Identification des systèmes agro-écologiques par télédétection en Région Itasy

Projet Mahavotra

RAZAFIPAHATELO Daulphin[**] et RAKOTOMALALA Fety Abel[+]

[*] Geo-Space Madagascar

[**] Institut & Observatoire de Géophysique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo

(+) Etc Terra

15 Novembre 2015

Sommaire

Liste des figures 3
Liste des tableaux 3
Liste des abréviations 4
Introduction 5
Contexte d'étude 6
I. Le projet Mahavotra 6
II. Zone d'étude 6
Méthodologie 8
I. Typologie de l'occupation du sol et de l'usage des terres 8
III. Données utilisées 11
IV. Prétraitement des données 12
V. Classification orientée objet d'images 12
1. Segmentation de l'image 13
2. Classification des objets 13
VI. Post-classification 15
VII. Validation des résultats de la classification 16
Résultats 17
I. Arbre de décision et classification 17
II. Validation des cartographies 19
III. Résultats des cartographies d'occupation et d'usages des terres 20
Discussion 23
I. Qualité de la cartographie d'occupation des sols 23
II. Choix des images satellites 23
III. Cartographie des usages des terres 23
IV. Approche orientée-objet 24
Conclusion 26
Références 27
Annexes 29
Annexe A: Fiche projet 29
Annexe B: Tableau de paramétrage de segmentation d'images 29
Annexe C: Seuils par zone 30
Annexe D: Matrices de confusion - étude échelle communale 36
Annexe E: Résultats obtenus à l'échelle ZPC 36

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la zone d'étude 7
Figure 2: Principe de segmentation d'images, à gauche l'image pixel et à droite l'image segmentée .13
Figure 3: Principe de la classification orientée objet 13
Figure 4: Exemple d'un arbre de décision hiérarchique. Les arbres de décision appliquée dans ces études sont présentés en Annexe C.....14
Figure 5: Illustration d'un résultat de lissage et fusion de polygones.....15
Figure 6: Illustration du principe de validation de la classification.....16
Figure 7 :Exemple de l'arbre de décision déterminé pour la classification à l'échelle communale.....17
Figure 8 : Carte d'occupation du sol obtenu à l'échelle de la région Itasy.....18
Figure 9 : Carte d'usages des terres à l'échelle du Fokotnay (Amboara, Tsenamasoandro, Ambohimanarivo, Fonenana). Les autres cartographies sont présentées en Annexe D. 18

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques des ZPC et fokontany 7

Tableau II: Typologies adoptées pour l'occupation du sol à l'échelle communale (adaptées d'après GIEC, 2006) 8
Tableau III: Typologies adoptées pour l'usage du sol à l'échelle Fokontany 10
Tableau IV : Caractéristiques spectrale et spatiale des images SPOT 5 utilisées 12
Tableau V: Dates et saisonnalités des images utilisées.....12
Tableau VI: Les indices radiométriques utilisés et leur formule 14
Tableau VII : Liste des indices utilisés pour établir les arbres de classification 15
Tableau VIII : résumé des matrices de confusion. 19
Tableau IX : Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol 20
Tableau X : Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol pour les communes Alatsinainikely, Ambohitrambo, Ampahimanga et Analavory 21
Tableau XI: Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol pour les communes Ankaranana, Arivonimamo II, Imerintsiatosika et Miarinarivo 21
Tableau XII : Résultats des surfaces par fokontany 22
Tableau XIII: Avantages et désavantages de la méthodologie choisie.....25
Tableau XIV : livrables attendus 29
Tableau XV: Bande spectrale et indices utilisés lors de la classification des images à l'échelle communale 30
Tableau XVI: Bande spectrale et indices utilisés pour la classification des images pour la ZPC Amboara 31
Tableau XVII: Bande spectrale et indices utilisés lors de la classification des images pour la ZPC Ampasamanatongotra.....33
Tableau XVIII: Indices utilisés lors de la classification des images pour la ZPC Andranomody.....34

Liste des abréviations

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

GDEM : Global Digital Elevation Model

GSM : Geo-Space Madagascar

IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo

MAHAVOTRA : Mamboly Hazo sy Voankazo Antoky ny Tontolo Rahampitso / Planter des arbres et des fruiters pour garantir l'environnement de demain

MNT : Modèle Numérique du Terrain

SPOT : Satellite Pour l'Observation de la Terre

SRI : Système de Riziculture Intensif

SRA : Système de Riziculture Amélioré

USGS : United Stats Geological Survey

ZPC : Zone Pilote à Cartogrophier

Introduction

La plupart des agriculteurs de la région Itasy s'adonnent encore aux pratiques agricoles traditionnelles comme dans beaucoup d'autres régions de Madagascar. Ces pratiques puisent les éléments nutritifs du sol sans pour autant les remplacer. De ce fait, le sol s'épuise progressivement et par conséquent le rendement agricole diminue au fil des années, augmentant l'insécurité alimentaire. Les pratiques agroécologiques permettent d'améliorer les rendements agricoles tout en préservant l'environnement et l'écosystème (Agrisud, 2010). Certaines pratiques agricoles (agroforesterie, compostage, etc.) permettent également de stocker du carbone dans la biomasse et dans le sol (Lal, 2004). L'objectif du projet « Agroécologie et foresterie paysannes en Itasy » (dit Mahavotra) vise à diffuser des systèmes de pratiques agroécologiques auprès des exploitations agricoles familiales afin d'améliorer leur productivité. Néanmoins, le déploiement de ces pratiques nécessite au préalable la connaissance des modes d'usages des terres dans la région afin d'inventorier les surfaces agricoles et les surfaces disponibles pour leur mise en oeuvre. Bien que le recensement des modes d'usages des terres soit difficile à réaliser sur le terrain, l'émergence de nouveaux types d'images satellite et l'apparition de nouvelles méthodes de traitement laissent entrevoir de nouvelles opportunités d'une détection automatique de ces types d'usages. La télédétection constitue ainsi un moyen technique adapté pour répondre à ce type de besoins.

L'objectif de cette étude est d'élaborer une méthodologie fiable et reproductible d'identification des modes d'usage des terres à partir d'images satellite, en particulier les systèmes agroécologiques afin d'évaluer par la suite les surfaces de mise en oeuvre. La finalité est de proposer un système de suivi et rapportage des activités agricoles à l'échelle de la région à Madagascar.

Le présent rapport décrit l'approche qui nous a permis d'évaluer et de présenter les résultats d'étude sur les surfaces des différents modes d'usage selon deux échelles : l'échelle régionale et l'échelle fokontany.

Ce travail a été réalisé à travers une collaboration tripartite entre l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), l'association Geo-Space Madagascar (GSM) et l'association ETC Terra et a duré environ trois mois (voir TdR annexe 1)

Contexte d'étude

I. Le projet Mahavotra

Dans le cadre du projet Mahavotra, deux volets d'étude ont été mis en œuvre pour le développement de méthode d'analyse et de suivi de l'impact carbone du projet :

- Le Développement de méthodes d'analyse et de suivi de l'impact carbone du projet avec l'appui d'instituts de recherche (Activité 3) à travers notamment des travaux d'analyse de l'empreinte carbone des exploitations agricoles, du potentiel de séquestration des plantations et de la dynamique des stocks de carbone du sol en fonction des pratiques culturales ;

- La Définition des meilleurs méthodes/outils permettant d'assurer le suivi carbone de projets à l'échelle régionale par télédétection.(Activité 4.2) ;

La présente étude est l'aboutissement de cette activité est s'inscrit notamment dans la continuité des analyses cartographiques préalables effectuées sur les pratiques agroécologiques mises en place dans les zones du projet. Elle apporte une nouvelle approche méthodologique en télédétection pour assurer le suivi, la vérification et le rapportage de l'impact carbone du projet.

Il est a noté que la télédétection a, en début de projet, également été mobilisée sur une activité d'identification des facteurs d'adoption des nouvelles pratiques. Cette étude a fait l'objet d'un rapport de stage d'un master 2 en 2012 (Raharimanana, 2012).

A terme un objectif complémentaire serait, à partir de l'ensemble des travaux et des retours terrain des appuis et accompagnements des bénéficiaires de produire des cartes décisionnelles des zones potentielles de diffusion de l'agroécologie sur un territoire élargi.

II. Zone d'étude

Les activités du projet Mahavotra, dans lesquelles s'inscrit cette étude, sont mises en œuvre sur 8 communes de la région d'Itasy, (moyen ouest de Madagascar) : Alatsinainikely, Ankaranana, Analavory, Miarinarivo II, Arivonimamo II, Imerintsiatosika, Ambohitrambo et Ampahimanga (Figure 1). Cette région présente les caractéristiques géographiques suivantes :

1 - climat d'altitude des hautes Terres malgaches ;

2 - sol du type volcanique, ferralitique et alluvial dans les bas-fonds.

Outre l'ensemble de la zone d'étude, quatre zones pilotes à cartographier (ZPC) (Figure 1) ont été délimitées selon la concentration des activités mises en œuvre par le projet et les délimitations des fokontany. Ces ZPC sont des zones de référence où le projet effectue des analyses scientifiques régulières sur l'impact de l'intervention du projet dans la région. Elles se trouvent dans quatre communes, à savoir : Imerintsiatosika, Miarinarivo II, Analavory et Alatsinainikely.

Le tableau I montre les caractéristiques des ZPC.

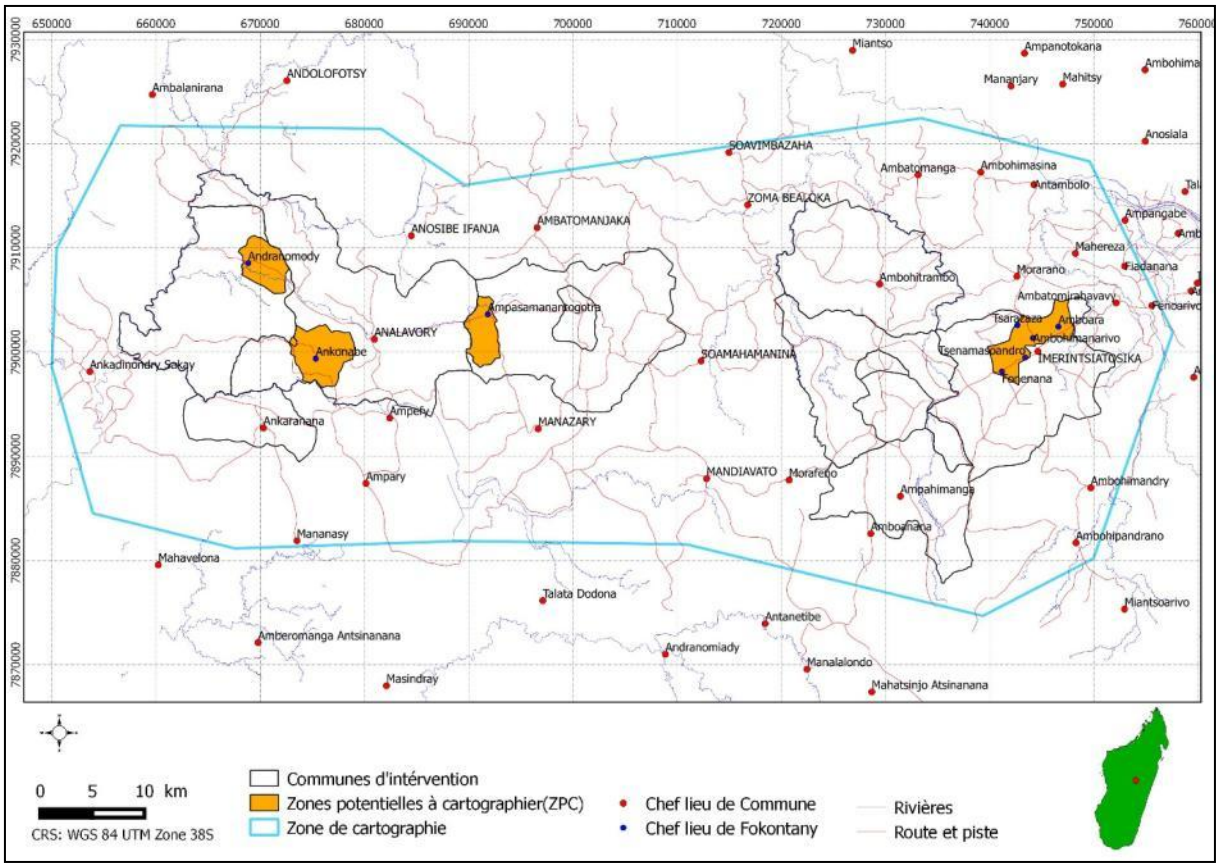


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Tableau I : Caractéristiques des ZPC et fokontany

ZPC	Fokontany	Communes	Surface [ha]	Type de sols dominant
Imerintsiatosika	Amboara,*Tsenamasoandro, Ambohimanarivo, Fonenana	Imerintsiatosika	2 597	Ferralitique rouge
Ampasamanatongotra	Ampasamanatongotra	Miarinarivo II	1 567	Ferralitique rouge
Andranomody	Andranomody	Alatsinainikely	1 748	Volcanique (sol brun)
Ankonabe	Ankonabe	Analavory	2 635	Volcanique (sol brun)

* Dans cette zone, les limites des 4 fokontany ont été regroupées afin d'avoir une surface homogène avec les autres zones. Dans la suite du texte, le nom Amboara est utilisé pour parler des 4 fokontany.

Méthodologie

La méthodologie utilisée dans cette s'étude s'appuie sur l'approche ***orientée objet,*** c'est à dire en utilisant une large gamme de variables (spectraux, spatiaux, contextuels…) pour distinguer les différentes classes d'occupation et d'usage du sol. Cette approche permet aussi de délimiter et d'identifier ces classes avec une grande précision. Appliquées à différents types d'image, elles fournissent *a priori* de meilleurs résultats que les méthodes basées uniquement sur les valeurs spectrales – approche par pixel (Willhauck, 2000 ; Regoet Koch, 2003 ; Harken et Sugumaran, 2005; Kamagata*et al.*, 2005;).

I. Typologie de l'occupation du sol et de l'usage des terres

La zone d'intervention du projet est très vaste (11 925ha) et présent des types d'occupation du sol très variés. Dans cette étude, la cartographie a été faite à deux échelles différentes. Dans un premier temps, une cartographie de l'occupation du sol a été effectuée au niveau de la zone du projet. Ensuite, une cartographie plus fine a été réalisée à l'échelle d'une ZPC dans le but d'extraire les différents types d'usage des terres et les pratiques agroécologiques mises en œuvre par le projet.

A l'échelle de la zone du projet, les typologies des classes ont été déduites des six classes du GIEC et adaptées au contexte particulier de la zone étudiée. Elles sont listées et décrites dans le tableau III ci-après.

Quatre types de systèmes agro-écologiques ont été mis en place par le projet:

1) **Forestier** : plantation d'arbres sur des terres dégradées ou non valorisées (sur 500 ha environ)
2) **Agroforestier** : plantation avec culture intercalaire, sur toute la parcelle ou sur courbe de niveau uniquement (sur 400 ha environ)
3) **Vivrier pur** et le **système rizicole** irrigué (SRI/SRA) : champ de culture ou jardin sans arbres (sur 100 ha environ).

A l'échelle d'une ZPC, la cartographie a été focalisée sur la détection des quatre principaux types des systèmes agro-écologiques mis en place sur terrain notamment le système : forestier, agroforestier, culture vivrière pure et rizicole irriguée (Tableau V).

Tableau II: Typologies adoptées pour l'occupation du sol à l'échelle communale (adaptées d'après GIEC, 2006)

Classe	Typologie à l'échelle régionale	Description	Illustration	Rendu cartographique
1	Terres forestières	Cette classe inclut les zones boisées, l'agroforesterie, la forêt,…		
2	Terres cultivées	Cette classe inclut tout type de cultures, y compris la parcelle de riziculture et terres cultivées à l'abandon (jachère)		
3	Prairies et savane	Cette classe inclut principalement des zones non cultivées et des zones non fertiles et difficiles à travailler en raison de la topographie ou d'un sol très dégradé…		
4	Etablissement, roche et sol nu	Cette classe inclut les infrastructures, les établissements humains de toutes dimensions, les roches et les sols dénudés.		
5	Zone en eau	Cette classe inclut les zones en eau comme les lacs et rivières		

Tableau III: Typologies adoptées pour l'usage du sol à l'échelle Fokontany

Id	Typologie à l'échelle du fokontany	Description	Illustration	Rendu cartographique
1	Foresterie	Forêts exotiques des hauts plateaux issus des plantations et des mises en valeurs des sols dégradés, à vocation énergétique (production de bois de chauffe) et de construction. Peuplement plus ou moins denses principalement eucalyptus et de pin, tapia		
2	Agroforesterie	Association de plantation d'arbres fruitiers et de cultures annuelles ou semi- pérennes. Les arbres fruitiers peuvent être implantés au pourtour de parcelles de culture (cloisonnement) ou en ligne.		
3	Prairie et savane	Principalement des zones non cultivées et des zones non fertiles et difficiles à travailler en raison de la topographie ou d'un sol très dégradée…		
4	Culture irriguée	Système de riziculture sur bas fond incluant les systèmes traditionnels et intensifs		
5	Culture non irriguée	Cultures annuelles, parfois une association de culture vivrière et maraichère pure		
6	Zone en eau	Cours d'eau et plan d'eau (rivière et lac)		

7	Routes et Pistes	Cette classe inclut tout type de route terrestre		
8	Sol nu et roche	Zone sans végétation, elle présente des zones d'érosion (lavaka), sableux et des affleurements de roches.		
9	Village	Zone d'habitation		

III. Données utilisées

Lors de la classification des images, il est crucial d'obtenir la meilleure adéquation possible entre la résolution spatiale de l'image et la dimension des objets que l'on souhaite détecter (Girard et Girard, 2010). Dans ce travail, le but est de cartographier les types d'occupation du sol et l'usage des terres. Pourtant ces typologies se présentent parfois en petite dimension (comme une parcelle de cultures irriguées ou un bâtiment sur des zones de faible densité urbaine, …) et peuvent être différentes d'une saison à une autre (cas des zones de culture). Une résolution spatiale inférieure ou égale à 10m avec deux saisons d'image ou plus s'avère nécessaire.

Les caractéristiques des images SPOT5 avec deux dates, en saison humide (de décembre à avril) et en saison sèche (de mai à novembre), répondent à ces exigences. Les caractéristiques de ces images sont montrées dans les tableaux suivants. Des images SPOT 5 ont donc été commandées à la station SEAS-OI pour ces deux périodes de stade phénologique différents. Les caractéristiques des images obtenues sont présentées dans le tableau VII.

Outre ces images SPOT, un Modèle Numérique de Terrain à 30 m de résolution (ASTER GDEM, 2011) fourni gratuitement par l'USGS a été utilisé. Ces données procurent des informations d'altitude de résolution homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. De plus, elles nous permettent d'obtenir des indices morphologiques nécessaires au traitement des données.

Tableau IV : Caractéristiques spectrale et spatiale des images SPOT 5 utilisées

Modes	Bandes	Bandes spectrales	Résolutions
Multispectral	XS1	0,50 – 0,59 µm	10 m
	XS2	0,61 – 0,68 µm	10 m
	XS3	0,79 – 0,89 µm	10 m
	SWIR	1,58 – 1,75 µm	20 m
Monospectral	PAN	0,51- 0,73 µm	2.5 m

Tableau V: Dates et saisonnalités des images utilisées

Référence de l'image (K/J)	Dates d'acquisition	Saison culturale
168/388	29/03/2014	humide
167/388	14/01/2014	humide
168/388	08/11/2014	sèche
167/388	28/11/2014	Saison sèche

Dans le but d'améliorer le résultat de la classification, une couche thématique a été utilisée. Cette couche a été tracée manuellement sur une fond de carte Google Earth sous QGIS. Elle sert à isoler (masquer) certaine réponse spectrale d'une classe (agroforesterie) qui se confonde avec une autre classe (foresterie).

IV. Prétraitement des données

Plusieurs étapes préliminaires ont été effectuées sur les images satellites avant la classification. Les images reçues nécessitent des corrections géométriques pour avoir une superposition parfaite avec les réalités sur terrain. Ensuite, les scènes d'images ont été mosaïquées par saison pour couvrir la zone d'étude. Les décalages radiométriques dus aux différences des dates d'acquisition ont été corrigés en faisant une égalisation d'histogramme et en prenant comme références les images les plus nettes.

A l'échelle d'une ZPC, la taille des parcelles d'usage des terres à détecter nécessite des images de résolution spatiale plus fine. Ainsi, les quatre bandes spectrales de l'image multi-spectrale SPOT 5 ont été fusionnées avec la bande panchromatique de résolution spatiale 2,5 m afin d'obtenir une image multi-spectrale synthétique à 2,5 m de résolution spatiale.

Ces étapes ont été réalisées avec le logiciel ENVI 4.8.

V. Classification orientée objet d'images

L'approche orientée objet a été utilisée pour la classification d'image à l'aide du logiciel e-Cognition. A l'inverse de la classification par pixel, cette approche classifie les regroupements de pixels appelés objet. Ces regroupements se différencient par rapport à une valeur spectrale bien définie telle que la moyenne ou l'écart type par la forme géométrique et la texture des pixels contigus (Benz et *al.*, 2004). Un des avantages de cette méthode est qu'elle permet d'éviter « l'effet poivre et sel » lors de la classification de l'image et de mieux détecter les contours des classes. Généralement, cette approche se déroule en deux étapes :

- **segmentation** de l'image : regroupement de pixels contigus et similaires
- **classification** de cette image segmentée : affectation de l'objet à une classe

1. Segmentation de l'image

La première étape consiste à regrouper des pixels contigus ayant des caractéristiques spectraux proches afin de créer des objets homogènes (Benz *et al.*, 2004) (Figure 2).Le logiciel *eCognition* propose différents algorithmes de segmentation. L'algorithme « *multi-résolution* »a été utiliséedans cette étude. Les objets ont été formés en fonction de plusieurs paramètres tels que la distance spectrale et les aspects texturaux entre les pixels voisins. Ensuite, un critère d'échelle permet de déterminer la taille et la forme moyenne des objets. Plus l'échelle est élevée, plus les objets sont grands(Baatz et Schäpe, 2000 ;Benz *et al.*, 2004).Au final, chaque objet est rattaché à des attributs, tels que sa réponse radiométrique (texture, réflectance, moyenne, écart type, min/max… des pixels constitutifs de l'objet), sa géométrie (forme et taille de l'objet) et son contexte (relations avec les objets voisins).

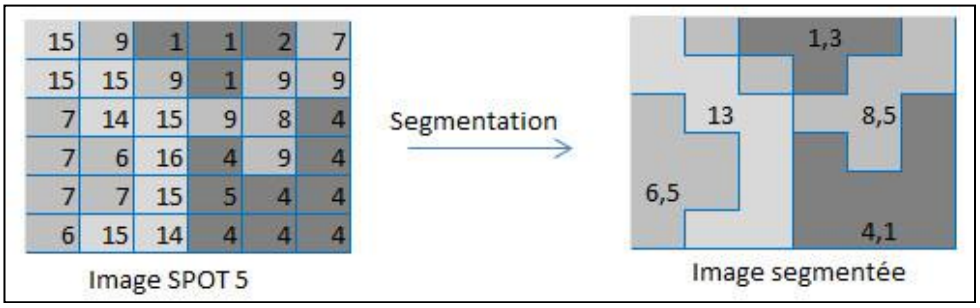


Figure 2: Principe de segmentation d'images, à gauche l'image pixel et à droite l'image segmentée

2. Classification des objets

Après la phase de segmentation, les éléments constitutifs de l'image ne sont plus des pixels mais des objets. Classifier une image revient donc à affecter, à chaque objet de l'image, une classe prédéfinie : d'où l'appellation de « classification orientée objet » (Figure 3). Dans cette étude, cette affectation a été basée sur un algorithme de classification supervisée par arbre de décision hiérarchique.

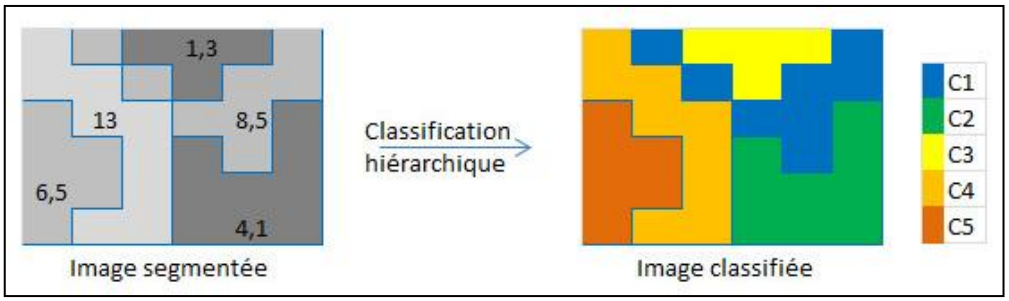


Figure 3: Principe de la classification orientée objet

En principe, un arbre de décision hiérarchique est composé d'une racine, de plusieurs nœuds, des branches et des feuilles. La racine est le point de départ de l'arbre. Les nœuds représentent les attributs avec les seuils de séparabilité. Les feuilles indiquent les classes qui sont constituées par un ensemble d'objet. Enfin, les branches relient la racine, les nœuds et les feuilles (Figure 4).

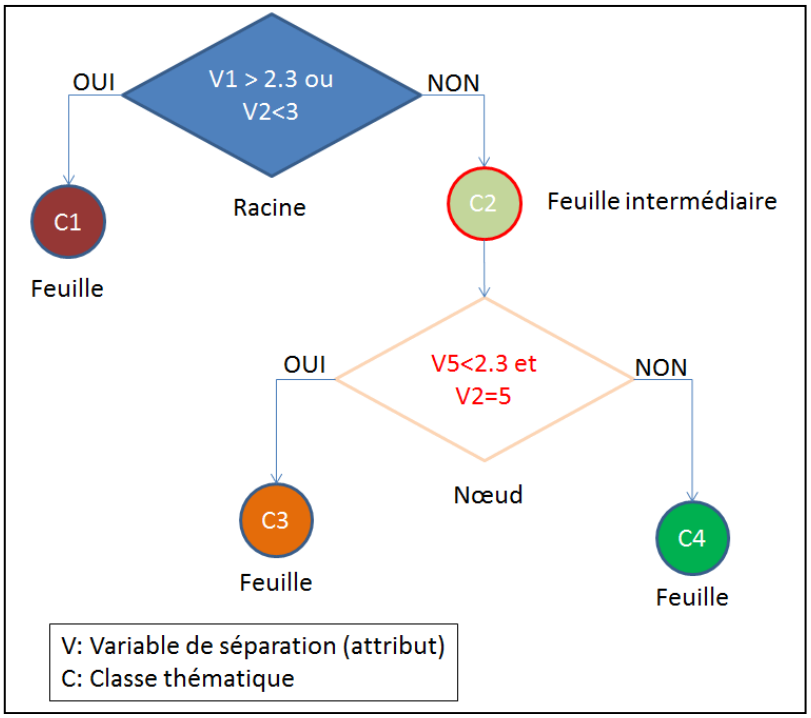


Figure 4: Exemple d'un arbre de décision hiérarchique. Les arbres de décision appliquée dans ces études sont présentés en Annexe C

Les choix des variables et des seuils de séparation des classes influent énormément sur la qualité des résultats de classification. Le logiciel eCognition permet d'effectuer ces tâches manuellement. Ceci constitue en partie l'avantage de cette méthode puisque les seuils peuvent être déterminés soigneusement selon la classe d'affectation. Afin d'améliorer et de réaliser la discrimination des classes étudiées, plusieurs indices dérivés des canaux primaires des images satellites ont été calculés en plus des variables radiométriques (tableau VIII).

Tableau VI: Les indices radiométriques utilisés et leur formule

Indices	Noms	Formules	Références
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	(PIR-R)/(PIR+R)	Rouse *et al.*, 1974
NDWI	Normalized Difference Water Index	(PIR-MIR)/(PIR+MIR)	Gao, 1996
NDWI2	Normalised Difference Water Index 2	(V-PIR)/(V+PIR)	McFleeters, 1996
RATIO	Ratio(Vegetation Index)	PIR/R	
SAVI	Soil Adjust Vegetation Index	[(PIR-R)/(PIR+R+L)]*(1+L)	Huete, 1988
IB	Indices de brilliance	$\sqrt{R^2 + PIR^2}$	Croisille et al., 2005

L: paramètre qui varie selon la densité de la végétation (L=1 pour une très faible densité de végétation ; L=0,5 pour une densité moyenne et L=0,25 pour une forte densité, dans cette étude la valeur L=0,5 a été utilisée)
MIR: réflectance au sol de la surface dans le canal moyen infra-rouge
PIR: réflectance au sol de la surface dans le canal proche infrarouge
R: réflectance au sol de la surface dans le canal rouge
V: réflectance au sol de la surface dans le canal vert

En plus de ces indices radiométriques, des indices morphologiques (altitude, pente et rugosité) dérivés d'un Modèle Numérique de Terrain à 30 m de résolution ont été introduits dans le but d'atténuer l'effet de relief sur les réflectances.

Tableau VII : Liste des indices utilisés pour établir les arbres de classification

Type d'indicesspatiaux		
radiométrique	morphologique	géométrique
XS1, XS2, XS3, RATIO, NDVI, NDWI, NDWI2, IB, SAVI	Altitude, pente, rugosité	Longueur sur largeur, Densité de forme, Surface

VI. Post-classification

A l'issue de la classification, des traitements sont nécessaires afin d'améliorer le résultat obtenu. Le logiciel eCognition permet de faire des retouches manuelles au niveau des objets mal classés. Ensuite, les images classifiées ont été exportées en format vecteur. Les contours des classes ont été affinés en utilisant des opérations de lissage et de fusion sous GRASS (Figure 5). Après cela, un tableau montrant les surfaces par classe et par zone a été élaboré.

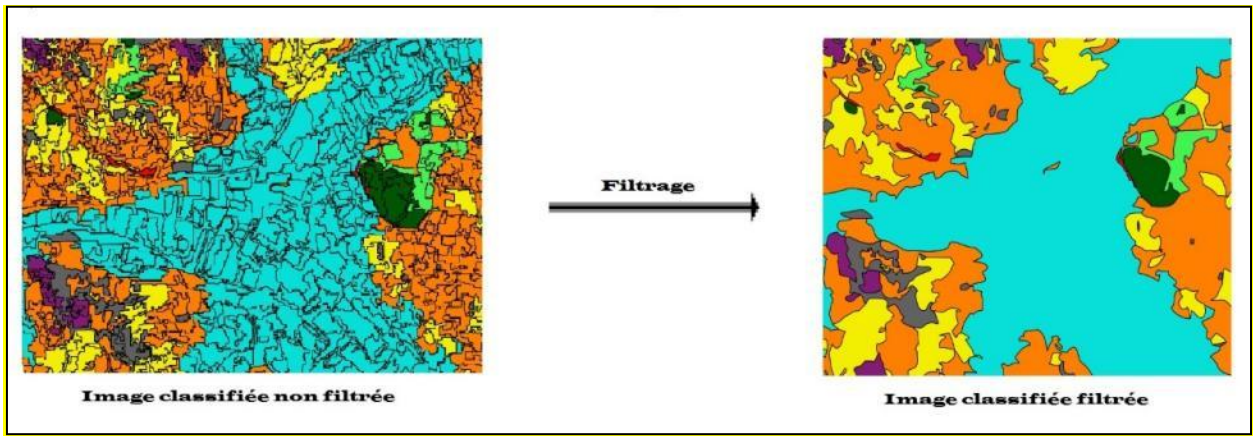


Figure 5: Illustration d'un résultat de lissage et fusion de polygones

VII. Validation des résultats de la classification

La validation est une étape indispensable pour évaluer les erreurs de classification à partir de points de référence (Girard et Girard, 2010). Environ 20% des objets (polygones) par classe, pas encore fusionnés, de l'image segmentée a été sélectionnée (soit 197polygons pour le zones en eau à l'échelle communale, cf. matrice de confusion en 'annexe pour les reste) de manière aléatoire et chacun de ces objets a été représenté par un point (centre de chaque polygone) puis classifié par photo interprétation sur Google Earth (2014). Ensuite, ces points de référence ont été confrontés avec leurs correspondants dans l'image classifiée pour élaborer la matrice de confusion (Caloz et Collet, 2001) (Figure 6).

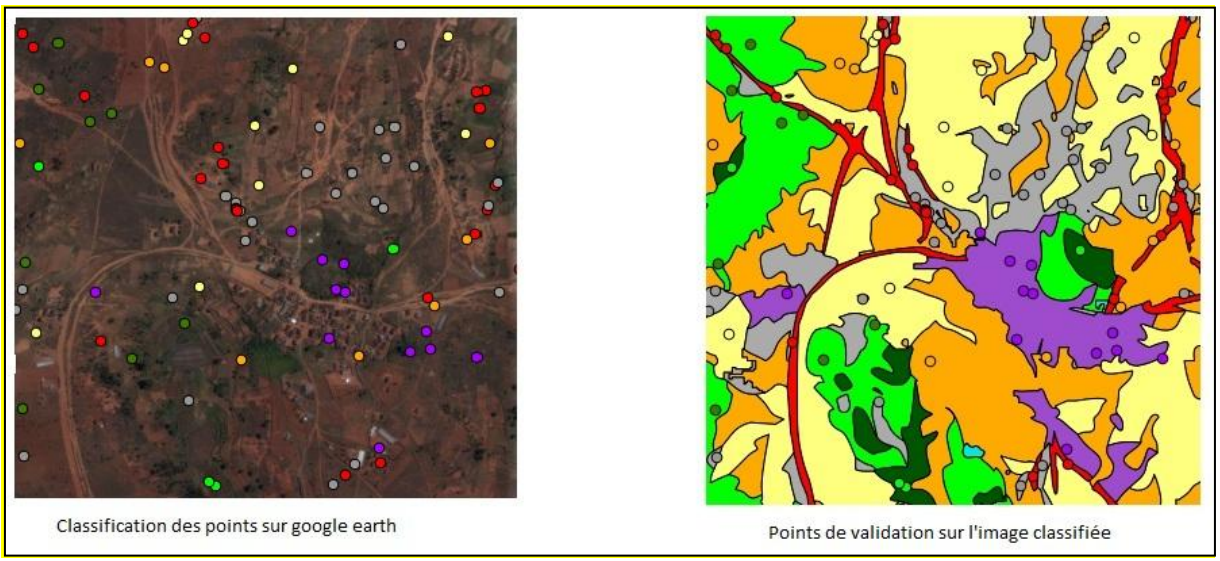


Figure 6: Illustration du principe de validation de la classification

Résultats

I. Arbre de décision et classification

Le travail de classification des modes d'occupation du sol a été réalisé en deux temps, selon les deux échelles d'études : régionale et fokontany. Après avoir réalisé de nombreux tests il n'a pas été possible d'obtenir un modèle unique de classification à l'échelle fokontany. Ceci est expliqué par les différences de paysage entre les fokontany situés à l'est de la zone d'étude (Cas des fokontony sis à Imerintsiatosika) et ceux situés à l'ouest (ex. Analavory) au niveau du type de sol, système de culture, densité humaine et des infrastructures (routes, villages). Nous avons donc produit au final 5 arbres des décisions, 1 pour la région et 1 par ZPC/fokontany. Ces arbres de décision sont présentés en détail dans l'Annexes C et illustrés ci-dessous dans la figure 7.

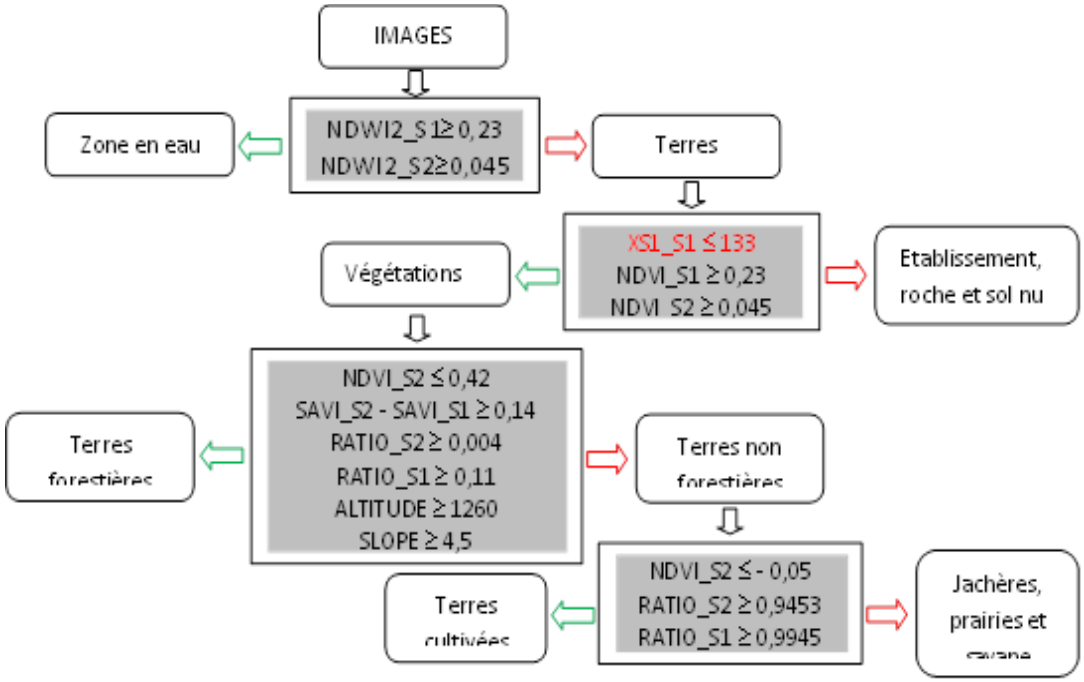


Figure 7 : Exemple de l'arbre de décision déterminé pour la classification à l'échelle communale.

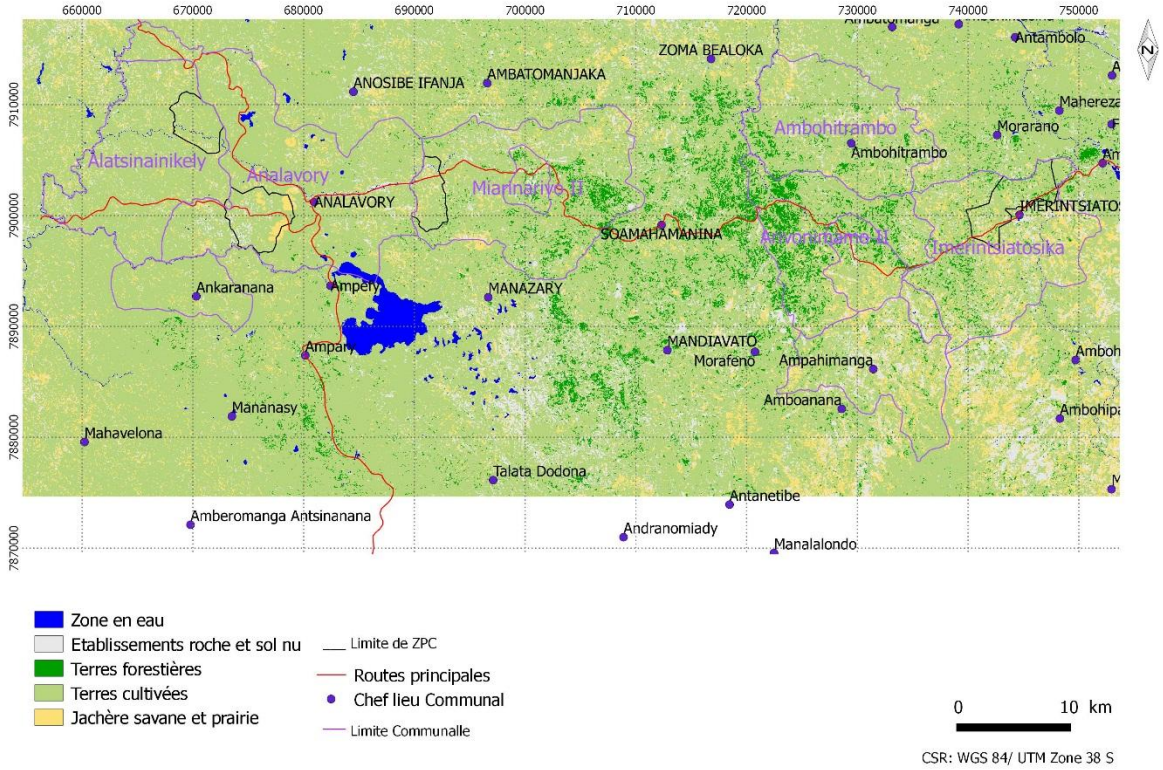


Figure 8 : Carte d'occupation du sol obtenue à l'échelle de la région Itasy

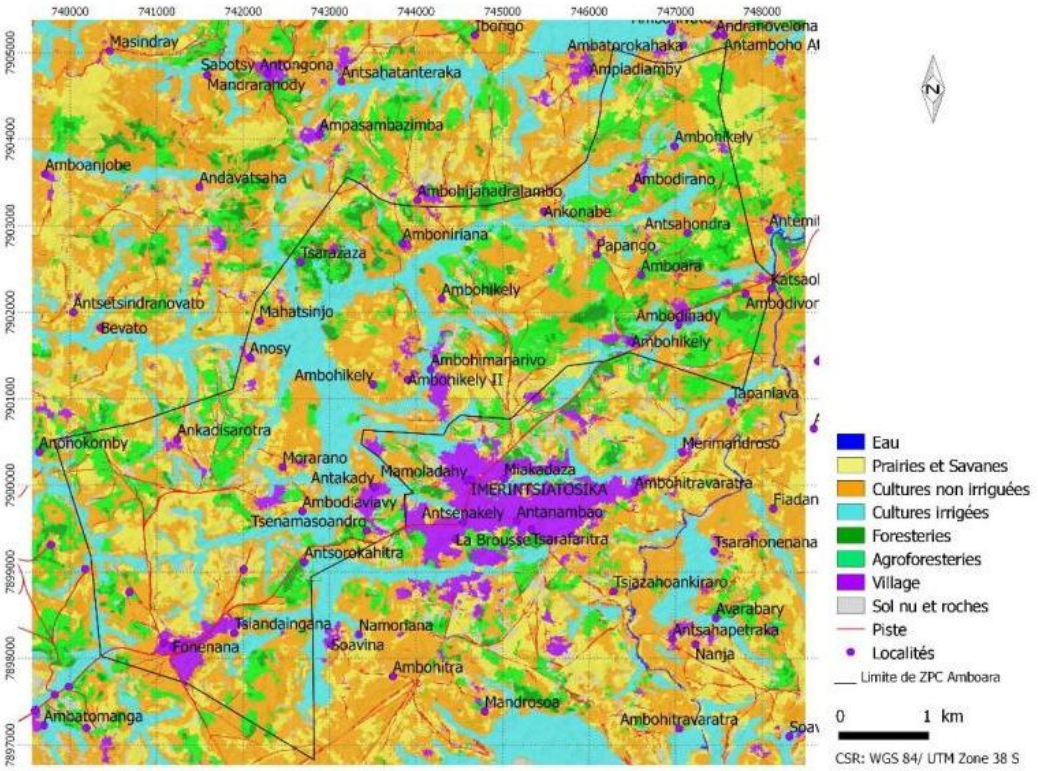


Figure 9 : Carte d'usages des terres à l'échelle du Fokontany (Amboara, Tsenamasoandro, Ambohimanarivo, Fonenana). Les autres cartographies sont présentées en Annexe D.

II. Validation des cartographies

Les traitements décrits plus hauts ont été réalisés à deux échelles différentes : région Itasy et fokontany. La qualité de l'information produite est évaluée pour chaque niveau. Elle est présentée dans le tableau VIII, le détail des matrices de confusion est présenté dans les Annexes D, E.

Tableau VIII : résumé des matrices de confusion.

	Région	Amboara	Ampasam…	Andrano…	Ankonabe
Précision Globale (%)	87	83	85	95	93
Kappa	0.83	0.81	0.82	0.94	0.91

- **A l'échelle communale**

La performance globale de la classification au niveau 1 est de 87 %, avec un indice Kappa de 0,83. Les résultats obtenus sont relativement homogènes, puisqu'ils dépassent les 70 % de précision de producteur (cf. matrice de confusion annexe D), de même pour les classes « terres cultivés » et « établissement, roche et sol nu ».

- **A l'échelle du fokontany**
  - **Amboara**

La performance globale de la classification est de 83 % avec un indice Kappa de 0,81. Contrairement au niveau 1, on observe des disparités dans les résultats obtenus.
L'erreur de la classe «Eau» a été la plus élevée (65 % de polygones bien classés) présentant des confusions avec les classes «Prairie et savane», «Cultures irriguées», «Cultures non irriguées», «Village » et «Piste». Les «Cultures irriguées» (72 %) et les «Village» (76 %) sont également en dessous de 80% de précision. Cette précision est, par contre, de 97 % pour la classe foresterie.

  - **Ampasamanatongotra**

La performance globale de la classification est de 85 % avec un indice Kappa de 0,82.
La précision de la classe « village » a été de 69 %. Cette classe présente une forte confusion avec les classes«Sol nu et roche» et «Piste». Les classes « Eau » (71 %), « Agroforesterie » (73 %) et « Piste » (77 %) présentent également des précisions en dessous de 80 %.

- **Andranomody**

La performance globale de la classification est de 95 % avec un indice de Kappa de 0,94.

Hormis de la classe « Agroforesterie » (83 % de polygones bien classés), les résultats obtenus pour cette ZPC sont tous supérieur à 90% malgré la présence de quelque confusion des classes. Une confusion majeure existe entre les classes « Agroforesteries » et « Foresteries ».

- **Ankonabe**

La performance globale de la classification est de 93 % avec un indice de Kappa de 0,91.

Les résultats obtenus pour cette ZPC sont similaires à ceux obtenus pour Andranomody (précision supérieure à 90 %), ce, malgré la présence de quelque confusion des classes. Comme dans la ZPC précédente, la confusion majeure se repose entre les classes « Agroforesteries » et « Foresteries ».

III. Résultats des cartographies d'occupation et d'usages des terres

- **A l'échelle des communes/Région**

Les résultats obtenus au niveau des huit communes étudiées (101 658 ha) montrent une dominance très nette des terres cultivées à plus de trois quart du territoire. Les savanes et prairie couvrent une surface presque deux fois des villages et sol dégradé, soit environ 9,7 %. Les terres forestières, incluant tous types de forêts ne couvrent que 1,85 % du territoire. 0,67pourcent de territoire (836 ha) est couvert par de l'eau, principalement au niveau du lac Itasy.

Tableau IX : Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol

Surface	commune	
Typologie	ha	%
Terres forestières	2297	1,85 %
Terres cultivées	101658	82,03 %
Jachères, Prairies et savane	12017	9,7 %
Zones en eau	836	0,67 %
Etablissement, Roche et sol nu	7127	5,75 %
Total	123935	100 %

Même les résultats obtenus pour chaque commune présentent toujours une forte dominance des terres cultivées : 15 466 ha Alatsinainikely, 11 953 ha Ambohitrambo, 7 374 ha Ampahimanga, 23 985 ha Analavory, 5 176 ha Ankaranana, 8 954 ha Arivonimamo II, 12 527 ha Imerintsiatosika et 16 223 ha Miarinarivo II. Ce sont des communes riches en termes d'alimentation si ces superficies sont exploitées en suivant la norme de culture moderne. L'économie de ces huit communes est basée sur l'agriculture.

La réserve en forêt fait un signe très alarmant pour les communes : Alatsinainikely, Analavory et Ankaranana. Car leurs terres forestières présentent moins d'un pourcent de leur superficie totale. Donc le territoire non aménagé, environ 6 % pour chaque commune, occupé par les Jachères, prairies et savane devrait être restauré afin d'augmenter les terres forestières pour ces trois communes en

questions. Pour les autres communes, elles ont encore plus de 200 ha de réserve en terres forestières. Par rapport à la surface totale de chaque commune ce chiffre est encore faible. Par conséquent, encouragé aussi les gens de ces communes protéger leur réserve et puis à restaurer le territoire occupé par les savanes.

On a remarqué aussi l'insuffisance en eau de surface pour toutes les communes (surface inférieure ou égale à 1% de leur superficie) sauf la commune d'Analavory qui est touchée par une partie de lac Alaotra.

Tableau X : Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol pour les communes Alatsinainikely, Ambohitrambo, Ampahimanga et Analavory

Surface Typologie	Alatsinainikely		Ambohitrambo		Ampahimanga		Analavory	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Terres forestières	0	-	728	4,8 %	291	2,6 %	74	0,3%
Terres cultivées	15 466	87 %	11 953	79,1 %	7 374	65 %	23 985	83,9 %
Jachères, Prairies et savanes	1 238	7 %	977	6,5 %	2 086	18,4 %	2 302	5,9 %
Zones en eau	138	1 %	29	0,2 %	1	-	542	1,9 %
Etablissement, Roche et Sol nu	849	5 %	1419	9,4 %	1591	14 %	1691	5,9 %
Total	17 691	100 %	15 106	100 %	11 343	100 %	28 594	100 %

Tableau XI: Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol pour les communes Ankaranana, Arivonimamo II, Imerintsiatosika et Miarinarivo

Surface Typologie	Ankaranana		Arivonimamo II		Imerintsiatosika		Miarinarivo II	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Terres forestières	5	0,1 %	2 528	19 ,1 %	811	4,4 %	1 367	6,6 %
Terres cultivées	5 176	92,3 %	8 954	67,6 %	12 527	68,3 %	16 223	78,9 %
Jachères, Prairies et savanes	289	5,2 %	856	6,5 %	2897	15,8 %	1372	6,7 %
Zones en eau	25	0,4 %	38	0,3 %	42	0,2 %	21	0,1 %
Etablissement, Roche et Sol nu	110	2 %	863	6,5 %	2067	11,3 %	1581	7,7 %
Total	5 605	100 %	13 239	100 %	18 344	100 %	20 564	100 %

- **A l'échelle des fokontany**

Les résultats obtenus à l'échelle des fokontany, montrent des différences très nettes entre les 4 zones.

Amboara (Imerintsiatosika) : Les 4 fokontany montrent des modes d'usage des terres très diversifiés , avec un légère domination des cultures non irriguées (35%). A noter la forte proportion de villages (3,6% - 90 ha) et de piste (2,1% - 52 ha) qui souligne l'importance démographique dans ce secteur.

Ampasamanatongotra : Fokontany dominé par les cultures non irriguées à plus de la moitié des territoires (50,5%) et des terres non utilisées (savane, prairie) sur 22,4%. La forte proportion de sol nu et roche laisse penser à une forte dégradation des terres dans ce fokontany. Par ailleurs la proportion de foresterie et d'agroforesterie est assez élevé (2,3 et 5,2 % respectivement).

Andromody (Alantsinainikely): Fokontany dominé par les savanes et prairie. Les cultures non irriguées sont aussi très représentés. Il existe très peude foresterie et d'agroforesterie (< 1%)

Ankonabe (Analavory): Ce fokonany est marqué par forte domination des cultures non irriguées (70%) et les savane-prairie (20%). Il existe peu de foresterie (0,8%) et quelques parcelles d'agroforesterie (2,3% - 60 ha).

En résumé, c'est Amboara qui montre la plus grande diversité d'usage et proportion en système agro-forestier (17,8%) et forestier (3,1%). Les cultures non irriguées (sur tanety) sont largement majoritaire dans le fokontany d'Ankonabe

Tableau XII : Résultats des surfaces par fokontany

Surface	Amboara		Ampasamanatongotra		Andranomody		Ankonabe etc.	
Typologie	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Foresterie	78	3,1 %	35	2,3 %	2	0,1 %	22	0,8 %
Agroforesterie	443	17,8 %	79	5,2 %	11	0,7 %	60	2,3 %
Cultures non irriguées	885	35,5 %	770	50,8 %	580	33,6 %	1 797	69,5 %
Cultures irriguées	492	19,7 %	126	8,3 %	201	11,6 %	61	2,4 %
Prairies et savane	429	17,2 %	340	22,4 %	750	43,4 %	590	22,8 %
Eau	0	-	9	0,6 %	16	0,9 %	3	0,1 %
Village	90	3,6 %	18	1,2 %	3	0,2 %	13	0,5 %
Piste	52	2,1 %	11	0,7 %	1	0,1 %	15	0,6 %
Sol nu et roche	102	4,1 %	163	10,7 %	165	9,5 %	47	1,8 %
TOTAL	2 494	100%	1 516	100%	1 727	100%	2 586	100%

Discussion

I. Qualité de la cartographie d'occupation des sols

A l'échelle communale, la précision globale obtenue (87 %) est au-dessus du seuil recommandé de 85 %, i.e. 87 % des pixels sont bien classifiés rendant la classification acceptable selon Foody (2002). Néanmoins, ce résultat global masque des disparités importantes entre les classes. En effet, les classes « Terres forestières» et « Terres cultivées » et les classes « Etablissement, sol nu et roche » présentent une certaine confusion.
La confusion entre les classes « Terres forestières» et « Terres cultivées » est probablement due au décalage du calendrier cultural entre paysans (certains paysans peuvent par exemple semer tôt et récolter tôt, d'autres sèment tard et récolte tard). Normalement les images à deux saisons utilisées devraient être suffisantes pour séparer ces deux classes, toutefois, étant donné, la réalité sur terrain (dès fois des jeunes cultures peuvent déjà être présentes sur certaines parcelles tandis que d'autres n'ont pas être encore moissonnées,), une série temporelle d'images correspondant aux différents calendriers culturales auraient été nécessaires pour pouvoir discriminer e les parcelles plus aisément.
De même pour la confusion entre « terres cultivées » et « Etablissement, sol nu et roche » peuvent s'expliquer par la mise à nu du sol lors du labour réalisée avant l'arrivée de la pluie. Durant cette période, les champs de culture sont similaires au sol dégradé au sein des images qui ont été acquises.

II. Choix des images satellites

Les deux saisons d'images utilisées apportent une grande amélioration sur les résultats de la classification. Mais pour aller plus loin dans la classification, c'est-à-dire à distinguer les différents types de culture existant pour chaque ZPC puis éliminer la confusion qui persiste toujours dans certaines classes, une connaissance plus approfondies des calendriers culturaux non seulement pour chaque type de culture mais aussi pour chaque ZPC est nécessaire. En effet, le calendrier agricole peut différer d'une ZPC à une autre ; ensuite, il faut aussi connaître et analyser la rotation culturale qui peut exister pour chaque milieu. Dans les bas-fonds, par exemple, les cultures (qui sont pour la plupart du type irriguées) se succèdent avec des périodes inter-culturales très courtes (périodes pendant lesquelles le sol est à nu) en raison de la maîtrise de l'eau. A l'opposée, sur tanety, le type de culture pratiquée est type pluviale qui reste très dépendant de la pluviosité, ainsi durant la saison sèche, les champs de culture s'apparentent à des sols nu jusqu'à l'arrivée des pluies. Enfin, la connaissance du calendrier culture et de la rotation culturale permet de définir les dates d'acquisitions d'images favorables pour chaque zone ou chaque ZPC.

III. Cartographie des usages des terres

A l'échelle de la ZPC, on remarque que les résultats obtenus 83 % pour la ZPC d'Amboara et 85 % pour la ZPC d'Ampasamanatongotra sont légèrement en dessous ou égale au seuil recommandé de 85 % (Foody, 2002) tandis que ceux des deux autres ZPC (93 et 95 %) sont largement au-dessus. L'hétérogénéité paysagère dans les ZPC d'Amboara et d'Ampasamanatongotra augmente les risques de confusion de certaines classes. A contrario, les bons résultats des classifications à Andranomody

et Ankonabe justifient l'utilisation de données thématiques lors de la classification pour une meilleure discrimination de classes porteuses de confusion. De ce fait, et même si c'est un travail long et fastidieux, le repérage préalable des zones à traiter (notamment à partir des images Google Earth) est apparu comme un passage indispensable pour améliorer les résultats des classifications des images. En effet, des tests préliminaires révélaient d'importantes confusions entre certaines classes, à l'instar des classes « cultures irriguées » et certaines « classes foresteries ». Le recours à la masque forestière a permis de traiter cet espace complexe indépendamment du reste de l'image, et donc d'améliorer les performances de la classification.

IV. Approche orientée-objet

La démarche orientée-objet offre des avantages considérables sur les classifications classiques à base de pixel. L'analyse centrée sur l'objet utilisant des images à haute et à très haute résolution spatiale permet d'éviter l'apparition de l'effet « poivre et sel » qui est un problème récurrent dans le cas d'une approche basée sur le pixel. L'opérateur est totalement maître des procédures de classification des objets grâce aux fonctions d'appartenance, contrairement à une classification supervisée basée sur le pixel où le processus de classification est inféodé uniquement aux parcelles d'entraînement. Mais la procédure est plus complexe dans la mesure où elle intègre différents niveaux d'analyse et de nombreux paramètres de seuils.

En résumé, la démarche orientée-objet est assez proche d'une démarche de photo-interprétation : elle en a les avantages sans les inconvénients. Le traitement numérique de l'information géographique garantit l'homogénéité des résultats sur l'ensemble de l'image. De plus, la démarche cognitive d'un photo-interprète est transcrite par l'analyse multi-échelle. Néanmoins la méthode implique une connaissance experte du terrain et de nombreux tests sont nécessaires à la détermination des paramètres de segmentation optimaux (Schiewe *et al.*, 2001). Ces paramètres sont en outre variables d'une image à une autre (cas des indices dérivés des bandes spectrales d'une image) ou d'un endroit à l'autre (cas des indices morphologiques), et spécifiques aux résultats attendus. Les arbres de décisions obtenus sont propres à chaque zone.

A partir des résultats de cette étude et de nos expériences précédentes et connaissances, il est possible de dresser une liste des avantages et inconvénients des principales techniques de cartographie de l'occupation et usages de terres. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le tableau XIII.

Tableau XIII: Avantages et désavantages de la méthodologie choisie

Méthodes de cartographie	**Avantages**	**Inconvénients**
Classification supervisée par pixel	- Extrapolation facile sur de grands territoires - Reproductibilité possible	- Calibration intensive (Classification) - Subjectivité au choix et délimitation des parcelles d'apprentissage
Classification supervisée « orientée objet »	- Extrapolation facile sur de grands territoires -Reproductibilité possible	- Calibration intensive (segmentation et classification) - Subjectivité au choix et délimitation des parcelles d'apprentissage - Haut niveau d'expertise
Classification supervisée « orientée objet » + photo-interprétation	- Pratique sur une grande zone - Délimitation fiable des contours	- Calibration intensive (segmentation) - Subjectivité de la photo interprétation
Photo interprétation	- Pratique à grande échelle - Faible niveau d'expertise	- Difficile à étendre sur une vaste région - Subjectivité de la photo interprétation

Conclusion

A l'aide des images SPOT 5 obtenues *via* la station SEAS-OI, l'occupation des sols et l'usage du sol ont été extraits en utilisant une approche orientée-objet et le logiciel eCognition. Les résultats sont de qualité variable en fonction de l'hétérogénéité de la zone et de la typologie d'usage des terres. En termes de qualité globale, elles sont acceptables avec des valeurs globalement supérieures au seuil de précision recommandé.

En termes de résultats, au niveau communal, d'une part, 1,85 % de territoire seulement est couvert par des forêts. C'est un chiffre préoccupant qui montre l'insuffisance en bois dans les huit communes de la région Itasy (qu'il conviendrait de comparer à une situation historique). L'enjeu d'un programme de boisement et reboisement pour ces communes est donc réel. D'autre part, 82,03 % du territoire est occupé par tout type de culture. Cela peut apparaître comme un fort potentiel de diffusion des pratiques agoécologiques et donc de réduction d'impact sur le climat de la Région, néanmoins cela traduit aussi l'ampleur des dispositifs à mettre en place pour la formation et l'appui à l'ensemble des exploitations agricoles..

En perspective, au vue de leur fiabilité, ces produits constituent un véritable outil pour les acteurs de l'aménagement du territoire (communes, ONG de développement, …) et les scientifiques notamment pour cibler des interventions et comprendre le territoire actuel de ces régions.

Enfin, la réalisation de mises à jour régulières de ces cartographies pour détecter et suivre les évolutions d'usages des terres permettrait, entres-autres, de connaitre la dynamique des changements d'usage et de permettre d'établir des scénarios d'aménagement du territoire et donc de potentiel d'atténuation du changement climatique correspondant.

Références

Baatz, M. and Schäpe, A., 2000« Multiresolution segmentation : an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation », Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (réd.) Proceedings of the AngewandteGeographischeInformationsverarbeitung XII BeiträgeZum AGIT-Symposium Salzburg 2000, p. 12-23

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M., 2004, « Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information »*ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 58, p. 239-258.

Croisille G., Lejeune V. Et MequignonL., (2005). « Application de la télédétection à l'étude des zones humides : identification des prairies, des roselières, des peupleraies et des gravières », Document technique, Institut Français de l'Environnement – Office National de la chasse et de la faune sauvage, 134 p.V.

Foody, G.M., 2002, «Status of land cover classification accuracy assessment », *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, p. 185-201.

Gao B.-C., 1996, « NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space », Remote Sensing of Environment, vol. 58, pp. 257-266.

Girard M.-C. et Girard C. M., 2010, « Traitement des données de télédétection ». Ed. Dunod, 529p.

Harken, J. and Sugumaran, R., 2005, «Classification of Iowa wetlands using an airborne hyperspectral image : a comparison of the spectral angle mapper classifier and an object-oriented approach »,*Journal Canadien de télédétection / Canadian Journal ofremote sensing,* vol. 31, no. 2, p. 167-174.

Huete A.R., 1988, « A Soil - Adjusted Vegetation Index (SAVI) », Remote Sensing of Environment, n°25, pp. 295-309

Kamagata, N., Akamatsu, Y., Mori, M., Qing Li, Y., Hoshino, Y. and Hara, K., 2005,«Comparison of pixel-based and object-based classifications of high resolution satellite data in urban fringe areas », 6 p. in *Proceedings of the 26th Asian Conference onRemote Sensing*, Hanoi, 7-11 novembre 2005.

Lal R., 2004, «Agricultural activities and the global carbon cycle », Nutr.CyclingAgroecosyst, 70: 103–116.

McFeeters S.-K., 1996, « The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features », International Journal of Remote Sensing, vol. 17(7), pp. 1425-1432.

Nabucet J., 2005, « Evaluation des données de télédétection à très haute résolution Quickbird pour l'estimation du taux de couverture hivernale des sols », Université Rennes 2, Mémoire de Master 2 Géographie Aménagement Société Environnement, 24 p.

PROPASTIN, P. 2009, «Relations Between Landsat Etm+ Imagery And Forest Structure Parameters In Tropical Rainforests: A Case Study From Lore-Lindu National Park In Sulawesi, Indonesia »,*EARSeLeProceedings. University of Göttingen, DepartmentofGeography, Göttingen, Germany. p: 98*

Raharimanana, V., 2012, « Analyse multicritère pour la délimitation des zones potentielles de diffusion des systèmesagroecologiques dans la région itasy »,Rapport de stage dans le cadre de Master II en Télédétection & Risques Naturels Mention GEOSPHERE

Rego, F. L., Koch, B, 2003, «Automatic classification of land cover with high resolution data of the Rio de Janeiro city Brazil comparison between pixel and object classification », Carstens, J. (réd.) *Remote Sensing of Urban Areas*, p. 153-157

Rouse J.-W., Haas R.-H., Deering D.-W. et Schell J.-A., 1974, « Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation NASA/GSFC », Type III, Final Report, Greenbelt, MD, USA, p. 1-371.

Schiewe, J., Tufte, L. and Ehlers, M. (2001) « Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing », GeoBIT/GIS, vol. 6, p. 34-39.

Smith, J. H., Stehman, S. V., Wickham, J. D. and Yang, L., 2003, « Effects of landscape characteristics on land-cover classaccuracy»,*Remote Sensing of Environment*, vol. 84, p. 342-349.

Willhauck, G., 2000, «Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos »,*ISPRS Journal of photogrammetry and remotesensing*, vol. 33,8 p.

Annexes

Annexe A: Fiche projet

Tableau XIV : livrables attendus

Documents	Données	Tableaux statistiques
V. Un rapport d'étude présentant la méthodologie et les résultats VI. Une carte d'occupation du sol (à l'échelle communale) et une carte d'usage de sol à l'échelle d'une zone pilote à cartographier (ZPC)	VII. Base de données SIG sur les travaux effectués incluant les images utilisées et les résultats de classification.	• Matrices de confusion décrivant la validation desclassifications. • Statistiques des surfaces par classe à l'échelle communale et par ZPC

Annexe B: Tableau de paramétrage de segmentation d'images

		A l'échelle communale (résolution 10m)	A l'échelle ZPC (résolution 2.5m)
Paramètres		Poids	
Images acquises au mois de mars 2014 notées saison 1 (S1) et acquises au mois de novembre notées saison 2 (S2)	XS1_S1 et XS2_S2	1	1
	XS2_S1 et XS2_S2	2	2
	XS3_S1 et XS3_S2	3	3
	SWIR_S1 et SWIR_S2	0	0
Hétérogénéité maximal autorisé au sein des objets	Echelle	10	25
Critère d'homogénéité	Forme	0.01	0.01
Lissage et compacité	Compacité	0.1	0.5

Annexe C: Seuils par zone

Code couleur pour les arbres ci-dessous:

⇨ : oui et ⇨: non

Dans le rectangle, la succession de couleur désigne un « et logique » et l'alternance de couleur désigne un « ou logique »

Arbre de décision pour l'échelle communale:

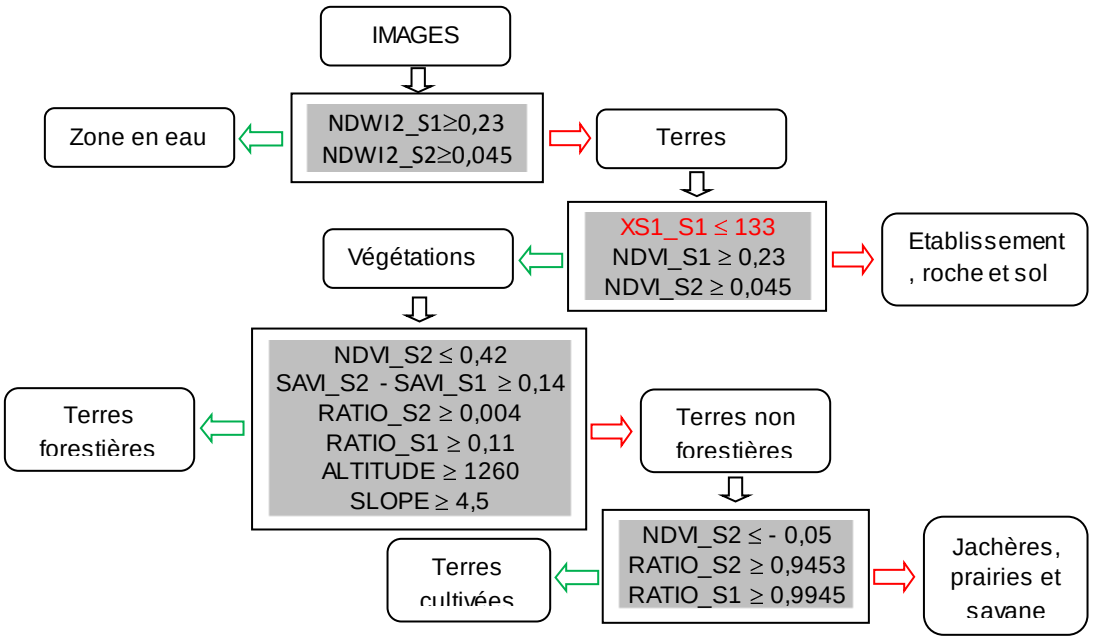


Tableau XV: Bande spectrale et indices utilisés lors de la classification des images à l'échelle communale

Bande spectrale et indices radiométriques utilisées	Intérêts
XS1	Séparation des classes « végétation » et « établissement, roche et sol nu »
RATIO	Discrimination des classes « terres forestières » et « non terres forestières » puis à des classes « terres cultivées » et « jachères, prairies et savane ».
NDVI	Séparation des classes « végétation » et « établissement, roche et sol nu », « terres forestières » et « terres non forestières » puis à des classes « terres cultivées » et « jachères, prairies et savane ».
NDWI2	Discrimination des classes « zone en eau » et « terres ».
SAVI	Séparation des classes « terres forestières » et « terres non forestières ».

Indices morphologiques	Intérêts
PENTE	Séparation des classes « terres forestières » et « terres non forestières ».
ALTITUDE	Discrimination des classes « terres forestières » et « terres non forestières ».

Arbre de décision pour la ZPC d'Amboara:

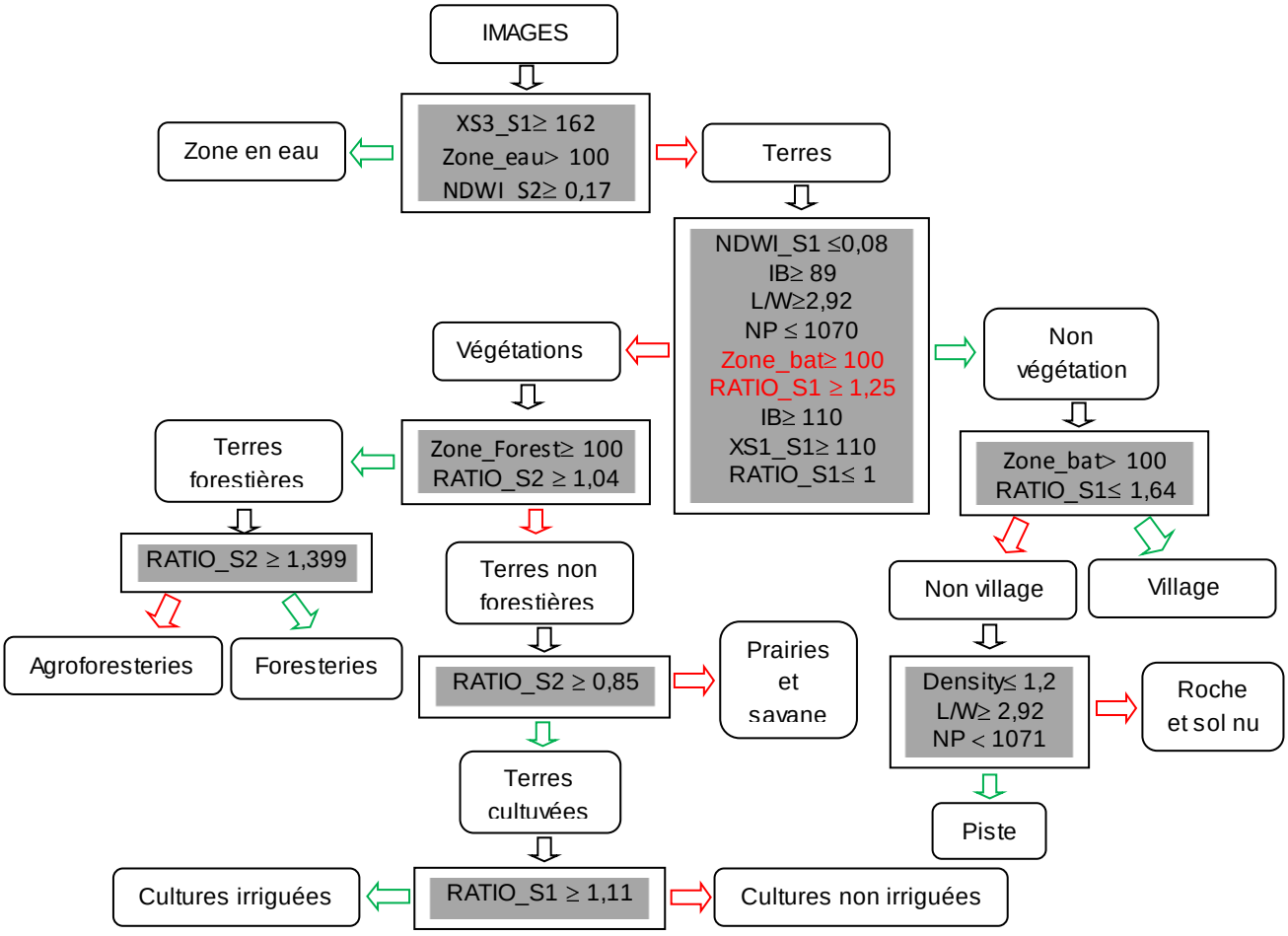


Tableau XVI: Bande spectrale et indices utilisés pour la classification des images pour la ZPC Amboara

Bande spectrale et indices radiométriques	Intérêts
XS1	Séparation des classes « zone en eau » et « terres » puis des classes « végétation » et « non végétation »
RATIO	Discrimination des classes« végétation » et « non végétation », « terres forestières » et « non terres forestières », « foresteries », « agroforesteries » enfin « village » et « non village », « foresteries et agroforesteries », « terres cultivées et prairies savane » et « cultures irriguée et cultures non irriguées ».
IB	Séparation des classes « végétation » et « non végétation ».
NDWI	Séparation des classes « zone en eau » et « terres » puis des classes « végétation et non végétation ».

Masque eau (Zone_eau)	Facilite la détection de la classe zone en eau
Masque zone bâti Zone_bat	Renfort la détection de la classe zone village.
Indicesgéométriques	Intérêts
Densité	Séparation des classes « Piste » et « roche et sol nu »
Longueur sur largeur	Séparation des classes : « végétation » et « non végétation », « piste » et « roche et sol nu »
Nombre de pixels	Séparation des classes : « végétation » et « non végétation », « piste » et « roche et sol nu »

Arbre de décision pour la ZPC d'Ampasamanatongotra

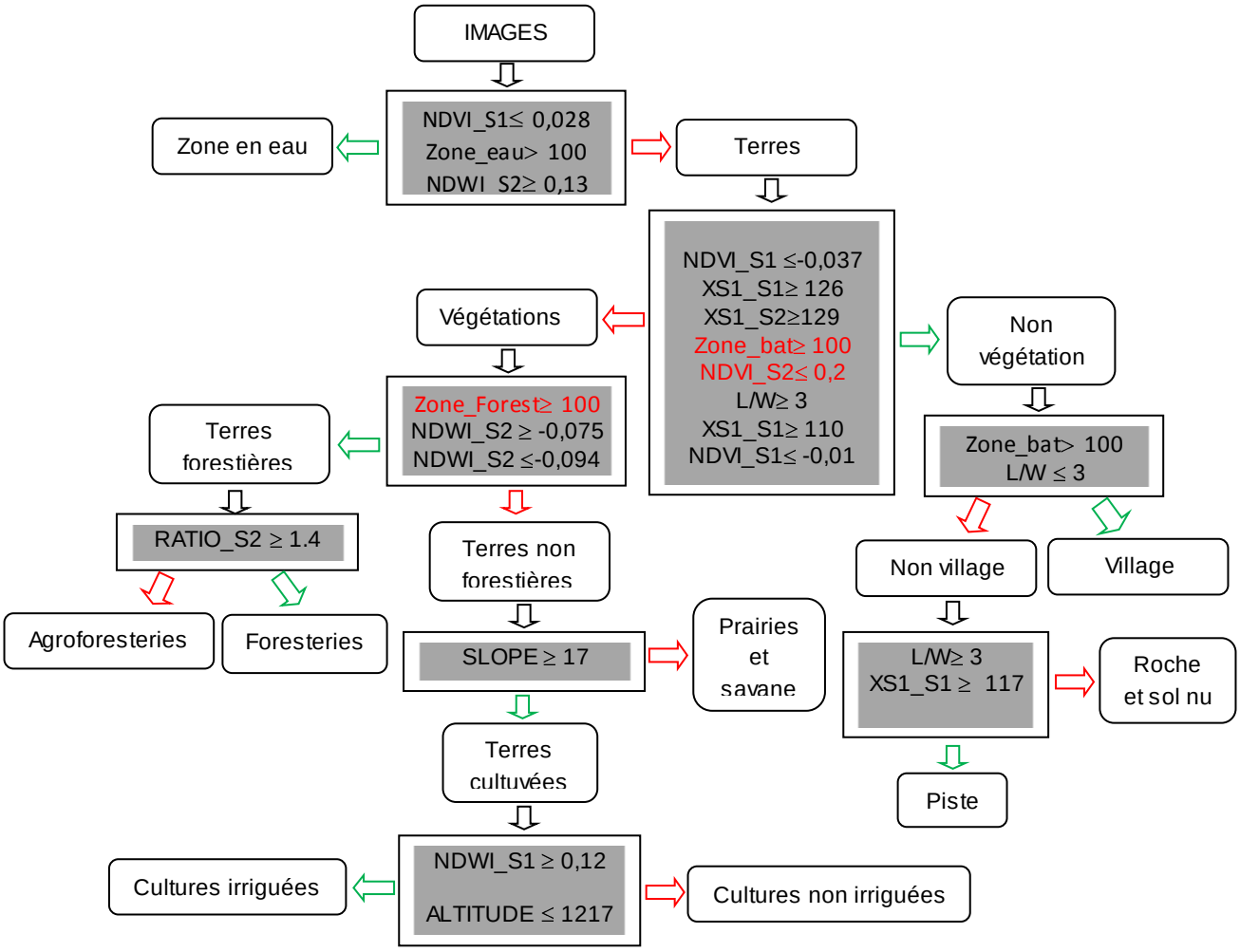


Tableau XVII: Bande spectrale et indices utilisés lors de la classification des images pour la ZPC Ampasamanatongotra

Bande spectrale et indices radiométriques	Intérêts
XS1	Discrimination des classes « végétation » et « non végétation » puis des classes « piste » et « roche et sol nu »
NDVI	Séparation des classes « zone en eau » et « terres », « végétation » et « non végétation », « foresteries »
NDWI	Discrimination des classes « zone en eau » et « terres », « végétation et non végétation », « Terres forestières » et « non forestières »
RATIO	Séparation des classes « foresteries » et « agroforesteries »
Masque eau (Zone_eau)	Facilite la détection de la classe zone en eau
Masque forestières (Zone_Forêt)	Renfort la détection des zones forestières
Masque zone bâti (Zone_bat)	Facilite la détection de la classe zone village.
Indices morphologiques	Intérêts
PENTE	Séparation des classes « terres cultivées » et « prairies et savane »
ALTITUDE	Féparation des classes « cultures irriguées » et « cultures non irriguées »
Indices géométriques	Intérêts
Longueur sur largeur	Séparation des classes : « végétation » et « non végétation », « village » et « non village », « piste » et « roche et sol nu »

Arbre de décision pour la ZPC d'Andranomody:

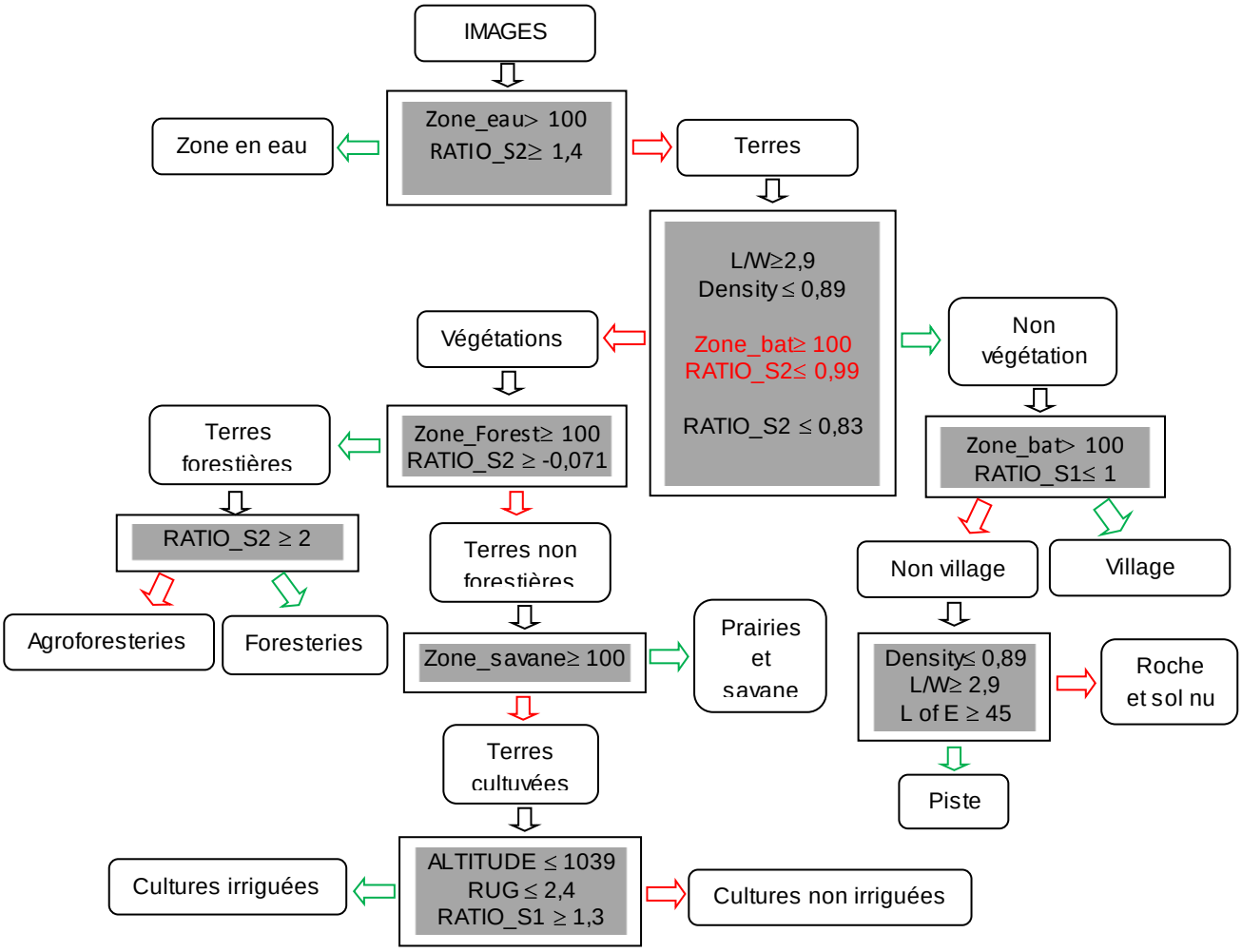
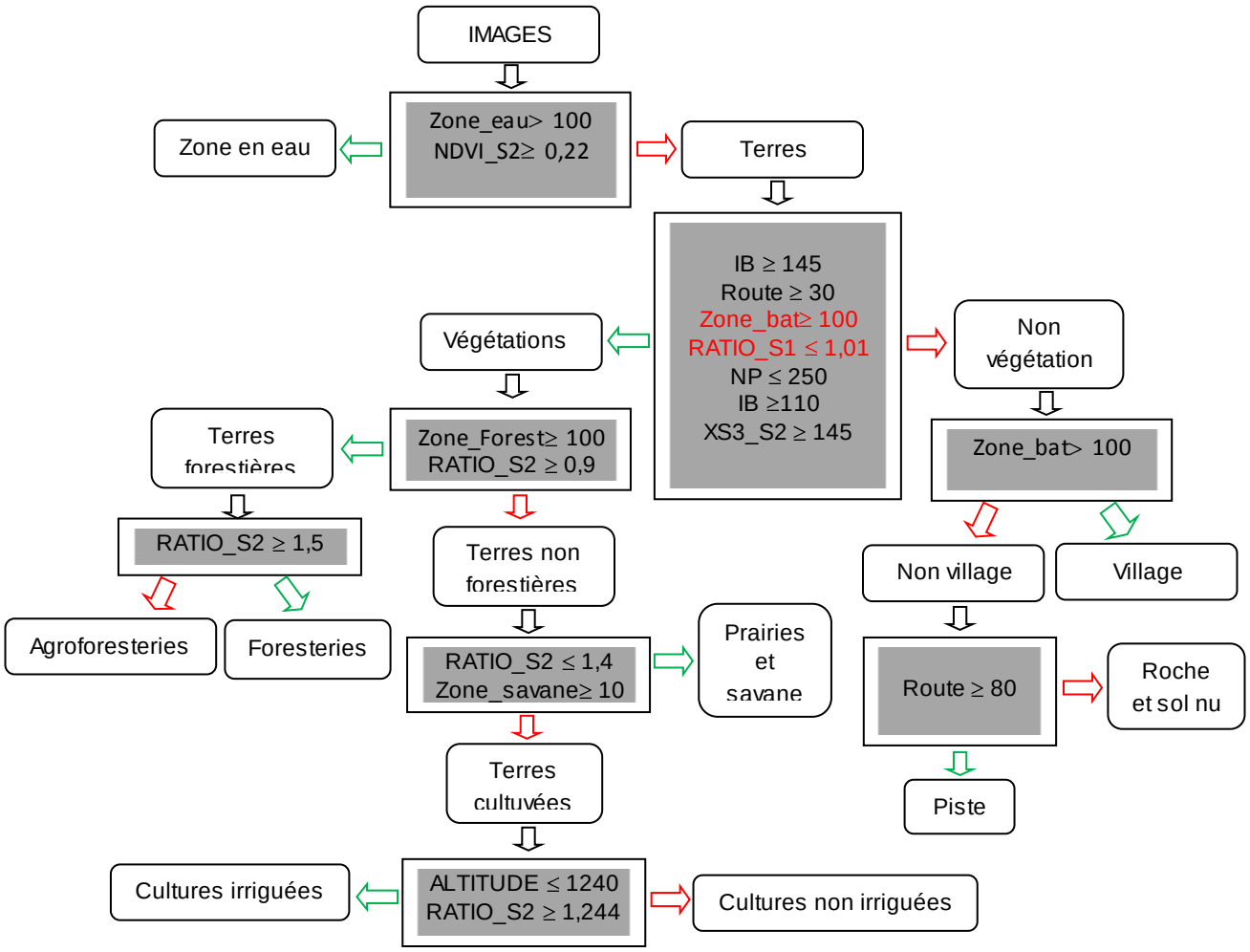


Tableau XVIII: Indices utilisés lors de la classification des images pour la ZPC Andranomody

Indices radiométriques	Intérêts
RATIO	Séparation des classes « foresteries », « agroforesteries », « zone en eau » et « terres », « végétation » et « non végétation », « terres forestières » et « terres non forestières », « cultures irriguées » et « cultures non irriguées », « village » et « non village »
Masque eau (Zone_eau)	Facilite la détection de la classe zone.
Masque forestières (Zone_forêt)	Facilite la détection des zones forestières
Masque zone bâti (Zone_Bat)	Facilite la détection de la classe zone village.
Masque savane (Zone_savane)	Facilite la détection de la classe prairie et savane.
Indices	Intérêts

morphologiques	
Rugosité (RUG)	Séparation des classes « cultures irriguées » et « cultures non irriguées »
ALTITUDE	Discrimination des classes « cultures irriguées » et « cultures non irriguées »
Indicesgéométriques	Intérêts
Longueur sur largeur	Séparation des classes : « végétation » et « non végétation », « piste » et « roche et sol nu »
Densité	Discrimination des classes « piste » et « roche et sol nu »
Longueur du bord le plus long	Séparation des classes « piste » et « roche et sol nu »

Arbre de décision pour la ZPC d'Ankonabe :



Annexe D: Matrices de confusion - étude échelle communale

Classifié / Observé	Terres humides	Etablissement, roche et sol nu	Terres foresteries	Terres cultivées	Jachères, prairies et savane	Total	Précision producteur
Terres humides	197	14		35	2	248	79%
Etablissement, roche et sol nu	1	873	3	100	23	1000	87%
Terres foresteries		7	1435	289	1	1732	83%
Terres cultivées		9	5	978	8	1000	98%
Jachères, prairies et savane		32		121	847	1000	85%
Total	198	935	1443	1523	881	4980	
Précision utilisareur	99%	93%	99%	64%	96%		
Précision globale	87%						
Kappa	0,83						

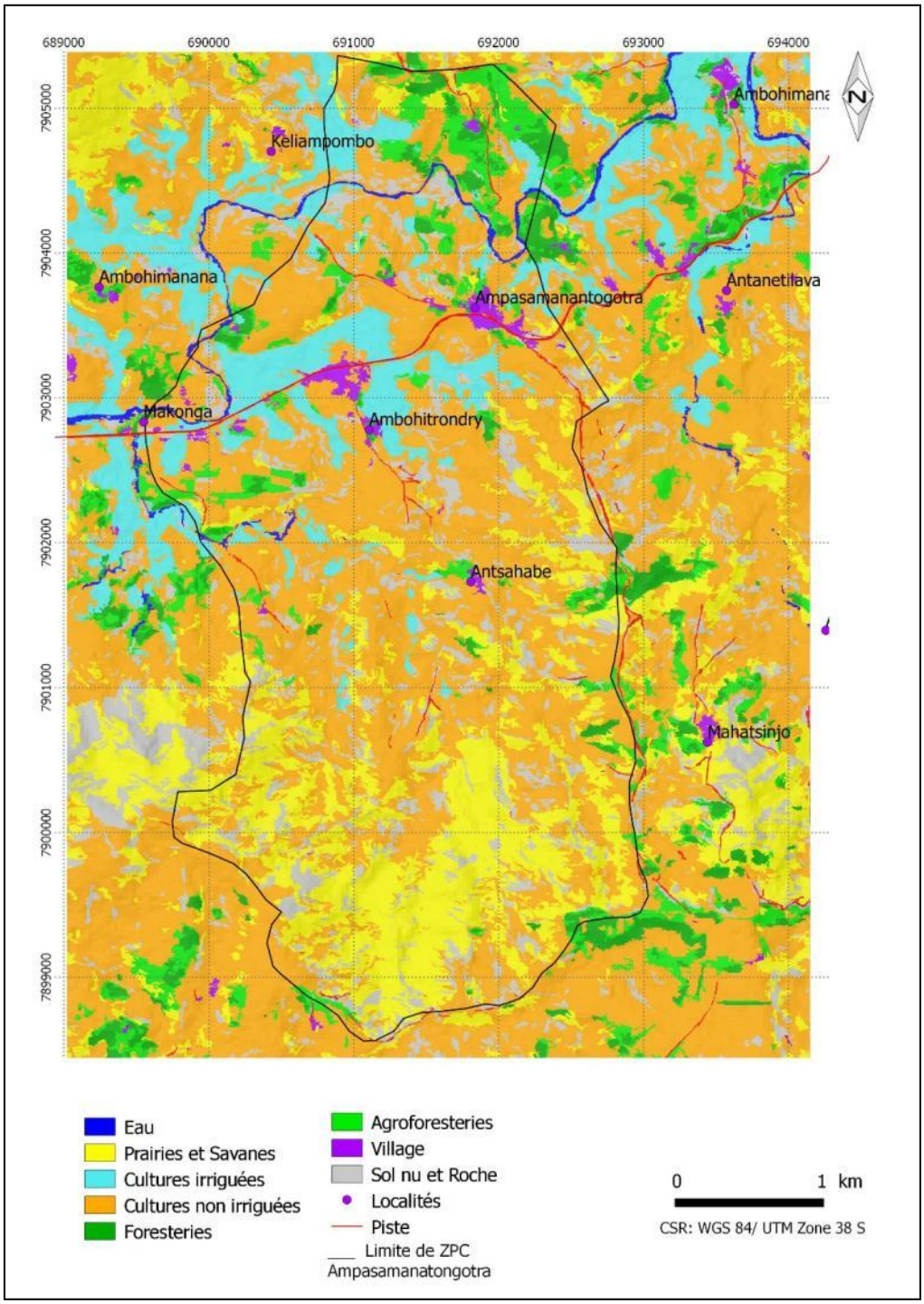
Annexe E: Résultats obtenus à l'échelle ZPC

Matrice de confusion pour la ZPC d'Amboara

Classifié / Observé	Eau	Prairie et savane	Cultures non irriguées	Cultures irriguées	Fores-teries	Agrofo-resteries	Village	Piste	Sol nu et roche	Total	Précision producteur
Eau	15	1	1	1			3	2		23	65%
Prairie et savane	1	781	48	1		4	4	12	5	856	91%
Cultures non irriguées		19	725	81	2	5	2	19	3	856	85%
Cultures irriguées		19	206	615	4	3	2	1	6	856	72%
Foresteries			2	4	309	4				319	97%
Agroforesteries		16	38	13	2	762	7	12	6	856	89%
Village		38	59	9	2	75	748	12	43	986	76%
Piste		17	33	1		9	9	489	13	571	86%
Sol nu et roche	1	25	30	3	4	16	56	34	728	897	81%
Total	17	916	1142	728	323	878	831	581	804	622	

										0	
Précision utilisateur	88 %	85%	63%	84%	96%	87%	90%	84 %	91%		
Précision Globale	83%										
Kappa	0.81										

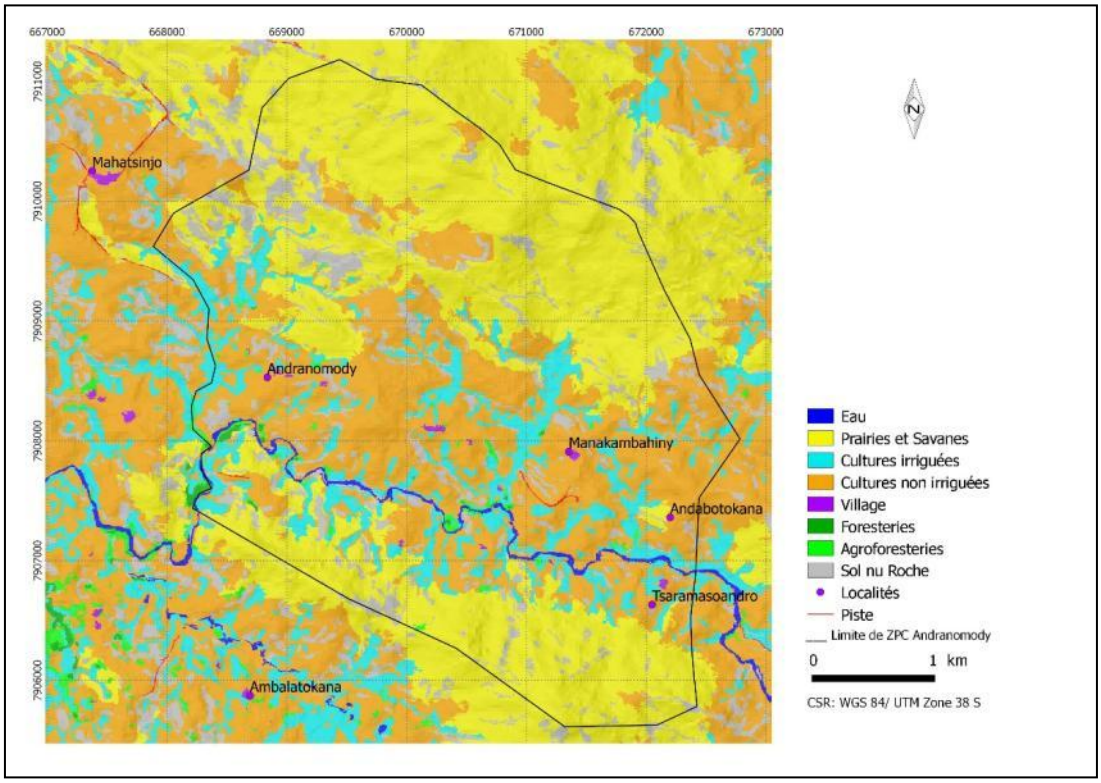
Carte d'usage du sol pour la ZPC d'Ampasamanatongotra



Matrice de confusion pour la ZPC d'Ampasamanatongotra

Classifié / Observé	Eau	Prairie et savane	Cultures irriguées	Cultures non irriguées	Fores-teries	Agrofo-resteries	Village	Piste	Sol nu et roche	Total	Précision producteur
Eau	53		4	7			4	3	4	75	71%
Prairie et savane		781		83	4	1		4	17	890	88%
Cultures irriguées	1	5	438	79	4	3			11	541	81%
Cultures non irriguées	4	5	12	661		2	2	3	11	700	94%
Foresteries		11	3	11	164	14				203	81%
Agroforesteries	1	19	5	50		212	1		1	289	73%
Village	3		1	21	1	3	90	1	11	131	69%
Piste	2	2		8			1	102	17	132	77%
Sol nu et roche	1	11	1	44			9	22	721	809	89%
Total	65	834	464	964	173	235	107	135	793	3770	
Précision utilisateur	82%	94%	94%	69%	95%	90%	84%	76%	91%		
Précision globale	85%										
Kappa	0.82										

Carte d'usage du sol pour la ZPC d'Andranomody

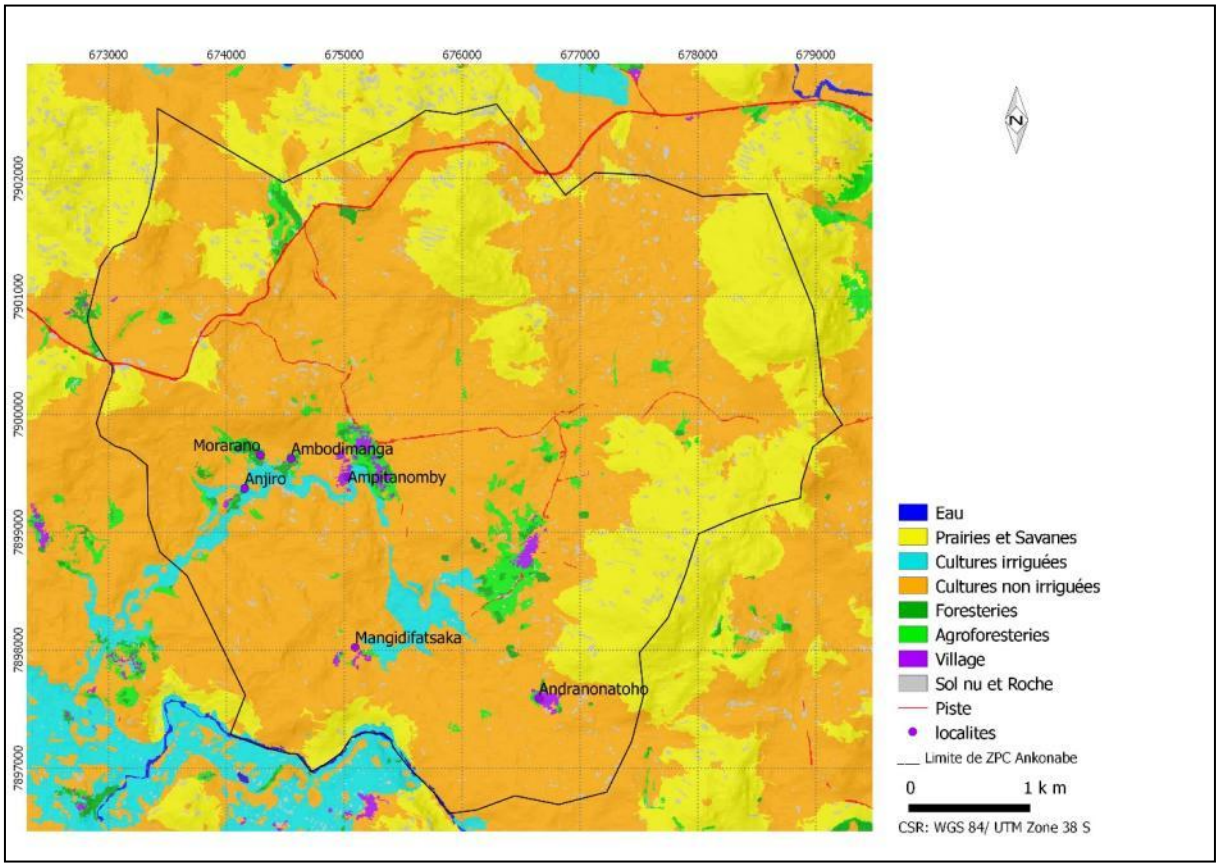


Matrice de confusion pour la ZPC d'Andranomody

Classifié / Observé	Eau	Prairie et savane	Cultures irriguées	Cultures non irriguées	Village	Fores-teries	Agrofo-resteries	Piste	Sol nu et roche	Total	Précision producteur
Eau	75		2	1						78	96%
Prairie et savane		732		14			2		2	750	98%
Cultures irriguées		1	809	17		2	4			833	97%
Cultures non irriguées	5	18	27	690					10	750	92%
Village		1			23				1	25	92%
Foresteries						15	3			18	83%
Agroforesteries	1	2	3				87			93	94%
Piste			1	1				39	1	42	93%
Sol nu et roche	2	15	6	14			1	1	644	683	94%
Total	83	769	848	737	23	17	97	40	658	3272	
Précision utilisateur	90 %	95%	95%	94%	100 %	88%	90%	98 %	98%		
Précision global	95%										

Kappa	0,94

Carte d'usage du sol pour la ZPC d'Ankonabe



Matrice de confusion pour la ZPC d'Ankonabe

Classifié / Observé	Eau	Prairie et savane	Cultures irriguées	Cultures non irriguées	Foresteries	Agrofo-resteries	Village	Piste	Sol nu et roche	Total	Précision producteur
Eau	38	1		2			1		1	43	88%
Prairie et savane		507		32		5			6	550	92%
Cultures irriguées		1	557	18	1	2				579	96%
Cultures non irriguées		7	4	536		1			2	550	97%
Foresteries		3	5	6	74	5				93	80%
Agroforesteries		8		7		178				193	92%
Village		1					91		3	95	96%
Piste				5				50	3	58	86%
Sol nu et		37	1	27		2	2	1	605	675	90%

roche											
Total	38	565	567	633	75	193	94	51	620	2836	
Précision utilisateur	100 %	90%	98%	85%	99%	92%	97%	98%	98%		
Précision globale	93%										
Kappa	0,91										

AssociationEtc Terra
Lot VE 26 L - Ambanidia
101 Antananarivo I Madagascar
www.etcterra.org

RomualdVaudry
Mobile : +261 (0)34 49 840 01
r.vaudry@etcterra.org

Etc Terra