ligneux
- Savanes et/ou pseudosteppe sans éléments ligneux
- Autres ou mélangées



## 4. Le Parc National d'Andringitra

### a. Principales caractéristiques

Andringitra est passé de statut de forêt domaniale à celui de RNI (Réserve Naturelle Intégrale) en 1927, pendant la colonisation, puis a été déclassé en 1998 en Parc National (PN14, inauguré le 8/10/1999), afin de permettre une exploitation par l'écotourisme, une alternative non envisagée dans une RNI. Géré par le PCDI et le WWF, puis par l'ANGAP à partir de fin 2004, avec l'appui du KFW, allemand.

Taille : 312 km<sup>2</sup>. 31 160 ha, entre 650 et 2658 m d'altitude.

L'attrait principal de ce parc est l'échelonnement altitudinal des formations végétales : forêt de basse altitude, forêt de moyenne altitude et forêt d'altitude sur la falaise.

Il est situé sur un massif granitique où se trouve le lieu mythique du Tsaranoro. Il est accessible à 47 km au sud d'Ambalavao sur la Route Nationale n°7, le PN est situé aux coordonnées suivantes :

Latitudes : 22°07' – 22°21'S ; Longitudes : 46°47' – 47°02'E

Zone périphérique de 328 km<sup>2</sup>, contenant 59 villages. La partie ouest du parc se trouve sur des pics et barres rocheuses granitiques, la partie est du parc se trouve en forêt. Andringitra offre surtout des paysages de savanes ouverts au pâturage des zébus.

Climat :

- versant Est : tropical humide. Température moyenne annuelle 21°C. Pluviométrie annuelle 4000 mm.

- centre : tropical d'altitude. Température moyenne annuelle 9,9°C. Pluviométrie annuelle 2390 mm.

- versant Ouest : tropical à saison sèche marquée. Température moyenne annuelle 24,5°C. Pluviométrie annuelle 1300 mm, février étant le mois le plus pluvieux.

**Spécificités environnementales et touristiques :**

Attractions :

Pics et barres rocheuses granitiques. Possibilités d'escalade, VTT, parapente. Paysages granitiques, escalade, points culminants : Pic Bobby 2658 m, Pic Bory 2630 m

Ethnie dominante : Bara

Hébergements : hôtels à Fianarantsoa et Ambalavao.

Spécificités : forêts d'épineux, orchidées, 300 espèces de plantes vasculaires, fleurs sauvages...

Forêts de basse altitude, forêts de moyenne altitude, forêts sclérophylles, formations éricoïdes. Avifaune et faune mammalienne les plus riches des forêts de l'Est. 188 espèces de Ptéridophytes (38% endémiques), fougères.

Effet de l'altitude sur la distribution de la biodiversité : niveau élevé de biodiversité malgré la surface réduite de la réserve, liée à sa connexion à d'autres blocs forestiers grâce à des couloirs forestiers. Importance du couloir qui lie la réserve du Pic d'Ivohibe au PN de l'Andringitra (Goodman & Rasolonandrasana, 1999).

Les espèces phares actuelles pour l'image internationale de ce parc sont : une espèce de plante (*Ravenia glauca*, Palmaceae) et quatre espèces de Lémuriens (*Haplemur aureus*, espèce commune au PN de Ranomafana, *Eulemur fulvus albocollaris*, *Eulemur fulvus rufus* et *Haplemur griseus*).

Rasolonandrasana B., Grenfell S., 2008 : 160-161, in Steven M. Goodman: Paysages naturels et biodiversité de Madagascar : (1) Peuplements de bambous *Arundinaria* et *Nastus* associés à un peuplement mixte de *Podocarpus madagascariensis*, *Weinmannia* (Cunoniaceae), *Pandanus* (Pandanaceae) et *Symphonia* (Clusiaceae) ; (2) Au-delà de la limite supérieure de la forêt entre 1950 et 2050 m d'altitude, se trouve une lande à bruyères et des rochers couverts de lichens (*Cladonia*) et de mousse (*Sphagnum*) ; (3) Plus de 30 espèces d'orchidées terrestres ont été documentées.

### **b. Menaces**

- Feux de brousse : fréquence, intensité des feux et localisation des parcelles à brûler. Fourré éricoïde (dominante d'*Erica*), extrêmement inflammable, d'où l'installation de pare-feux. Vers une réelle gestion des feux.
- Aménagement des bas-fonds et abattis-brûlis (Rasolonandrasana et Grenfell, 2008). La délimitation de périmètres agricoles à l'extérieur du parc en 1996 a fortement diminué ces aménagements.
- Braconnage de subsistance sur deux espèces de Tenrecidae (*Tenrec ecaudatus* et *Setifer setosus*) et certaines espèces d'oiseaux (*Coua caerulea*).
- Espèces envahissantes de *Rattus rattus* et *Mus musculus*. Espèces allochtones : *Viverricula indica*, *Felis silvestris* et *Canis lupus*.
- Exploitation : parcage de zébus, bois de feu, bois d'œuvre, miel.

### **c. Données disponibles**

Des assemblages de 2 scènes sont possibles à 3 ou 4 périodes :

- SPOT 2007, 20 m Sud (14/12/07) et SPOT 2008, 10 m Nord (04/10/08).
- 2 scènes SPOT 2004, 10 m (à la même date le 26/03/04).
- SPOT 1999, 20 m Sud (09/11/99) et SPOT 2000, 20 m Nord (17/04/00), et Landsat TM et ETM+, image 159/75, 17/10/99.
- 2 scènes SPOT 1986, 20 m (à la même date le 22/03/86).
- Décret de création de l'AP Andringitra en 1927 et inauguration en 1930.

Le couple de dates choisies est 1986-2008, pour suivre l'évolution avant et après labellisation UNESCO. L'étude de l'apport de la très haute résolution spatiale est en cours après les dernières acquisitions de SPOT à 2,50m avec comme date 04/10/2008, 29/04/2009 et 26/06/2009 pour réaliser la mosaïque d'images.

#### *d. État des limites*

- Etapes dans la délimitation : tracé entre lieux-dits, géoréférencement (GPS), matérialisation, bornage.

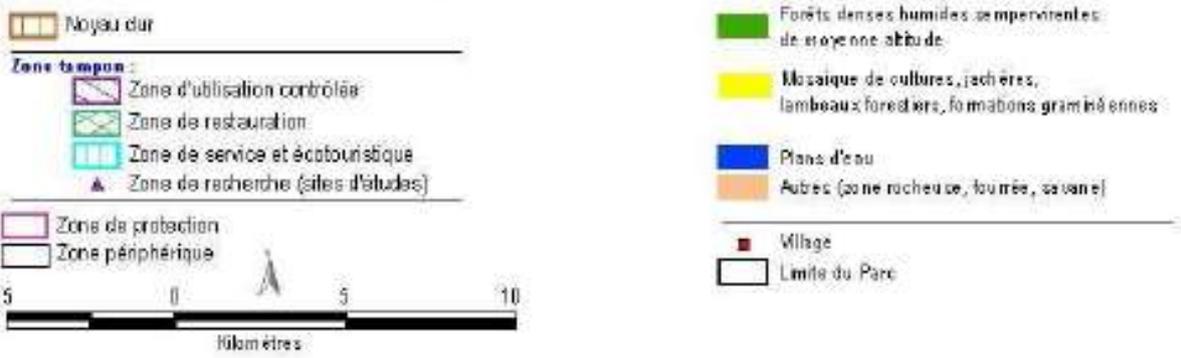
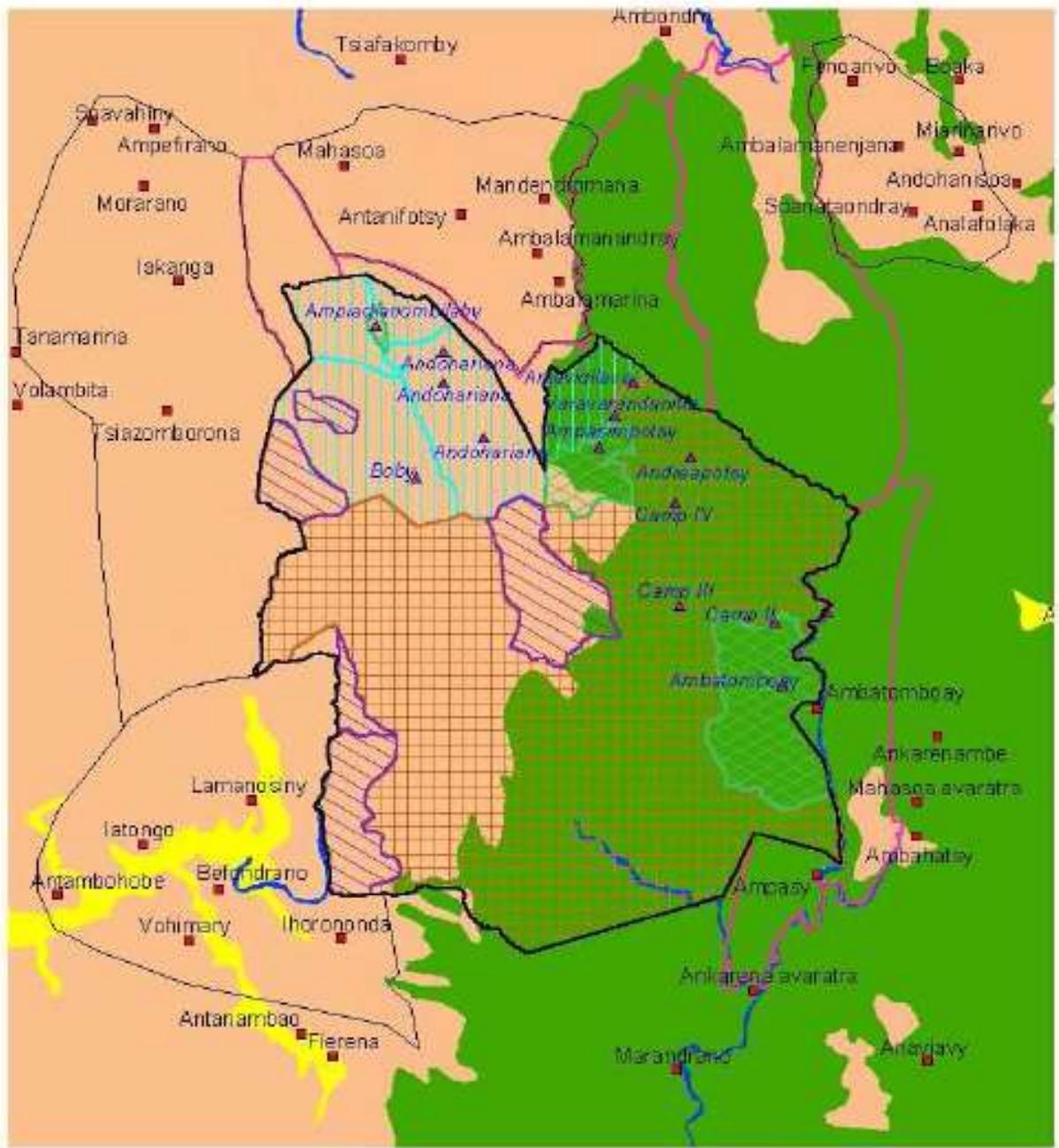
L'accès du parc se fait par les affleurements granitiques du Nord. La frontière Sud n'a pas été matérialisée car cette zone est impénétrable, ce qui explique son tracé linéaire. On distingue les zones de protection à l'Est des zones périphériques à l'Ouest.

La zonification interne du PN de l'Andringitra a été modifiée entre 2004 (Figure 5) et 2007 (Figure 6), globalement dans le sens d'une extension du noyau dur au centre et à l'Ouest et réduction au Nord afin d'ouvrir le circuit au pic de Bobby. La zone d'utilisation contrôlée au centre est intégrée dans le noyau dur et déplacée pour son usage dans la zone écotouristique, les zones d'utilisation contrôlées de l'Ouest sont maintenues. On aboutit donc à 5 zones d'utilisation contrôlée dont les contours ont été redéfinis. Les sites de recherche (campements et repères de Steve Goodman) sont répartis entre la zone rocheuse d'altitude à l'Ouest et la forêt de moyenne altitude à l'Est. Les zones dites « de restauration » sont des zones qui ont été anciennement défrichées.

**Figure 5a** : Carte du PN de l'Andringitra et du zonage. ANGAP 2004



**Figure 5b** : Carte du PN de l'Andringitra et du zonage. ANGAP 2007



## 5. La réserve spéciale du Pic d'Ivohibe

### a. Principales caractéristiques

Réserve spéciale du Pic de Ivohibe, WWF-Angap (WWF et KfW d'Allemagne). Inventaire faune, flore, au Pic Ivohibe et couloir à Andringitra fait en 1997 et publié en 1999 (Goodman & Rasolonamdrasana, 1999).

La réserve d'Ivohibe a été créée en 1964 par décret mais les bornes n'ont été placées qu'en 2001 et la délimitation n'est pas totalement achevée. La mise en place d'un plan de gestion et de conservation est très récente, alors que la forêt de moyenne altitude qui est la principale couverture forestière de la RS subit le feu sauvage et la coupe sélective dans la partie Nord-Ouest. Cette réserve est reliée au massif forestier par le corridor Andringitra – Ivohibe. Le maintien de cette connexion a été programmé pour la phase 2003-2007 du PAE et le zonage de ce corridor pour 2005.

Taille et localisation : Pic Ivohibe, 3145 ha, à 100 km à l'est de la ville d'Ihosy.

Accès depuis Fianarantsoa : 2h Ambalavao-Ihosy, 6h par temps sec Ihosy-Ivohibe, pas de référence sur Ivohibe–Vondrozo–Farafangana (8h de plus peut être). GTZ-WWF avec KfW. Fianarantsoa – Ihosy en 3 ou 4 heures et Ihosy – Ivohibe en 5 heures de route.

Accès à pied depuis Andringitra : environ 10 jours. Andringitra – rivière Ambatomboay, en traversant la falaise pour arriver sur la forêt de basse altitude ; longer la rivière jusqu'à Ampasy, Bekifata et Ivongo. Gîte (2 chambres à 2 lits) à Ivohibe même, à maximum 1h30 à pied des limites de la réserve. 5 agents dont 1 chef de secteur basé à Ivohibe, avec 1 moto.

### b. Menaces

Le couloir qui lie la réserve du Pic de Ivohibe au PN de l'Andringitra est important (Goodman & Rasolonandrasana, 1999). On constate un morcellement de la zone d'occupation contrôlée entre 2005 (figure 5a) et 2007 (figure 5b), autour d'Amontana, dont on ne sait pas au juste si elle résulte d'une délimitation plus précise ou réellement d'une réduction de taille entre les deux dates. Une autre zone d'occupation contrôlée a été dessinée, mais à l'extérieur du parc (zone de protection), à l'Ouest de Mantsakara, en 2007 alors qu'elle n'existait pas en 2004.

### c. Données disponibles

- Image SPOT (Figure 4, Tableau 1)

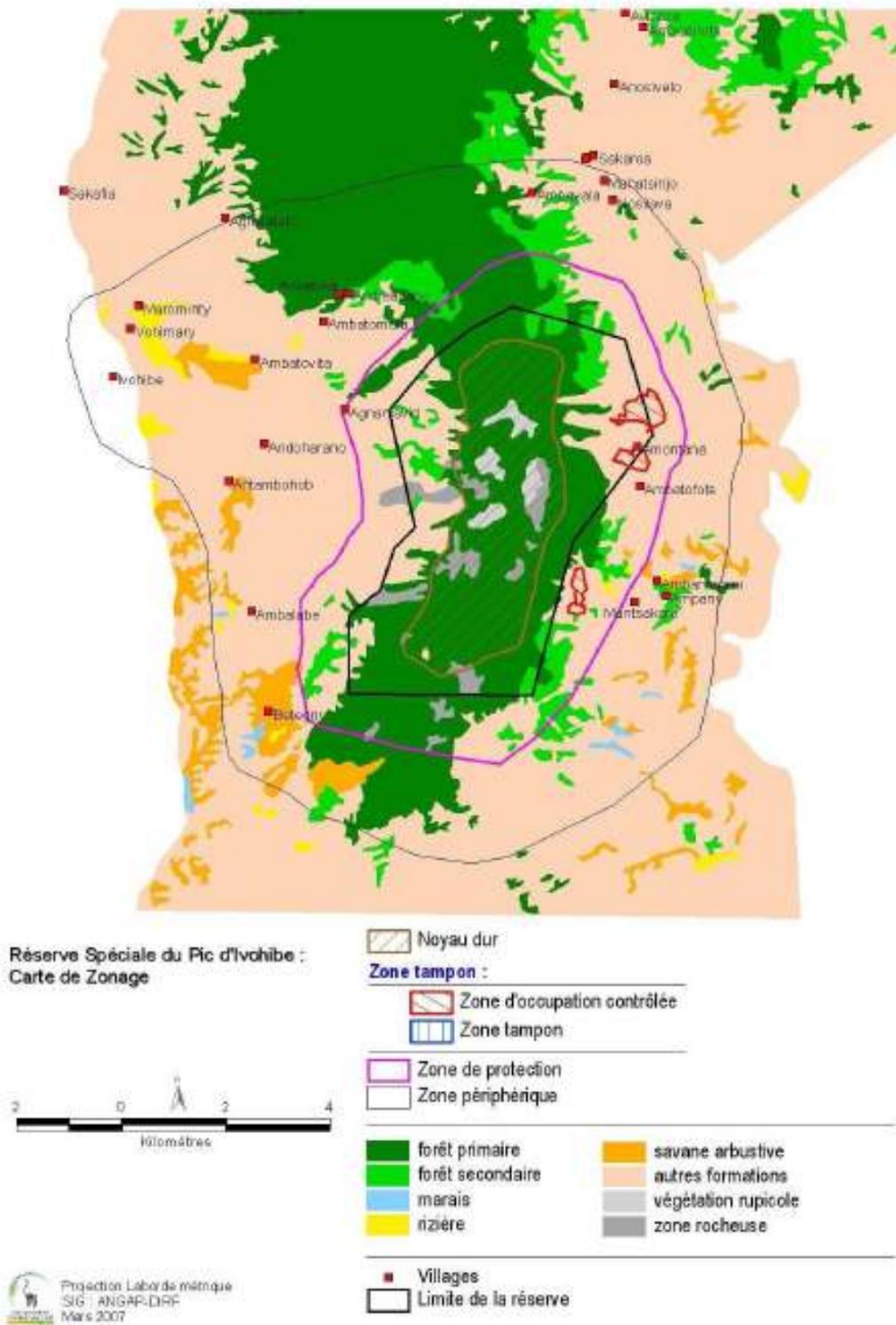
### d. Limites

Voir figure 7

- Etapes dans la délimitation : tracé entre lieux-dits, géoréférencement (GPS), matérialisation, bornage.

- Pas de carte FTM sur Andringitra-Ivohibe. Nouvelle délimitation sur Ivohibe : la matérialisation des limites sur le terrain a été changée, sans changer le décret pour autant.

**Figure 6 : Carte du Zonage de la réserve spéciale du Pic d'Ivohibe**



## II. COMPOSANTE 2 : Étude de cas

### 1. Cartographie de l'occupation du sol Parc National de Ranomafana

La labellisation comme patrimoine mondiale de l'UNESCO du Parc Ranomafana étant récente (2007), la réalisation d'un suivi à 3 dates (avant, au moment et après labellisation) n'est pas possible. Nous réaliserons donc un état des lieux avant labellisation et à l'époque de la labellisation.

Dans un premier temps nous avons réalisé la cartographie d'occupation des sols à partir de deux images SPOT 5, à 10 m de résolution, couvrant la totalité du parc, acquises le 26/03/2004.

Les images ont un niveau de prétraitement au niveau 2A, avec des corrections radiométrique des distorsions dues aux écarts de sensibilité entre les détecteurs élémentaires de l'instrument de prise de vue. Les corrections géométriques sont effectuées dans la projection cartographique standard (UTM WGS84 zone 38 Sud) sans prise de points d'appui.

#### a. Traitement d'images

##### **Corrections radiométriques**

- **Calibration des images :**

La calibration consiste à transformer les Comptes Numériques (CN) d'une image (0 à 255) en valeurs physiques absolues (radiance ou luminance) exprimées en  $W / (m^2 * sr * \mu m)$ . Ces valeurs de radiance seront ensuite comparables d'une scène à l'autre.

On converti le niveau de gris (CN) en luminance en utilisant les gains absolus fournis avec l'image SPOT. La conversion des valeurs numériques Spot en luminance se fait selon la formule :

$$L = \frac{CN}{A} + B$$

où :

L = luminance ( $W / (m^2 * sr * \mu m)$ )

CN = valeur numérique (de 0 à 225)

A = gain de calibration absolu, pour la bande spectrale considérée

B = biais de calibration absolu, pour la bande spectrale considérée (le bruit de fond)

Dans le format DIMAP SPOT Scene, A est le paramètre "PHYSICAL GAIN" et B, le paramètre "PHYSICAL BIAS". On les trouve dans le groupe "Image Interpretation" "Spectral Band Info" (fichier DIM «METADATA» de chaque scène).

- **Transformation en réflectance exo-atmosphérique :**

La luminance spectrale est convertie en réflectance effective au satellite (au-dessus de l'atmosphère). La transformation tient compte de la distance Terre-Soleil à la date de l'enregistrement de l'image, du rayonnement exo-atmosphérique solaire moyen et de l'angle solaire.

$$\rho = \frac{\pi.d^2}{E_{sun}.Cos(\theta_s)} L$$

$\rho$  : réflectance pour la bande spectrale considérée

$d$  : distance Terre-Soleil (en unité astronomique UA)

$L$  : luminance

$E_{sun}$  : constante solaire équivalente dans cette même bande spectrale, indiquée dans l'entête du fichier SPOT.

$\theta_s$  : angle zénithal solaire

Cette transformation permet une certaine normalisation radiométrique qui compense l'influence de l'élévation solaire qui varie avec la date, l'heure et le lieu. En absence d'informations ou de données sur les conditions atmosphériques, il n'est pas possible d'effectuer des corrections atmosphériques absolues.

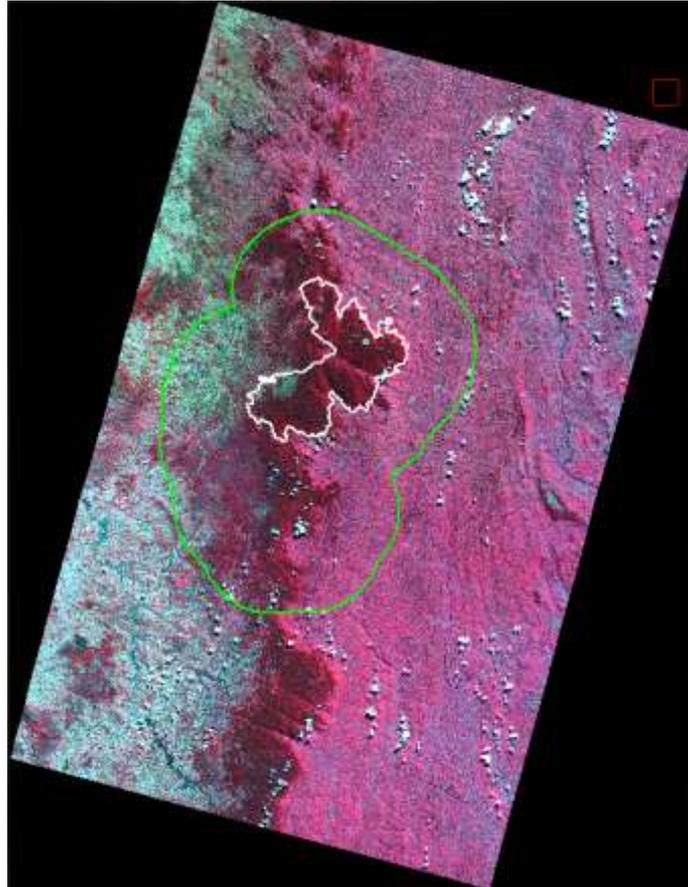
### ***Délimitation de la zone d'étude***

- **Mosaïquage des images**

Nous avons effectué une mosaïque des deux scènes pour couvrir tout le parc de Ranomafana ainsi que sa zone périphérique (Figure 9)

- **Extraction de la zone d'étude**

Nous avons délimité une zone tampon de 10 km autour du parc. Les traitements sont effectués par la suite uniquement sur les zones couvrant le parc et la zone tampon.



**Figure 7 :** limite du parc, buffer de 10 km autour sur la mosaïque d'images SPOT

### **Classification**

Nous avons adopté une classification supervisée sur la base de données terrain. Une visite de terrain a été effectuée au préalable pour localiser les zones d'entraînements.

#### Difficulté principale spécifique à la zone d'étude :

Nous sommes en zone de relief accentué, le premier problème rencontré est l'effet d'ombre sur les versants non exposés au niveau des images SPOT. Nous avons donc distingué lors de la classification entre forêt sur versant exposé et forêt sur versant non exposé (à l'ombre). Un regroupement des deux classes a été effectué par la suite.

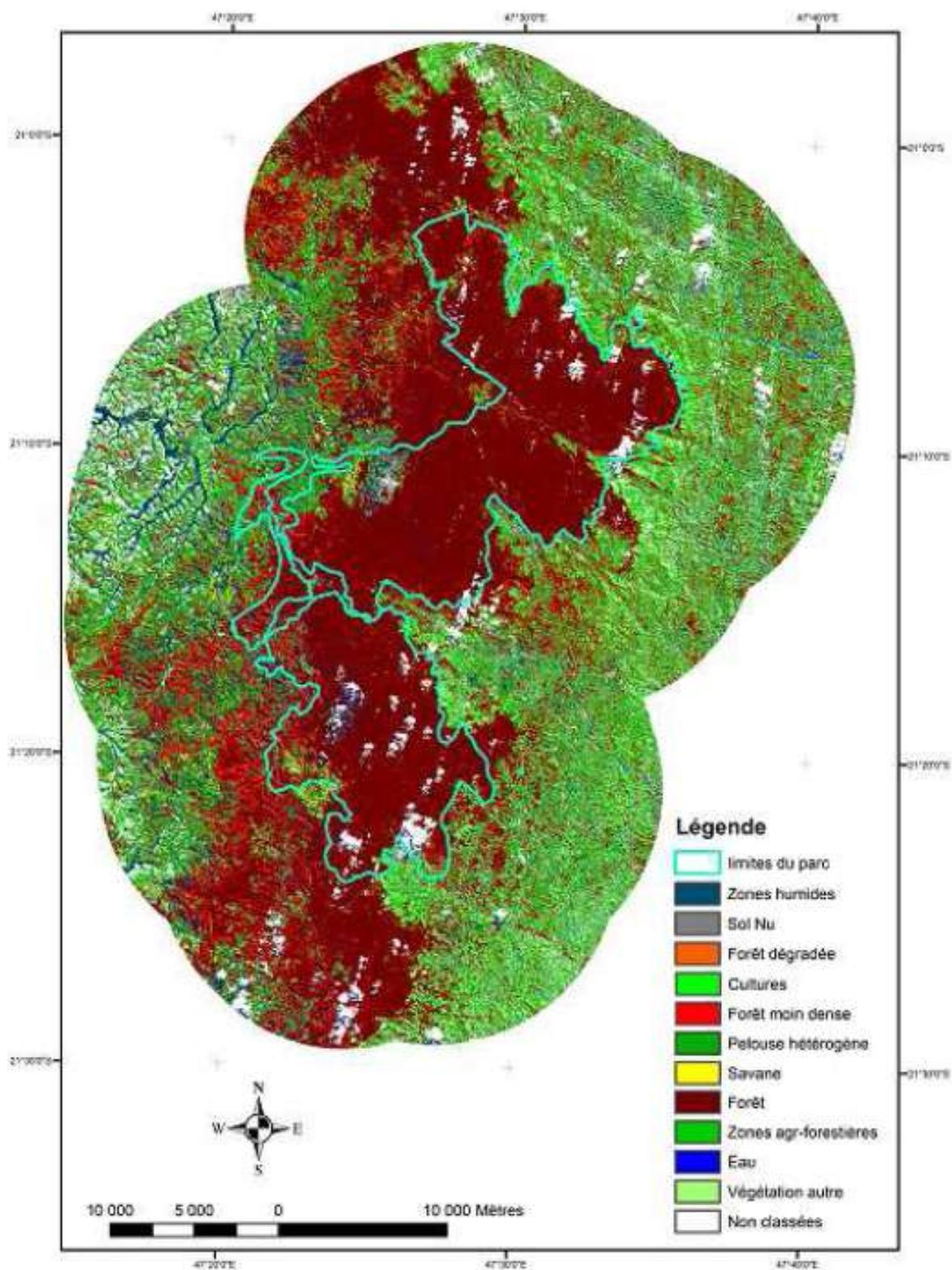
#### Etapes de la classification :

- Récolte de données terrain
- Choix de zones d'entraînement : plusieurs classes ont été choisies, au départ, correspondant aux zones d'entraînement repérées sur le terrain (Tableau 2). Cependant des confusions sont apparues lors de l'analyse de la séparabilité entre ces différentes classes. Nous avons donc effectué des regroupements entre classes qui permettent de dégager en priorité la séparation entre les occupations des sols, forêt et non forêt (Figure 10).

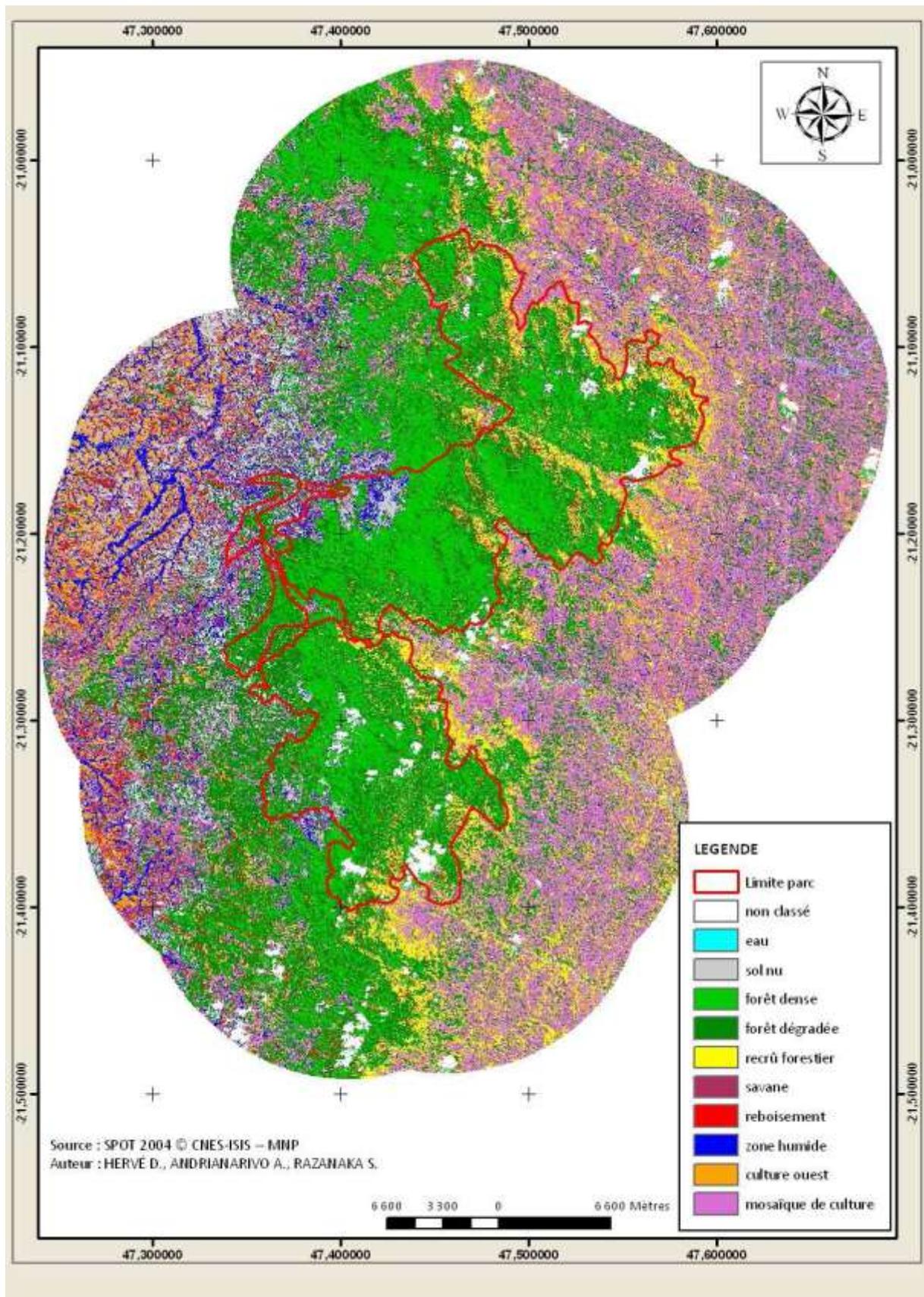
**Tableau 2** : Zones d'entraînements

Classe n°	Libellé
1	Reboisement eucalyptus
2	Forêt exposée
3	Affleurement rocheux
4	Forêt hétérogène
5	Zone humide
6	Sol nu : érosion
7	Sol nu : chemin
8	Forêt après feu
9	Végétation de zone humide
10	Forêt sous ombre
11	Culture sèche
12	Forêt moins dense
13	Végétation de bas-fond
14	Jeune recrû
15	Eucalyptus 1
16	Eucalyptus 2
17	Eucalyptus 3
18	Pelouse hétérogène
19	Savane
20	Pin
21	Forêt naturelle
22	Pin + eucalyptus
23	Très jeune recrû
24	Agro-foresterie
25	Recrû
26	Vieux recrû

**Figure 8a** : Carte d'occupation des sols extraite de la classification supervisée sur les images SPOT du 26/03/2004 (Ahmed BATTI)



**Figure 8b** : Carte d'occupation des sols extraite de la classification supervisée sur les images SPOT du 26/03/2004 (MEM)



- **perspectives**

La même classification sera réalisée sur les images SPOT 5 correspondant à la date de labellisation du parc (2007). La comparaison entre les deux classifications permettra de localiser les changements d'occupation de sol entre les deux dates.

**En complément aux activités menées, un rapport de mission d'Ahmed BATTI est présenté en annexe 1 montrant les démarches choisies et entreprises dans le cadre de ce projet (réunions, formations, travaux terrain, traitements, etc.)**

### ***Bibliographie***

Goodman S. M., and Rasolonandrasana B. P. N. (eds.), 1999. Inventaire biologique de la Réserve Spéciale du Pic d'Ivohibe et du couloir forestier qui la relie au Parc National d'Andringitra Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques, Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique, Antananarivo 15: 1-181.

Langrand O., et Goodman S. M., 1997. Inventaire biologique des oiseaux et des micro-mammifères des zones sommitales de la Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra. *Akon 'ny Ala* 20: 39-54.

Paulian R., Betsch J.M., Guillaumet I.L., Blanc C. et Griveaud P., 1971. RCP 225. Etudes des écosystèmes montagnards dans la région malgache. 1. Le massif de l'Andringitra. 1970-1971. Géomorphologie, climatologie et groupements végétaux. *Bulletin de la Société d'Ecologie II* (2-3): 198-226. Goodman S., 1996

Rakotondrainibe F. and Raharimalala F., 1996. The pteridophytes of the Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra. Madagascar., In S. M. Goodman, ed., A floral and faunal inventory of the eastern slopes of the Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra, Madagascar: with reference to elevational variation. *Fieldiana: Zoology, new series*, 85; 76-82.

Rasolonandrasana B. and Grenfell S., 2008. Le Parc Naturel de l'Andringitra. In Steven M. Goodman : langages naturels et biodiversité de Madagascar. WWF – Publications scientifiques du Museum, Paris, p. 559-569.

## **2. Cartographie de l'occupation du sol Parc National d'Andringitra – Réserve spéciale d'Ivohibe**

La labellisation comme patrimoine mondiale de l'UNESCO du Parc National d'Andringitra étant aussi récente que celle du Parc National de Ranomafana (2007), la réalisation d'un suivi à 3 dates (avant, au moment et après labellisation) n'est pas possible. Deux états des lieux seulement ont donc été réalisés avant labellisation et à l'époque de la labellisation.

Dans un premier temps, la cartographie d'occupation des sols a été réalisée à partir de deux images SPOT 5 (K-J : 169-394 et 169-395), à 10 m de résolution, acquises le 04/10/2008, couvrant la totalité des deux parcs, à l'aide de quelques points de validation pris sur le terrain en juillet 2009. Dans un second temps, une même cartographie d'occupation des sols a été tentée à partir de deux images SPOT 1 (K-J : 169-394 et 169-395), à 20 m de résolution, acquises le 22/03/1986, couvrant également la totalité des deux parcs.

Ces quatre images ont un même niveau de prétraitement 2A, avec des corrections radiométrique de base pour les distorsions dues aux écarts de sensibilité entre les détecteurs élémentaires de l'instrument de prise de vue. Les corrections géométriques de ce niveau 2A sont effectuées dans la projection cartographique standard (UTM zone 38 Sud, datum : WGS84) sans prise de points d'appui.

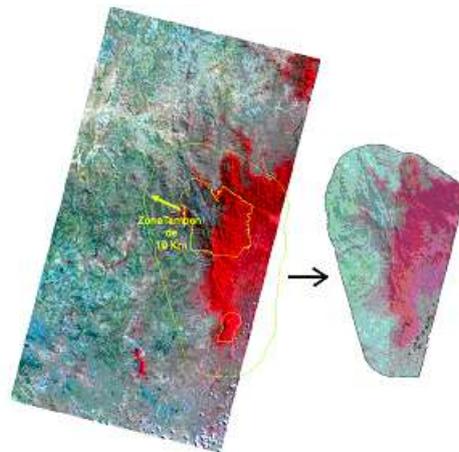
## a. Traitement d'images

### **Corrections radiométriques**

Les mêmes corrections radiométriques ont été réalisées que celles pour les images du Parc National de Ranomafana (Cf. a0: Calibration des images et Transformation en réflectance exo-atmosphérique).

### **Délimitation de la zone d'étude**

La délimitation de la zone s'est faite de la même façon que celle du Parc National de Ranomafana (Cf. 0 Mosaïquage des images et Extraction de la zone d'étude). Il n'y a pas eu besoin de recalage géométrique entre les deux images pour le mosaïquage puisque ces deux images étaient prises le même jour sur la même trace (le même K). Mais les mosaïques obtenues pour 2008 et 1986 présentaient un décalage géographique important, sans doute dû à la différence d'angle d'incidence de prise de vue entre 2008 et 1986, respectivement  $+13,46^\circ$  et  $-9,66^\circ$ , et étant donné l'importance du relief sur toute la zone d'étude.



**Figure 9** : Délimitation de la zone tampon de 10km autour d'Andringitra et d'Ivohibé, à partir de la mosaïque d'images SPOT

Ne disposant pas de cartes topographiques assez précises et fiables, ni de points GPS de recalage facilement identifiables sur les images, nous avons calculé un réseau hydrographique « théorique » à partir du MNT à 90 m (SRTM), sur lequel les rivières visibles sur les images ont été recalées à partir de 19 points d'amer. Le résultat obtenu a été jugé satisfaisant par un simple contrôle visuel.

La zone tampon créée sur une distance de 10 km autour des limites des deux zones protégées tombe en-dehors des images sur la partie est (figure 10).

## ***Classification***

La classification des images à partir de la mosaïque découpée s'est faite en plusieurs étapes :

1. le désennuagement, en délimitant manuellement les nuages et leurs ombres, ce qui a permis d'exclure ces zones lors des différents traitements réalisés par la suite pour les deux dates ;
2. la méthode de classification utilisée est de type supervisée par maximum de vraisemblance. Les parcelles d'apprentissage ont été délimitées par simple photo-interprétation (les points de validation de terrain sont arrivés très tardivement, et il existait toujours un doute sur la précision du géoréférencement).
3. La dynamique radiométrique étant faible pour les images de 1986, avec en moyenne seulement 33 valeurs de compte numérique sur les 256 possibles par bande, la sélection des classes pour cette date s'est donc faite l'une après l'autre (extraction de la classe validée de l'image par masquage, puis nouvelle classification). De plus, pour cette même raison (faible dynamique radiométrique), les classes finales retenues pour faire la comparaison 1986-2008 sont celles de 1986, alors que pour les images de 2008 la classification n'a pas posé de problème particulier, la radiométrie étant de bonne qualité. D'autre part, puisque les saisons sont très différentes pour les deux dates (saison sèche et saison humide), cela implique des occupations des terres très différentes dans les zones de culture (surface nue des champs / cultures en plein développement), ce qui est moins le cas pour les zones hors emprise agricole, encore moins pour les forêts. Cas particulier des rizières : pour éviter leur confusion avec les éricacées, une segmentation de l'image a été réalisée en créant une zone tampon de 1 km autour du réseau hydrographique « théorique » issu du MNT ; puis les 2 secteurs ont été interprétés différemment : l'un avec ou sans éricacées / l'autre avec ou sans rizières.

Les classes finalement retenues pour pouvoir suivre l'occupation du sol en 1986 et 2008 sont données dans le tableau 3. Elles permettent de dégager en priorité la séparation entre ce qui est forêt et ce qui est non forêt.

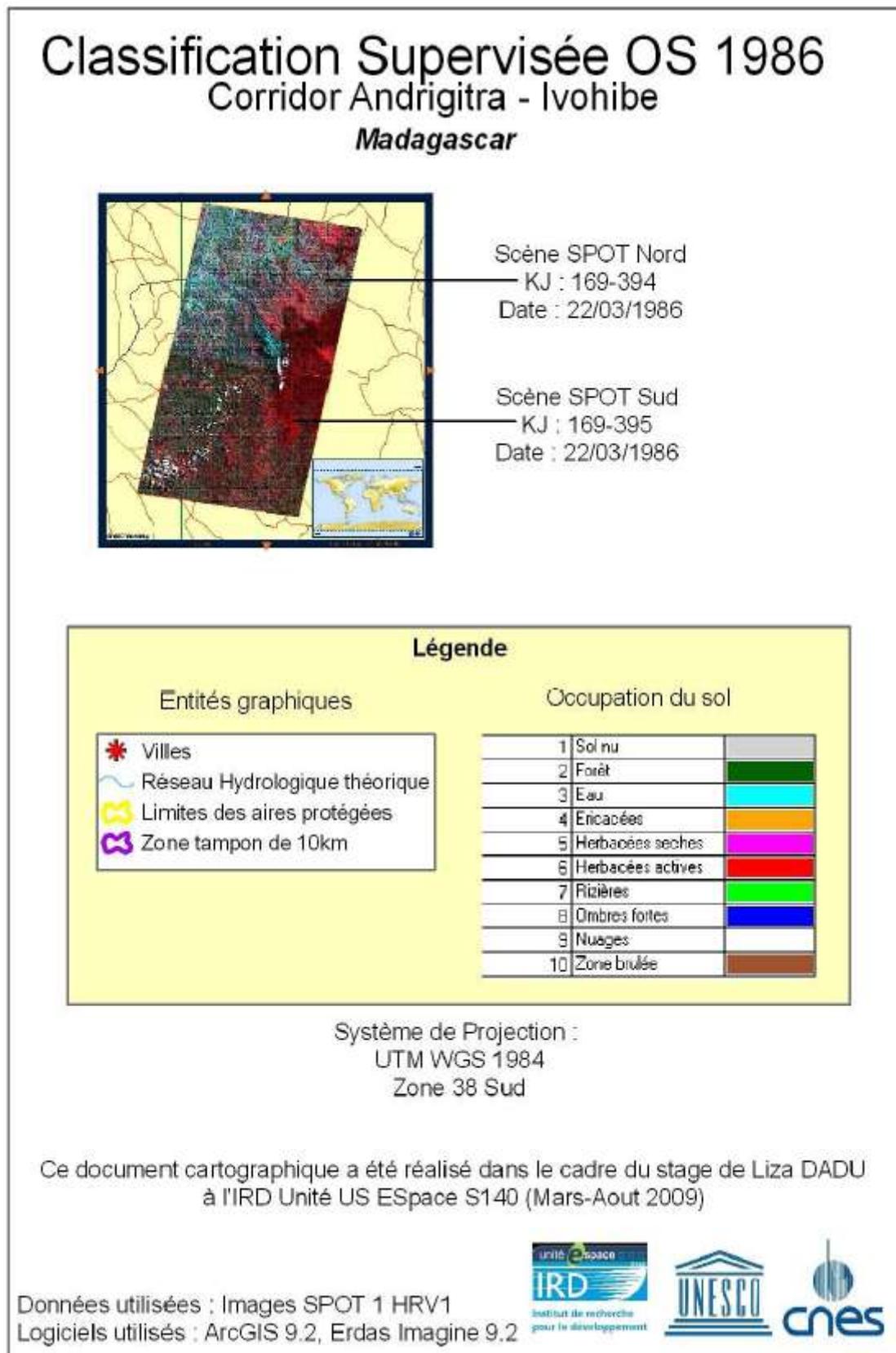
Une étape de post-classification a consisté à faire un nettoyage en faisant passer un filtre majoritaire 3x3 sur tout le raster obtenu, les pixels isolés sont ainsi éliminés.

**Tableau 3** : Nomenclature finale des classes d'occupation du sol

	Classe		Relevé de terrain
1	Sol nu		Massif granitique / Pic Bobby / végétation rudérale / Banc de sable / Village
2	Forêt		Forêt d'altitude 10-15m / Forêt de moyenne altitude / Forêt primaire > 30m / Forêt secondaire / Forêt dense 10-20m ou > 20m / Forêt basse / Forêt dégradée / liane / Pandanus / Filipia / fougère arborescente / Forêt claire / Défriches / Ravenale / Bambou 10-20m / Eucalyptus / Lambeaux de forêt
3	Eau		Rivière
4	Ericacées		Ericacées
5	Herbacées sèches		Pelouse / Herbe / Savane
6	Herbacées actives		Fougères / Mousses / Joncs / Zone agricole / Culture sur versant / Terrasses / Marais / Défriches / Cannes / Manioc / Longosa / Jachère post-riz sur brûlis / Café / Banane
7	Rizière		Rizière
8	Ombre forte		-
9	Nuage		-
10	Zone brûlée		Marais qui brûle

Les cartes finales d'occupation du sol en 1986 et 2008 sont présentées avec les figures 11 et 12.

**Figure 10a** : Carte d'occupation des sols d'Andringitra et Ivohibe en 1986 (Liza DADU)



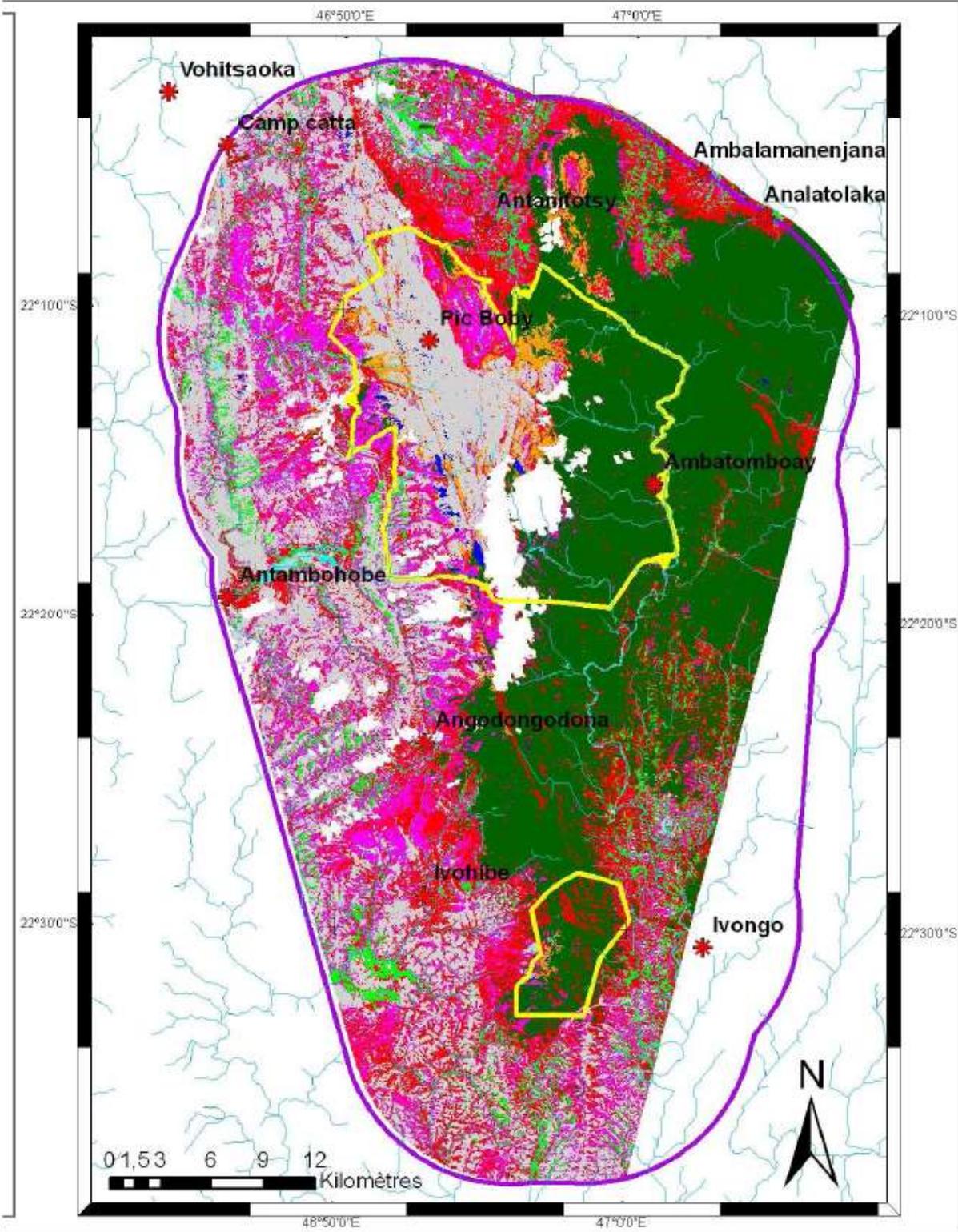


Figure 10b : Carte d'occupation des sols d'Andringitra et Ivohibe en 1986 (MEM)

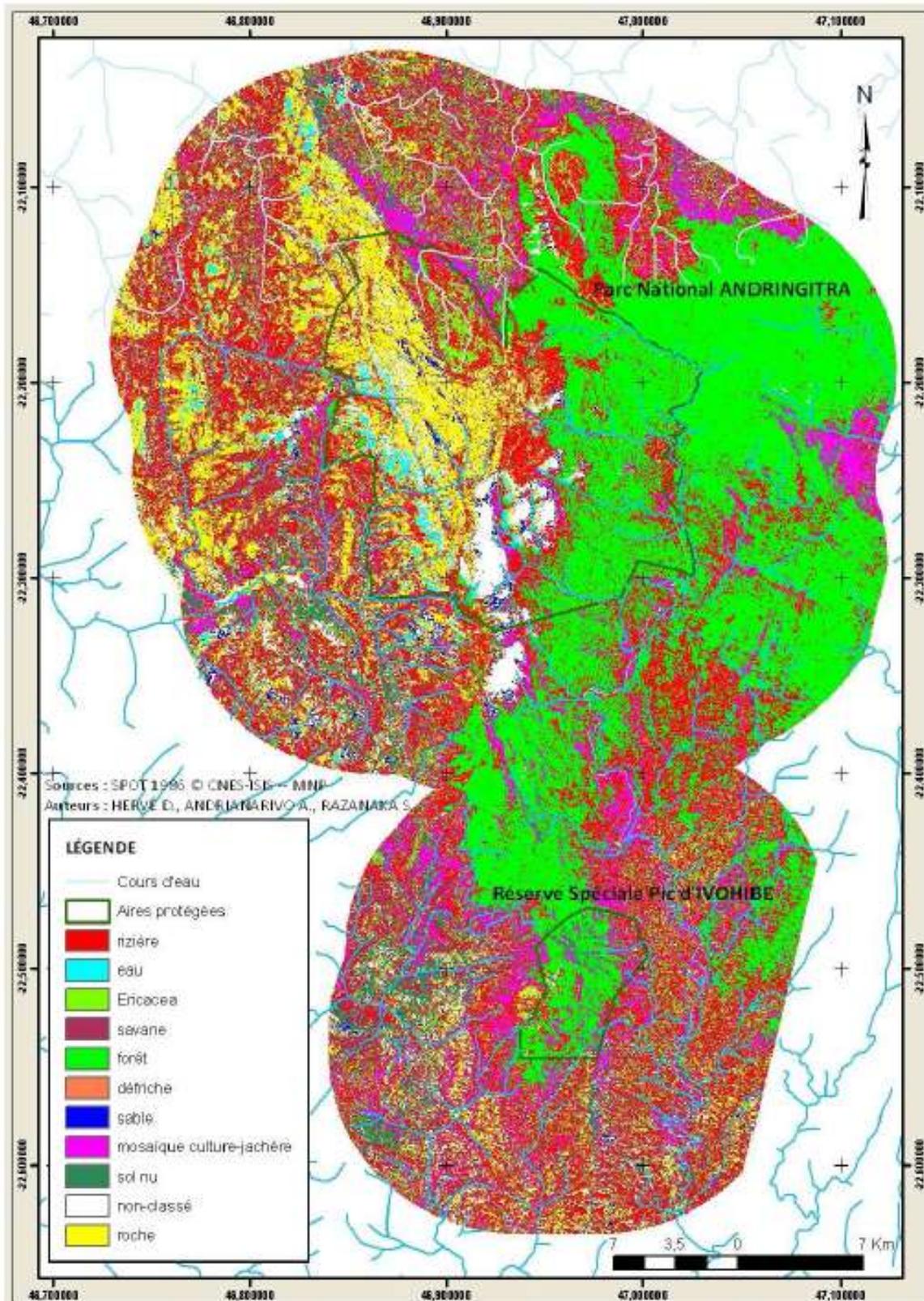
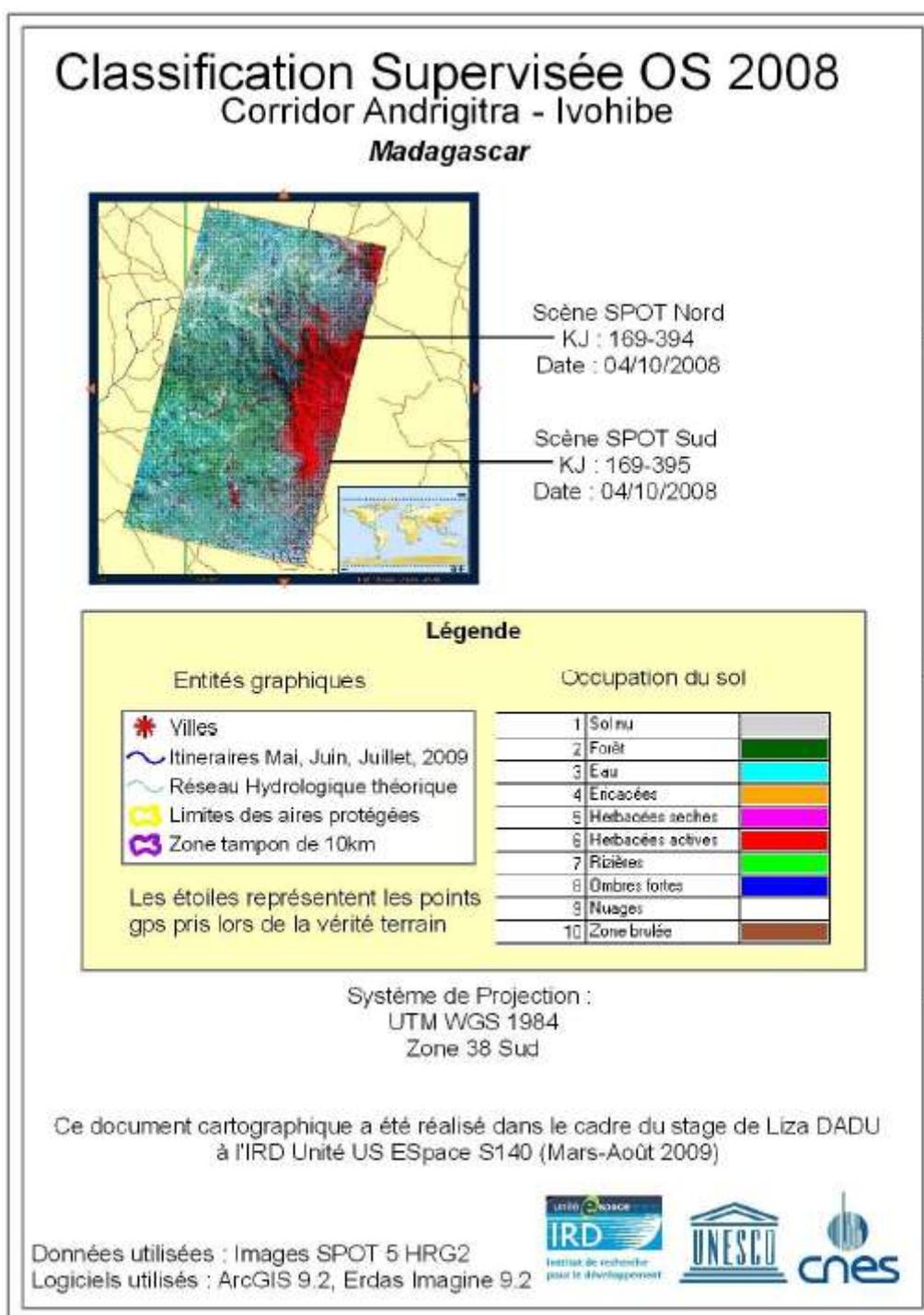
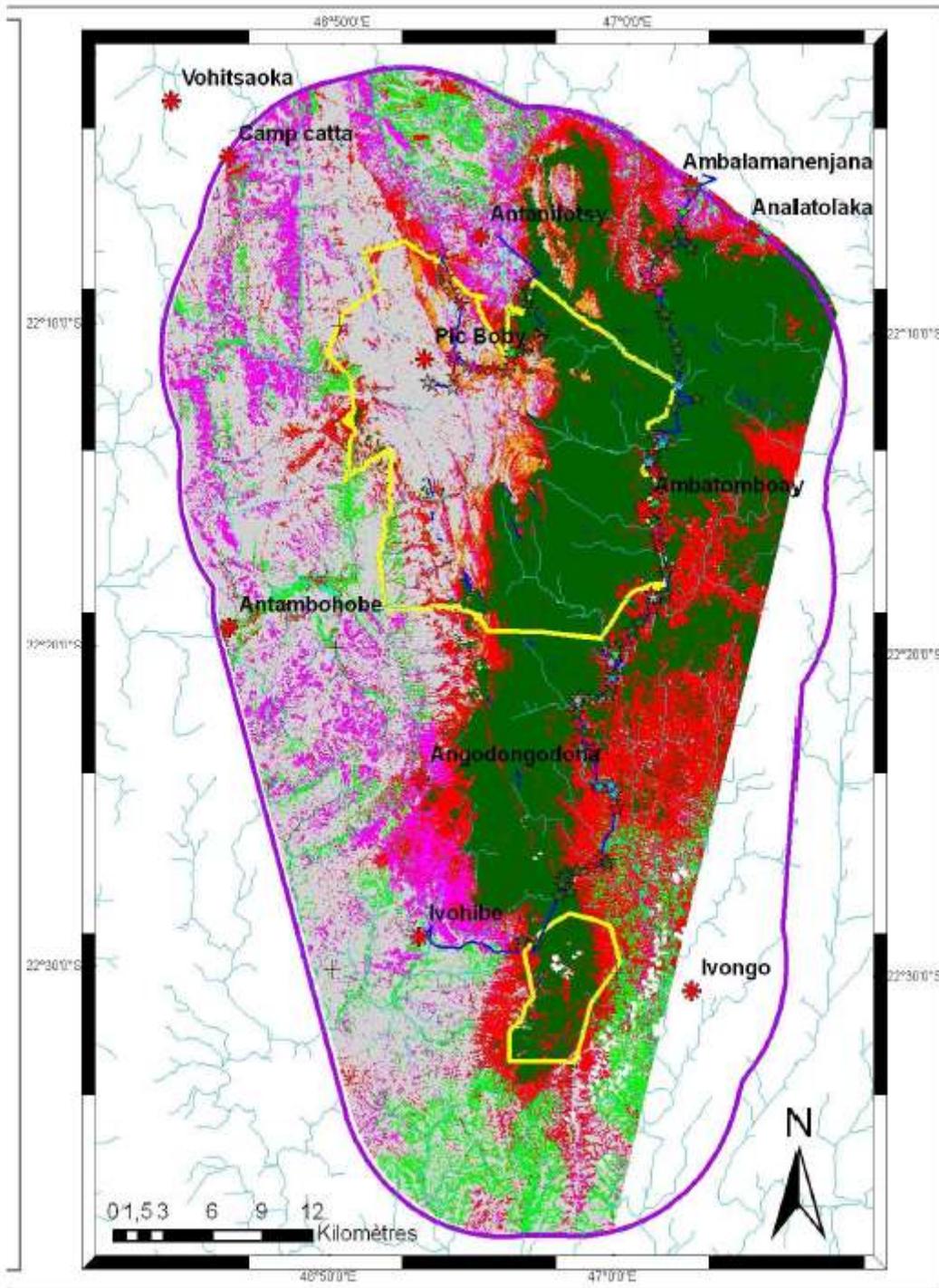
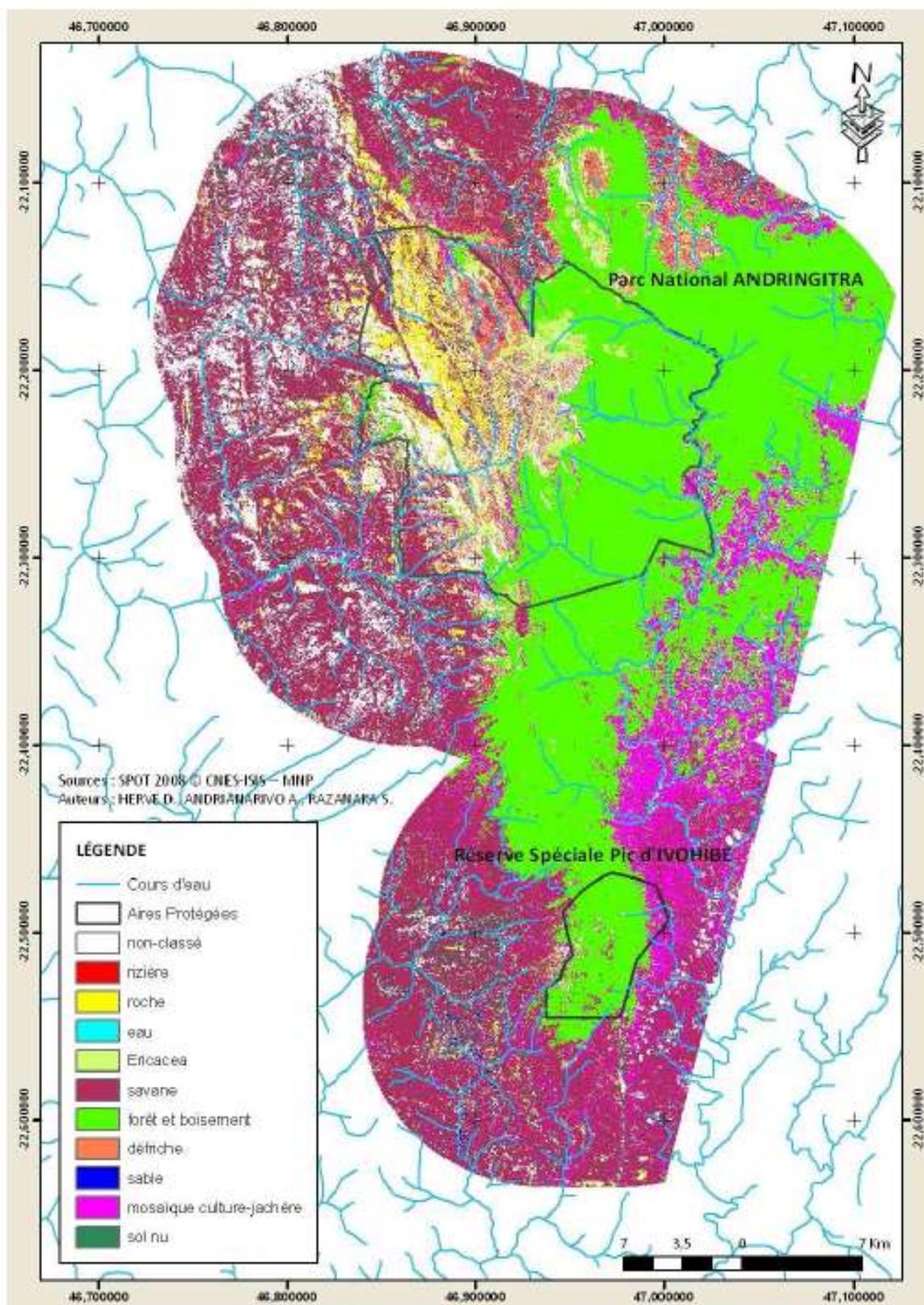


Figure 11a : Carte d'occupation des sols d'Andringitra et Ivohibe en 2008





**Figure 11b** : Carte d'occupation des sols d'Andringitra et Ivohibe en 2008 (MEM)



## Détection des changements

La carte des changements retenue a été faite par simple comparaison des deux classifications puisqu'elles ont la même typologie (Figure 15). Elle ne concerne que les changements des forêts : 1) ce qui n'était pas forêts et qui est devenu forêt, 2) ce qui était forêt et qui est resté forêt, 3) ce qui était forêt et qui n'est plus forêt. Le détail des changements classe par classe permet de faire des hypothèses sur les causes des changements, en particulier s'il s'agit de mise en culture ou non.

**Tableau 4** : Les superficies relatives de déforestation et reforestation sur Andringitra et Ivohibé

	Site		ZT	ZE
	ANDRINGITRA	IVOHIBE		
déforestation 1986-2008 (%)	3	15	6	6
reforestation 1986-2009 (%)	0	0	1	0

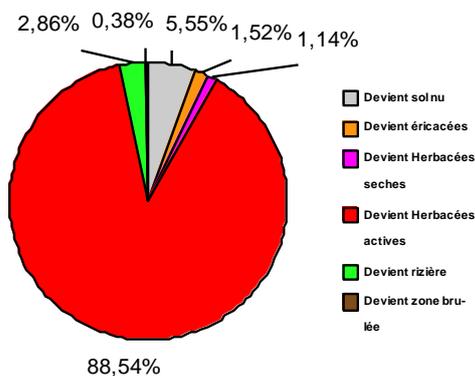
ZT : zone tampon ; ZE : zone d'étude (sites et ZT)

Sur la carte des changements forestiers, on voit très nettement que la disparition des forêts se fait principalement à l'Est et au Nord. En zoomant selon les secteurs, on se rend compte que cette déforestation se fait surtout à proximité des villages, aussi bien le long des rivières (mise en cultures à proximité de l'eau), que sur les versants. Le calcul des surfaces montrent que la déforestation a été de 5560ha en 22 ans, soit la disparition de 10% de la forêt pour cette région, ce qui donne un taux annuel de 0,45% (253ha/an).

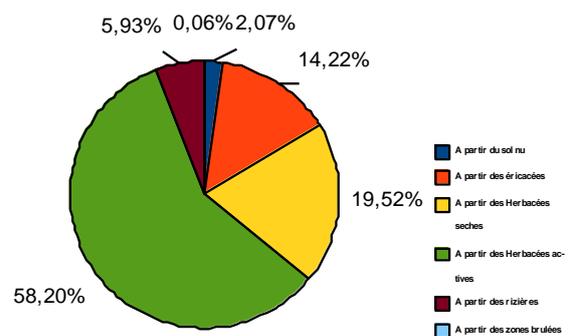
En calculant les superficies relatives des changements, on observe pour la déforestation que c'est surtout le remplacement par des « herbacées actives » qui dominent à plus de 88% (Figure 13). D'après la validation du terrain (Tableau 3), cette classe correspondrait essentiellement à des cultures. Pour la reprise forestière (Figure 14), elle se ferait surtout par des « herbacées actives » (>58%), et aussi à partir des « herbacées sèches » (>19%), puis à partir des « éricacées » (>14%).

Ces résultats restent préliminaires pour le moment et sont donc à prendre avec certaines précautions : la validation des classifications à partir d'observations de terrain n'a pas pu être aussi performante que souhaitée à cause de la qualité du géoréférencement et de l'inaccessibilité du terrain ; de plus, la qualité radiométrique des images de 1986 limite la séparabilité des classes.

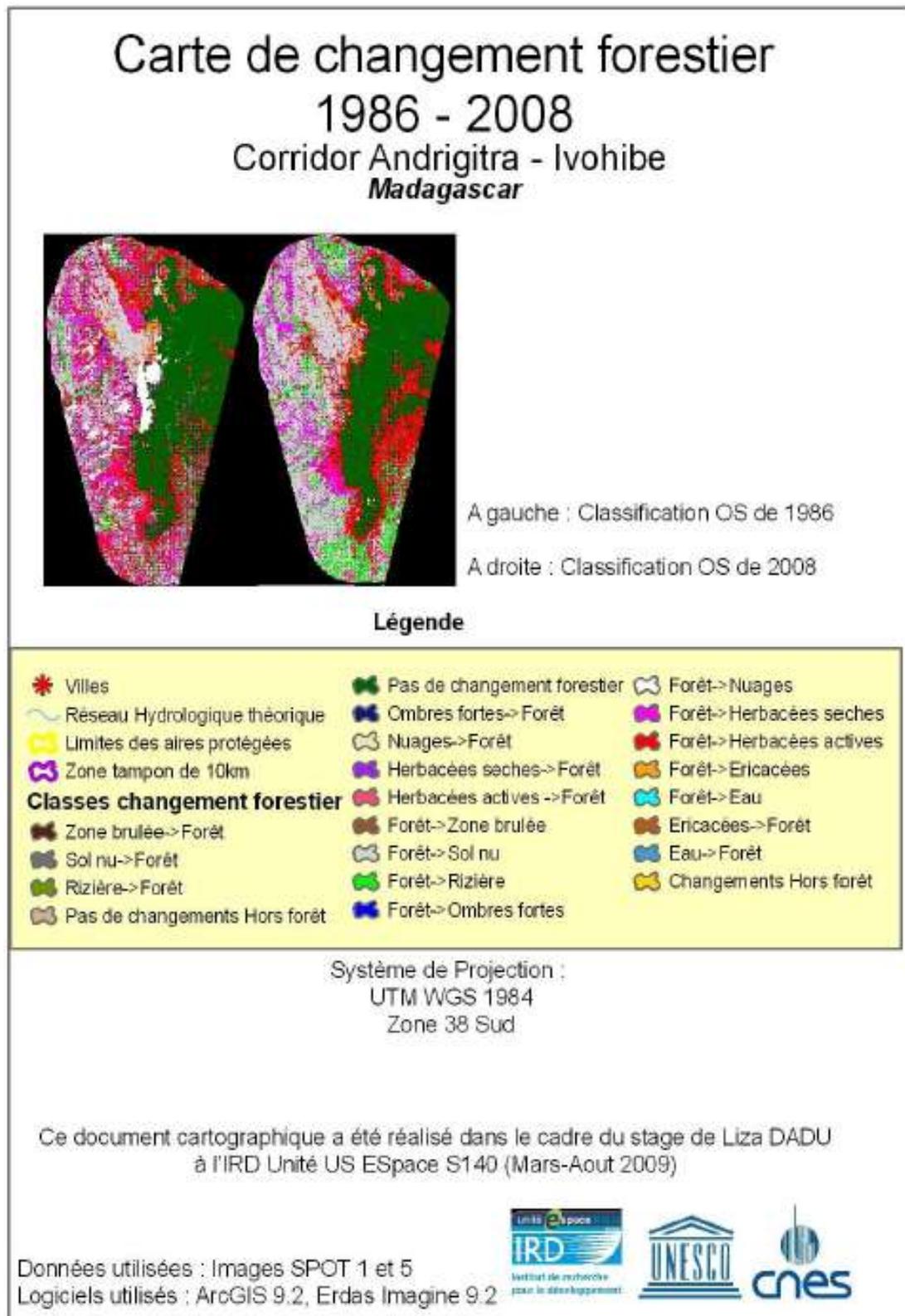
**Figure 12** : La déforestation sur Andringitra – Ivohibe

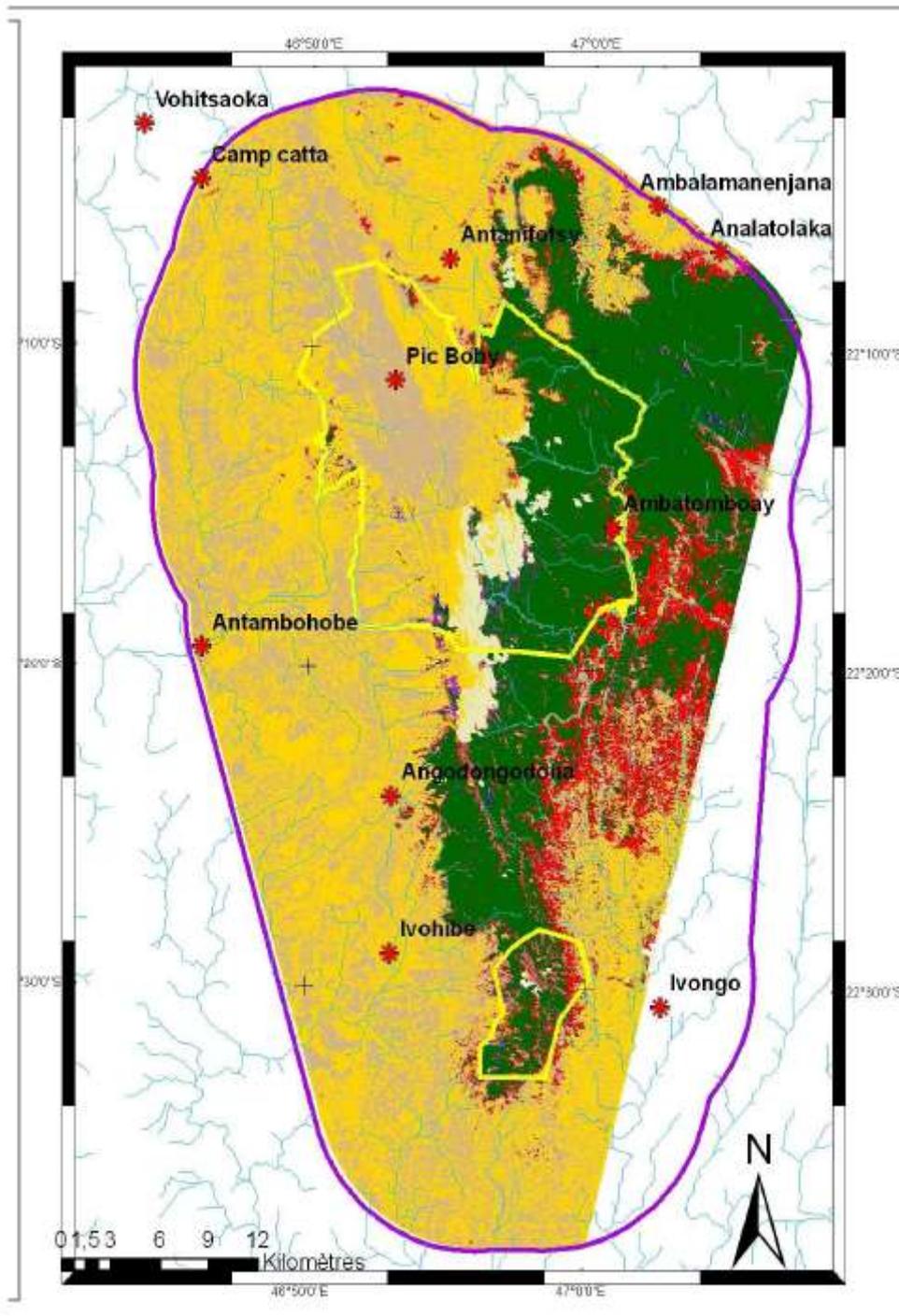


**Figure 13** : La reprise forestière sur Andringitra – Ivohibé



**Figure 14 :** Carte de changement forestier par comparaison de classification 1986-2008





## **Bibliographie**

Dibi N'Da H., Kouakou N'Guessan E., Egnankou Wadja M., Affian K., 2008. Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de Marahoué (Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, 8(1), pp. 17-34.

Laskowski P.H., 1989. Incorporating the Laborde projection into an existing software package. Proceedings : « International Symposium on Computer-Assisted Cartography », 2-7 April 1989, Baltimore, Maryland, pp.850-857.

Soti V., Tran A., Bailly J.S., Puech C., Lo See D., Bégué A., 2009. Assessing optical Earth Observations Systems for mapping and monitoring temporary ponds in arids areas. *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), pp. 344-351.

## **B. Formation en télédétection**

1) Janvier 2009 : Ahmed Batti (16-31/01/09)

Au cours de sa mission en janvier 2009, Ahmed Batti a donné des formations en télédétection, sous forme de cours magistraux et de travaux pratiques, ciblés pour des techniciens et ingénieurs travaillant au service des parcs nationaux.

2) Mars 2009: IOGA, Antananarivo (9-13/03/09)

3) Novembre 2009: Atelier National Télédétection, Formation OTB (11-12/11/09)