



DOMAINE DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
MENTION : PHYSIQUE ET APPLICATIONS



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER
Parcours : Physique du Globe
Option : TELEDETECTION et S.I.G

CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DES SOLS DANS LA REGION ITASY : PHOTO-INTERPRETATION

Présenté le 25 Novembre 2015



Par : ANDRIANIRINA Topaniaina

Devant la commission d'examen composée de :

Président : Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien Noël, Professeur titulaire

Encadreur : Monsieur RAKOTONDRAOMPIANA Solofo, Professeur titulaire

Examineur : Monsieur RAKOTONIAINA Solofoarisoa, Professeur







DOMAINE DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
MENTION : PYSIQUE ET APPLICATIONS



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER
Parcours : Physique du Globe
Option : TELEDETECTION et S.I.G

CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DES SOLS DANS LA REGION ITASY : PHOTO-INTERPRETATION

Présenté le 25 Novembre 2015



Par : ANDRIANIRINA Topaniaina

Devant la commission d'examen composée de :

Président : Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien Noël, Professeur titulaire

Encadreur : Monsieur RAKOTONDRAOMPIANA Solofo, Professeur titulaire

Examineur : Monsieur RAKOTONIAINA Solofoarisoa, Professeur



Présentation de l'IOGA

♣ Historique

Construit en novembre 1889 sur la colline d'Ambohidempona, près de l'emplacement actuel de l'Université d'Antananarivo à Ambohitsaina, l'Observatoire a été le premier centre de recherche scientifique de Madagascar. Il fut tout d'abord dirigé par les Pères Jésuites français, successivement par les R.P. Édouard COLIN (1889-1923), Charles POISSON (1924-1965), et Louis de LATTRE (1965 – 1967). Il se cantonnait alors surtout dans les travaux météorologiques, astronomiques, géodésiques, magnétiques. Il y avait également un service de l'heure. Il devait ensuite s'occuper de l'enregistrement sur papier des tremblements de terre et portait la dénomination d'« Observatoire Royal de Madagascar ». Le 1er janvier 1967, l'Observatoire fut vendu par les Jésuites à l'État malgache pour 1 franc symbolique. L'Observatoire est, depuis cette date, sous tutelle de l'Université de Madagascar, la seule université qui existait à cette époque. Il fut alors rattaché à la Faculté des Sciences et Messieurs Jean Marc de COMARMOND, AH-HEE Philippe, RAKOTOMAVO Bruno en étaient successivement les responsables scientifiques. En 1969 une restructuration de la Faculté des Sciences eut lieu. L'Observatoire faisait alors partie du Service de Physique dirigé par le Professeur RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA. De gros efforts furent alors entrepris pour continuer tout d'abord, puis développer ensuite les travaux légués par les Pères Jésuites avec des moyens financiers souvent très limités. C'est ainsi que l'Observatoire a pu se doter d'instruments modernes en sismologie. En 1973, l'Observatoire a été transformé en un service de la Faculté des Sciences de l'Université de Madagascar, le budget du service de physique ne pouvant plus subvenir à son fonctionnement. Il était alors dirigé par le Professeur RAKOTONDRAINIBE, premier sismologue malgache, qui, hélas ! mourut brutalement en juillet 1988. Au cours de ces quinze années (1973-1988), un grand effort de rénovation et de modernisation a été entrepris :

Enregistrement sur bande magnétique et numérisation des signaux sismiques®

Mise en norme internationale de l'Observatoire magnétique (remplacement du traditionnel variomètre La Cour par un variomètre Triaxial à vanne de flux),

Extension du parc informatique,

Numérisation des signaux sismiques et géomagnétiques,

La recherche fondamentale a été développée, mais la recherche appliquée n'a pas été pour autant délaissée ; la nouvelle section de Géophysique Appliquée s'intéresse à l'application des diverses méthodes de prospection géophysique : recherche d'eau, recherche minière, prospection archéologique ou pour le génie civil, étude structurale. Plusieurs chercheurs ont concrétisé leurs travaux de recherche par l'obtention du Doctorat d'État, du Doctorat du 3e cycle et du Masters en géophysique. De nombreuses relations de travail ont été établies pendant cette période avec des laboratoires et organismes scientifiques aussi bien nationaux qu'internationaux, relations qui ont été concrétisées par des échanges de publications ou rapports ainsi que des chercheurs. De par la multiplicité de ses diverses sections de recherche (sismologie, géomagnétisme, géophysique appliquée...) et où les travaux ne se limitent plus aux seules observations astronomiques, l'Observatoire prit à partir de 1994 la dénomination d'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (I.O.G.A.). Il est sis à Antananarivo et a été rattaché au Rectorat de l'Université d'Antananarivo (devenu Présidence en 2003), mais ses travaux de recherche ont pour champ d'études toutes les régions de Madagascar, l'île tout entière et la région de l'océan Indien. Depuis plusieurs années, un intérêt particulier est axé sur la recherche appliquée à impact national et intégré au développement régional. Car le développement ne peut se concevoir sans le concours de la science et de la technologie. L'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo a atteint actuellement le top du niveau international. C'est le couronnement de plus de 100 années d'activités scientifiques et techniques au cours desquelles les directeurs successifs et les techniciens de cette institution n'ont pas ménagé leurs efforts pour donner le meilleur d'eux-mêmes. Mais ceci n'a été possible que si le Ministère de tutelle, les services techniques des différents ministères, les différentes hiérarchies universitaires, les sociétés savantes nationales ou internationales, les organismes scientifiques et techniques, publics ou privés, les représentations diplomatiques de nombreux pays, les laboratoires nationaux et étrangers, les chercheurs et hommes de science de diverses spécialités ont apporté chacun leurs contributions, si nécessaires

et combien précieuses. L'I.O.G.A. est devenu le grand monument de la solidarité scientifique nationale et internationale....

♣ Les laboratoires de l'IOGA

L'I.O.G.A. comprend plusieurs laboratoires de recherche :

Le laboratoire de Sismologie et d'Infrasons (LSI) ;

Le laboratoire de Géomagnétisme et d'Électromagnétisme (LGE) ;

Le laboratoire de Géophysique Appliquée (LGA) ;

Le laboratoire de Géophysique de l'Environnement et de Télédétection (LGET).

L'I.O.G.A. comprend aussi un centre de traitement informatique, et un atelier de maintenance des matériels électroniques. Il est également le détenteur officiel du temps à Madagascar. Il dispose à ce titre d'un service de l'heure. Un club d'astronomie amateur fait régulièrement des observations du ciel austral.

♣ Les formations à l'I.O.G.A.

Les chercheurs de l'IOGA assurent également des heures d'enseignement aux différentes facultés et écoles de l'université d'Antananarivo. L'enseignement à caractère universitaire classique se situe à deux niveaux. Le deuxième cycle, Master I de physique, option Physique du Globe, est assuré par des enseignants-chercheurs de l'I.O.G.A. Le troisième cycle, niveau de Master II de Physique du Globe, est assuré par les enseignants nationaux de l'IOGA en collaboration avec des missionnaires étrangers. En 2004, une formation préparant la maîtrise des sciences et techniques en géophysique appliquée (MSTGA) vient d'être ouverte. C'est une formation en 2 ans recrutant les titulaires de BAC+2 (spécifique) et qui a un caractère fortement professionnalisant. Les étudiants diplômés peuvent travailler directement dans les domaines de l'eau, des mines et de l'environnement.

♣ Le service des observatoires et de l'heure

L'Observatoire sismologique assure l'acquisition des signaux issus de sept stations sismiques :

ABM : Ambohimiarambe

ATG : Ambohiby – Tsiroanomandidy

AVY : Angavokely

FIRM : Firavahana

MDSM : Mandiavato – Miarinarivo

OPO : Fihaonana

VTY : Vatovaky

et d'une station infrasonique I33MG composée d'une station centrale I33H1 et de trois stations satellites I33H2, I33H3 et I33H4.

L'analyse et le traitement des données, ainsi que la localisation des séismes et l'établissement des cartes de sismicité.

L'Observatoire magnétique assure : l'acquisition des signaux magnétiques provenant d'un variomètre et d'un magnétomètre à protons.

L'analyse et le traitement des données, le calcul des lignes de base.

L'étude de la variation spatiale et temporelle du champ géomagnétique. C'est un des rares observatoires magnétiques de l'hémisphère Sud. Il fait partie du réseau mondial des observatoires magnétiques INTERMAGNET.

Les observations météorologiques permettent : La fourniture des données météorologiques relatives à la station d'Ambohidempona, qui fut la première station météorologique de Madagascar avant la création de la Direction de la Météorologie à Ampandrianomby.

Les observations astronomiques ont pour but de : « Bien connaître l'Univers afin de mieux protéger la planète Terre ». La Section ASTRO (Astronomie) de l'IIOGA organise régulièrement des séances d'observation du ciel austral.

Le service de l'heure : L'I.O.G.A. est l'organisme garde-temps officiel à Madagascar. A cet effet, il dispose d'une horloge au Rubidium, ainsi que d'un appareil permettant d'obtenir les tops GPS.

♣ Ce que l'I.O.G.A. peut vous offrir

L'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo ne s'occupe pas seulement de recherche. Il veut aussi, et c'est même l'un de ses objectifs, s'impliquer pleinement et directement dans la vie économique du pays. Il met ainsi à la disposition des opérateurs économiques nationaux ou étrangers ses expériences en matière de recherche en Sciences de la Terre et de l'Environnement. Voici les domaines dans lesquels nous pouvons intervenir, avec quelques exemples d'études déjà effectuées :

RECHERCHE D'EAUX SOUTERRAINES :

Modélisation de la circulation d'eau dans un bas-fond type des hautes terres malgaches (Ambohidratrimo)

Alimentation en eau du village d'Anakao — Toliara (prospection électrique, magnétotellurique et sismique)

Origine et caractérisation de la salinité des eaux dans la région de l'Androy.

Caractérisation des aquifères du bassin sédimentaire de BELOHA.

ÉVALUATION DE GISEMENT MINIER :

Recherche d'un prolongement du gisement de Fe-Ni d'Ambatovy (MarovoayMoramanga)

Évaluation de nouveaux gisements de chromite à Andriamena — Brieville (prospection électrique, magnétotellurique, magnétique, gravimétrique et sismique, SIG)

PROSPECTION EN SUBSURFACE :

Prospection archéologique (sites des hautes terres, du Nord-Ouest malgache, à Zanzibar, en Tanzanie, au Kenya, au Zimbabwe...)

Étude géotechnique et/ou pédologique (prospection électrique, magnéto-tellurique, magnétique, gravimétrique et sismique)

Étude de sismicité (indispensable avant implantation d'un grand ouvrage d'art : route, pont, usine, barrage...) Exemple : barrage d'Andekaleka, route RN2, RN4....

Détermination de la zone favorable pour l'implantation d'un puits ou d'un forage en recherche d'eau (région de Morondava, Belo sur Tsiribihina, ...).

ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES EXPLOITATIONS MINIÈRES :

Analyse des vibrations causées par une carrière à Tanjombato, Ivato (prospection électrique, sismique, photo-interprétation, SIG.) Évaluation de l'intensité de la nuisance d'un bruit acoustique. BASE de DONNÉES, S.I.G et PHOTO-INTERPRETATION Base de données géophysique et formation S.I.G.

ÉCRITURE DE PROGRAMMES / LOGICIELS SPÉCIFIQUES :

Nous pouvons écrire, comme nous le faisons déjà pour les besoins de la recherche, des logiciels spécifiques (scientifiques ou de base de données) : modélisation, gestion d'une table à numériser....

CALENDRIER :

Détermination des levers et couchers de soleil. Détermination des phases lunaires.

SERVICE DE L'HEURE :

L'heure locale exacte est donnée sur simple demande à tout organisme public ou privé.

OBSERVATIONS DU CIEL :

Observation des planètes, des étoiles, des constellations.... Formation à la carte Laboratoire de LGET. Le Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et Télédétection (LGET) a été créé en 1997 au sein de l'Institut & Observatoire Géophysique d'Antananarivo (IOGA). Il a pour objectifs de mener des programmes de recherches et de formation sur les applications des images-satellites et des systèmes d'informations géographiques (SIG).

- ✓ Les grands axes de recherche
- ✓ Les thèmes de recherche du laboratoire sont répartis actuellement autour des axes suivants :
 - Les risques naturels
 - La géomatique de la santé
 - Télédétection SIG pour la géologie
 - Nouvelles méthodes de traitement numérique des images

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Dieu tout puissant de m'avoir donné force, santé et courage pour que je puisse mener à terme ce travail.

Ce mémoire n'aurait jamais vu le jour si le Professeur RAHERIMANDIMBY Marson, Responsable du Domaine Sciences et Technologies et le Docteur RAKOTONDRAMANANA Hery Tiana, Responsable de la Mention Physique et Applications ne m'ont pas permis de poursuivre mes études dans ce domaine.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à Monsieur le Directeur de l'I.O.G.A., Professeur RAMBOLAMANANA Gérard, de m'avoir permis de poursuivre mes études dans ce domaine.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à l'endroit de :

Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien Noël, Professeur Titulaire, responsable de l'Équipe d'Accueil Doctorale de la Physique du Globe, de l'Energie et de l'Environnement, d'avoir accepté d'être présent aujourd'hui pour être le président de jury de ce mémoire. Monsieur RAKOTONDRAOMPIANA Solofo, Professeur Titulaire, Chef du Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et de Télédétection (L.G.E.T) de l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo d'avoir consacré son temps, malgré ses occupations, pour me conseiller et diriger mon travail. Monsieur RAKOTONAINA Solofoarisoa, Professeur, co-responsable du Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et de Télédétection de l'Institut et Observatoire de Géophysique pour ses conseils qu'il m'a donnés pour la réalisation de ce mémoire.

Une mention particulière à Madame RAKOTOVAO Harisoa Narindra, Doctorante en science agronomique, pour son assistance et son soutien inconditionnel.

Je tiens également à remercier tous les professeurs, tout le personnel de l'I.O.G.A, à mes coéquipiers du L.G.E.T., ainsi que mes collègues de ma promotion.

Je tiens à remercier aussi les membres de ma famille pour leur soutien moral tout au long de mes études. Que tous ceux qui m'ont apporté un soutien quel que soit sa dimension et sa nature trouvent en ce travail ma reconnaissance.

Ce mémoire a été réalisé grâce au financement de l'International Foundation for Science dans le cadre du projet IFS intitulé « Empreinte carbone d'exploitations agricoles et séquestration du carbone dans le sol suite à l'adoption des pratiques agroécologiques en milieu paysan Région Itasy, Hautes Terres centrales Madagascar ».

Table des matières

Présentation de l'IOGA	i
Remerciements	vii
Table des matières.....	ix
Liste des tableaux	x
Liste des figures.....	xi
Liste des abréviations	xii
Liste des annexes.....	xiii
INTRODUCTION	- 1 -
PARTIE I : CONTEXTE DE L'ETUDE.....	- 3 -
1 Présentation du projet MAHAVOTRA.....	- 3 -
2 Objectif de l'étude	- 3 -
3 Zone d'étude	- 4 -
3.1 Situation administrative de la zone d'étude.....	- 6 -
3.2 Milieu naturel.....	- 6 -
3.2.1 Relief	- 6 -
3.2.2 Sol.....	- 7 -
3.2.3 Hydrographie	- 8 -
3.2.4 Climat	- 8 -
3.2.5 Végétation	- 9 -
PARTIE II : DONNEES ET METHODES.....	- 11 -
1 Données utilisées.....	- 11 -
2 Méthodologie.....	- 15 -

2.1	Choix de la méthode	- 15 -
2.2	Démarche de la photo-interprétation	- 15 -
2.2.1	Les tâches en analyse d'images.....	- 16 -
2.2.2	Procédures d'analyse manuelle	- 17 -
2.3	Critères de la photo-interprétation	- 20 -
2.4	Vérification de la photo-interprétation	- 20 -
2.5	Fusion de la méthode de la photo-interprétation et de la classification semi-automatique.....	- 21 -
PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATION		- 22 -
1	Echelle	- 22 -
2	Typologie.....	- 24 -
3	Critères de la photo-interprétation.....	- 24 -
4	Usage et occupation des sols pour chaque ZPC	- 25 -
4.1	Résultats de la cartographie de la photo-interprétation	- 25 -
4.2	Cartographie de l'occupation des sols.....	- 28 -
PARTIE IV : DISCUSSIONS		- 37 -
1	Quantification des résultats de la méthode de photo-interprétation et de la méthode de classification orientée objet	- 37 -
2	Points forts de l'étude	- 42 -
3	Limites de la méthodologie utilisée.....	- 43 -
CONCLUSION		- 44 -
Bibliographie et webographie		- 46 -
Annexes		I

Liste des tableaux

Tableau I : Température moyenne calculée à partir des deux stations implantées auprès des deux chefs-lieux de District Arivonimamo et Miarinarivo.	- 9 -
Tableau II : Dates et saisonnalités des images téléchargées	- 11 -
Tableau III: Dates et saisonnalités des images utilisées depuis la plateforme Google Earth.....	- 13 -
Tableau IV : Echelle de numérisation dans la photo-interprétation dans les 4 ZPC .-	22 -
Tableau V: Différentes critères de la photo-interprétation.....	- 25 -
Tableau X: Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol pour les ZPC Imeritsiantosika, Andranomody, Ankonabe et Ampasamanantongotra.....	- 36 -
Tableau XI : Comparaison des superficies des classes obtenues par l'approche « photo-interprétation » avec celles de la classification orientée objet effectuée par Etc Terra (2015).....	- 37 -
Tableau XII: Matrice de coïncidence	- 41 -

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la zone d'étude.....	- 5 -
Figure 2: Carte pédologique des ZPC.....	- 7 -
Figure 3: Un extrait de l'image utilisée lors de la photo-interprétation dans la ZPC Ampasamanantongotra (Source : Google Earth 2013).....	- 12 -
Figure 4: Cartographie de l'occupation des sols à l'échelle ZPC faite par Etc Terra., (2015). Les autres cartographies sont envoyées en annexe 4.	- 14 -
Figure 5: Modèle conceptuel de l'analyse d'image. [Source : Estes, et al., 1983]	- 19 -
Figure 6: Exemple de processus de la fusion de la photo-interprétation et des résultats de la classification orientée objet.	- 21 -
Figure 7 : Différentes échelles de numérisation pour la photo-interprétation (Extrait d'image dans la ZPC Imeritsiantosika).	- 23 -
Figure 8: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Ampasamanantongotra.....	- 26 -
Figure 9: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Ankonabe-	27
-	
Figure 10: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Andranomody.	- 27 -
Figure 11: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Imeritsiantosika.	- 28 -
Figure 12: Occupation des sols dans la ZPC Ampasamanantongotra.....	- 29 -
Figure 13: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Ampasamanantongotra..	30 -
Figure 14: Occupation des sols dans la ZPC Ankonabe.	- 31 -
Figure 15: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Ankonabe.	- 32 -
Figure 16: Occupation des sols dans la ZPC Andranomody.	- 32 -
Figure 17: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Andranomody.	- 33 -
Figure 18: Occupation des sols dans la ZPC Imeritsiantosika.	- 34 -
Figure 19: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Imeritsiantosika.....	- 35 -

Liste des abréviations

ADEM : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFD : Agence Française de Développement

AMADES : Association MAlagasy pour le Développement Economique, Social et Environnemental

B : Bande

BD : Base de données

COO : Classification Orientée Objet

DERAD : Diagnostic environnemental et recherches appliquées pour le développement en milieu rural

DMEESS : Direction du Marketing et des Etudes Economiques Service des Statistiques Agricoles

DREAL : Direction Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et de l'Environnement

GES : Gaz à effet de serre

IFS: International Foundation for Science

IOGA : Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo

IR : Infra-Rouge

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

LRI : Laboratoire des Radio-isotopes

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

ONE : Organisation Nationale pour l'Environnement

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAN : Panchromatique

PDD : Project Design Document

PI : Photo-Interprétation

PRDR : Plan Régional de Développement Rural

SCV : Semis sur Couverture Végétale

SIG : Système d'Information Géographique

SPOT: Satellite pour l'Observation de la Terre

T° : Température

THRS : Très Haute Résolution Spatiale

ZPC : Zone Potentielle à Cartographier

Liste des annexes

Annexe 1 : Les partenaires impliqués dans le projet MAHAVOTRA.

Annexe 2 : Caractéristiques des capteurs QuickBird.

Annexe 3 : Image Google Earth utilisée lors de la photo-interprétation.

Annexe 4 : Cartographie de l'occupation des sols à l'échelle du Fokontany (Etc Terra., 2015).

Annexe 5 : Typologies adoptés pour l'occupation des sols de la classification orientée objet (Etc Terra., 2015).

Annexe 6 : Matrice de classification et matrice de coïncidence de la comparaison des superficies des classes obtenues par l'approche « photo-interprétation » avec celles de la classification orientée objet effectuée par Etc Terra (2015).

Annexe 7 : Calcul statistique de la matrice de coïncidence.

INTRODUCTION

La région Itasy renferme une potentialité agricole variée (sols volcaniques et ferrallitiques, bassins rizicoles, importante densité hydrographique et existence de nombreux plans d'eau) et des richesses en biodiversité (ONE., 2007). Or, la plupart des agriculteurs de la région utilisent les pratiques agricoles traditionnelles telles que la culture sur brûlis comme dans toutes les autres régions de Madagascar (Baffert, 2006). En plus, la population locale exploite la forêt pour la production de combustibles et de charbons de bois dans les usages domestiques (Raharimalala, 2007). Pourtant, ces pratiques puisent les éléments nutritifs du sol sans pour autant les remplacer (Razakamanarivo Ramarson, 2009). De ce fait, le sol s'épuise progressivement et la production agricole diminue d'année en année, augmentant ainsi l'insécurité alimentaire (DMEESS., 2007).

Dans cette optique, l'agroécologie permet d'améliorer la production agricole tout en préservant l'environnement et l'écosystème (GOODPLANET., AGRISUD., 2011). Elle permet également de stocker du carbone dans les biomasses et dans le sol (Lal, 2004). Le projet MAHAVOTRA, projet d'agroécologie et forêt paysanne dans l'Itasy a été lancé en 2012. Il vise l'évolution de l'agriculture à travers une restauration globale de l'environnement agroécologique des exploitations et par une intégration de l'arbre dans les systèmes de culture, permettant à la fois de maintenir l'existence et d'investir sur des activités génératrices de revenus à moyen et long terme (GOODPLANET., AGRISUD., 2011).

Dans ce projet, il y a quatre activités (GOODPLANET., AGRISUD., 2011), mais notre étude rentre dans l'activité 3 du projet : développement de méthodes d'analyse et de suivi de l'impact carbone. Comme le stock de carbone du sol

est fortement dépendant du mode d'usage des terres ou des pratiques culturelles (Schuman *et al.*, 2002), la télédétection et les SIG (Système d'Information Géographique) s'avèrent utiles pour la cartographie de l'occupation du sol permettant ainsi la modélisation du taux du stock moyen du carbone du sol. Mais, la précision de la cartographie de l'occupation du sol reste un défi majeur pour la télédétection et les SIG. De ce fait, on adopte la méthode de la photo-interprétation pour avoir les classes (zone d'agroforesterie, forêt, cultures vivrières, riziculture et village) et l'on intègre les résultats de classification orientée objet effectuée par Etc Terra (2015) afin d'obtenir la cartographie finale de l'occupation des sols.

Le présent rapport qui résume notre étude s'articulera autour de quatre parties : la première partie parlera du contexte de l'étude. La deuxième partie relative à la méthodologie décrira les données et les méthodes utilisées. La troisième partie portera sur l'analyse des résultats suivis de leur interprétation. Et la quatrième partie sera consacrée aux discussions. Le rapport se termine par une conclusion.

PARTIE I : CONTEXTE DE L'ETUDE

1 Présentation du projet MAHAVOTRA

Le projet MAHAVOTRA ou « Agroécologie et forêt paysanne en Itasy » est un projet pilote d'évaluation de l'impact carbone des pratiques agroécologiques dans la Région Itasy. Le projet qui a débuté en 2012 pour une durée de 4 ans a été financé par l'Agence Française de Développement (AFD), le Groupe Stars Service et la Région Aquitaine. Il a quatre activités :

- Activité 1 : Accompagnement et formation à l'amélioration des performances techniques, économiques et environnementales des exploitations
- Activité 2 : Appui à l'aménagement et à la mise en valeur des espaces fragiles et marginaux
- Activité 3 : Développement de méthodes d'analyse et de suivi de l'impact carbone du projet avec l'appui d'instituts de recherche
- Activité 4 : Elaboration d'un programme de déploiement du projet et des outils associés

Les travaux réalisés dans ce mémoire se situent dans le cadre de l'activité 3 du projet MAHAVOTRA relatif à l'étude de l'impact carbone des pratiques agroécologiques adoptées par les paysans de la région.

2 Objectif de l'étude

L'activité 3 du projet qui a pour objectif de modéliser le taux moyen de carbone du sol, la cartographie de l'occupation du sol, est l'une des étapes pour atteindre cet objectif. Ce travail concerne le carbone du sol dans la zone d'étude par la réalisation de la carte d'occupation du sol. C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée avec pour objectif principal de cartographier les différentes classes (« zone d'agroforesterie », « culture vivrière », « forêt »,

« riziculture » et « village ») de la zone par la méthode de photo-interprétation. Ensuite, on injecte les résultats de cartographie de la classification orientée objet d'Etc Terra (2015) dans notre propre cartographie dans le but d'obtenir la carte d'occupation du sol finale.

3 Zone d'étude

L'activité 3 du projet touche huit communes de la Région Itasy, dans le Moyen-Ouest de Madagascar : Alatsinainikely, Ankararana, Analavory, Miarinarivo II, Arivonimamo II, Imerintsiatosika, Ambohitrambo et Ampahimanga (Figure 1). Mais dans la présente étude, la zone d'intervention concerne seulement quatre zones potentielles à cartographier (ZPC) (Figure 1). Le critère de choix des ZPC a été fait 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.

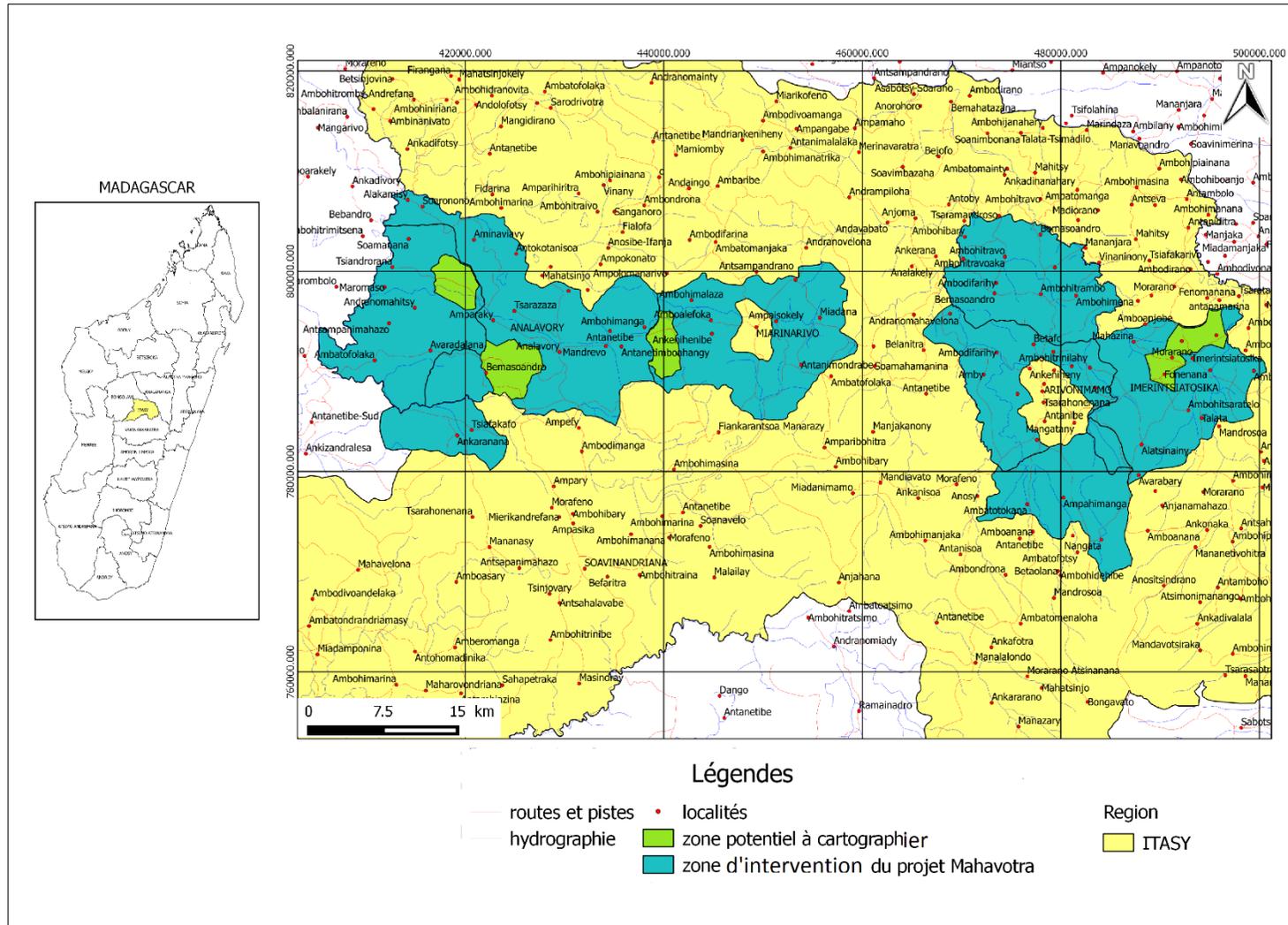


Figure 1: Localisation de la zone d'étude.

3.1 Situation administrative de la zone d'étude

- ZPC Andranomody : se trouve dans le district de Miarynarivo, commune d'Alatsinainikely, fokontany d'Andranomody ;
- ZPC Ankonabe : se trouve dans le district de Miarynarivo, commune d'Analavory, fokontany d'Ankonabe ;
- ZPC Ampasamanantongotra : se trouve dans le district de Miarynarivo, commune de Miarynarivo II, fokontany d'Ampasamanantongotra ;
- ZPC Imeritsiantosika : se trouve dans le district d'Arivonimamo, commune d'Imeritsiantosika, fokontany d'Amboara, de Tsenamasoandro, d'Ambohimanyarivo et de Fonenana.

3.2 Milieu naturel

3.2.1 Relief

La Région Itasy est caractérisée par la présence de plusieurs massifs assez élevés différents de l'Est à l'Ouest (PRDR., 2006) :

- A l'Est, les piémonts de l'Ankaratra constituent des massifs aux versants convexes qui retombent sur des vallées de largeur variable (partie orientale d'Arivonimamo et d'Imeritsiantosika).
- A l'Ouest le complexe du lac Itasy offre dans sa partie occidentale un relief plus aéré avec des plaines et des vallées plus larges (secteur d'Analavory, d'Ifanja et de Soavinandriana).
- Au Centre : les hauts massifs sont caractérisés par des chaînes montagneuses à pentes abruptes et chaotiques et des vallées très encaissées (section de Soamahamanyina et de Miarynarivo).

Le relief du ZPC Imeritsiantosika se trouvant dans la partie Est est différent de ceux des autres ZPC dans la partie Ouest.

3.2.2 Sol

En général, on rencontre trois type de sol dans chaque ZPC : les sols ferrallitiques rouges très riches en oxydes de fer et en oxydes d'alumine, les sols bruns eutrophes caractérisés par un fort pourcentage de présence de sable (jusqu'à 40 %) et les sols hydromorphes (organiques et minéraux) à pH acide (Beauchamp., 2006). Les sols ferrallitiques rouges se trouvent presque dans toutes les zones : ils occupent la totalité des ZPC Andranomody et Ampasamantongotra, presque la moitié des ZPC Ankonabe et Imerintsiatosika. Les sols bruns eutrophes se trouvent dans la partie Sud de la ZPC Ankonabe et les sols hydromorphes sont dans la partie Nord de la ZPC Imeritsiantosika (Figure 2).

De ce fait, la nature du sol dans les 4 ZPC (dominance des sols ferrallitiques et de sol bruns eutrophes) montre bien que ces sols sont favorables à l'érosion hydrique et éolienne (glissements de terrain et chutes de pierres).

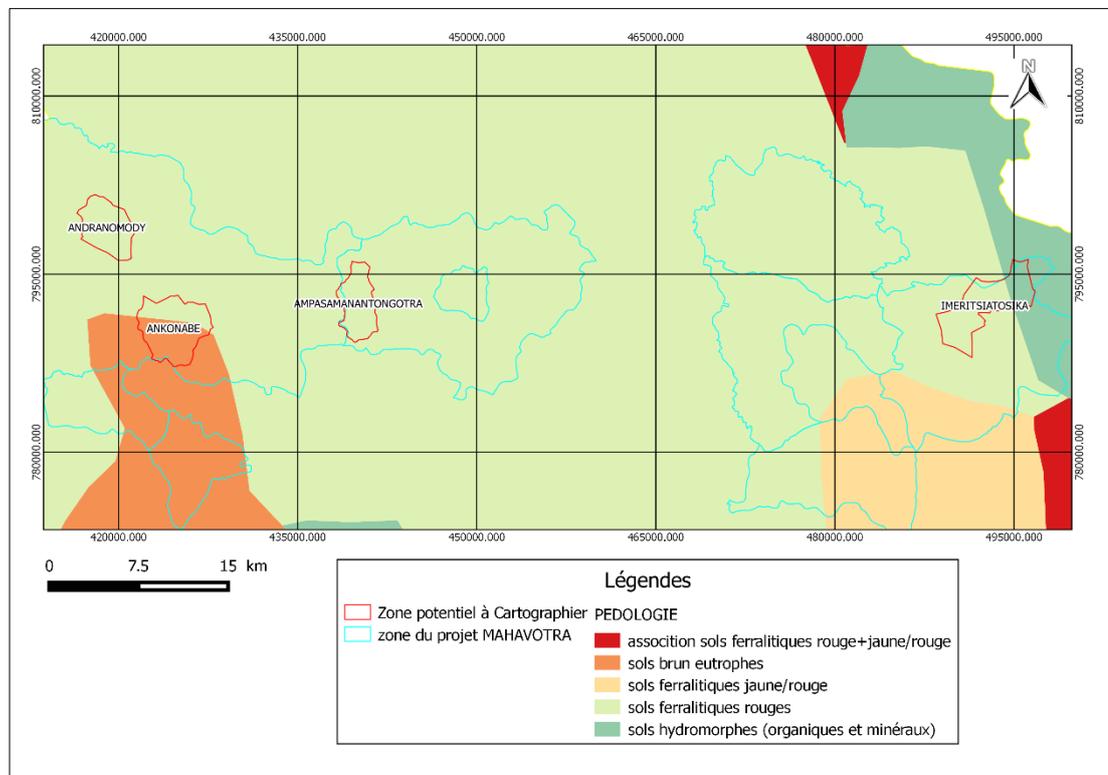


Figure 2: Carte pédologique des ZPC

[Fond de carte : BD500-SIG/ Madagascar]

3.2.3 Hydrographie

Plusieurs ruisseaux et cours d'eaux caractérisent l'hydrographie de la ZPC Andranomody, Ankonabe et Ampasamanantongotra à savoir: la rivière Mazy passant dans la ZPC Andranomody et Ampasamanantongotra et la rivière Lily traversant le Sud de la ZPC Ankonabe. Ces rivières alimentent le fleuve Sakay.

En outre, les zones humides surtout les marais abondent dans la ZPC Imeritsiantosika. Ce milieu a un rôle important dans le phénomène de régulation de l'eau. Actuellement l'aménagement de ces zones en rizières change l'écoulement de l'eau et le système hydrographique (DERAD, 2005).

3.2.4 Climat

En général, le climat dans les zones d'étude est de type tropical d'altitude avec deux saisons bien tranchées (DERAD., 2005) :

- La saison sèche : d'avril à octobre marquée par l'insuffisance de pluie.
- La saison des pluies : de novembre à mars, cette saison est rythmée par des pluies passagères mais régulières.

D'autre part, la zone d'étude a sa spécificité climatique. Pour décrire les paramètres climatiques du milieu d'étude, on a choisi la station météorologique du chef-lieu de district d'Arivonimamo (aéroport) pour la ZPC Imeritsiantosika et la station météorologique du chef-lieu de district de Miarinarivo pour la ZPC Andranomody, Ankonabe et Ampasamanantongotra, du fait de son appartenance à la même unité climatique.

La précipitation annuelle de ces stations varie entre 800mm et 1000mm durant la saison pluvieuse. Mais pendant la saison sèche, la hauteur moyenne mensuelle des pluies se situe à 40 mm.

Et, le tableau I illustre les variations de température moyenne périodique des deux stations implantées dans les deux chefs-lieux de District d'Arivonimamo et de Miarinarivo.

Tableau I : Température moyenne calculée à partir des deux stations implantées auprès des deux chefs-lieux de District Arivonimamo et Miarinarivo.

STATION	ALTITUDE (m)	PERIODE	TEMPERATURE MOYENNE				
			Annuelle	Mois le plus chaud		Mois le plus froid	
				Mois	T°	Mois	T°
Arivonimamo (aéroport)	1450	51-80	17,7	Février	20,1	Juillet	14
Miarinarivo	1330	59-70	19,1	Février	21,5	Juillet	15,4

[*Source* : Direction de la Météorologie et de l'Hydrographie d'Antananarivo Ampandrianomby]

3.2.5 Végétation

Dans toutes les ZPC, les collines ont été colonisées généralement par des savanes qui au début ont été très fournies et très épaisses au point que les bœufs et les êtres humains ne sont pas visibles à l'intérieur (DERAD., 2005). Mais, actuellement cette formation très appauvrie par les feux de brousse est constituée d'un ou deux espèces d'herbes *Aristidae* et *hyparrhenia* ou bozaka. Ces espèces sont utilisées par les habitants pour construire les toits de leurs cases (ONE., 2008). On y trouve aussi, quelques forêts de *Pinus* et de *Mimosa* et quelques groupements d'eucalyptus.

PARTIE II : DONNEES ET METHODES

1 Données utilisées

Les images utilisées pour la photo-interprétation dans le cadre de ce travail sont les images de Très Haute Résolution Spatiale (THRS) acquies gratuitement depuis la plateforme Google Earth (cf annexe 2). En effet, Google Earth met à jour sa base de données des images depuis les satellites QuickBird (cf annexe 3), Sanborn et EarthSat (Émilie., 2005). On peut consulter toutes les images de la plateforme mais seules les dernières images sont téléchargeables. Le tableau II montre les dates et les saisons pendant lesquelles les images ont été téléchargées

Tableau II : Dates et saisonnalités des images téléchargées

<i>ZPC</i>	<i>Date de prise</i>	<i>Saison</i>
Ampasamanantongotra	23/12/2013	Humide
Ankonabe	10/04/2013	Sèche
Andranomody	06/11/2013	Humide
Imeritsiantosika	10/12/2014	Humide

Un échantillon de l'image téléchargé depuis la plateforme est présenté à la figure 3 ci-après.

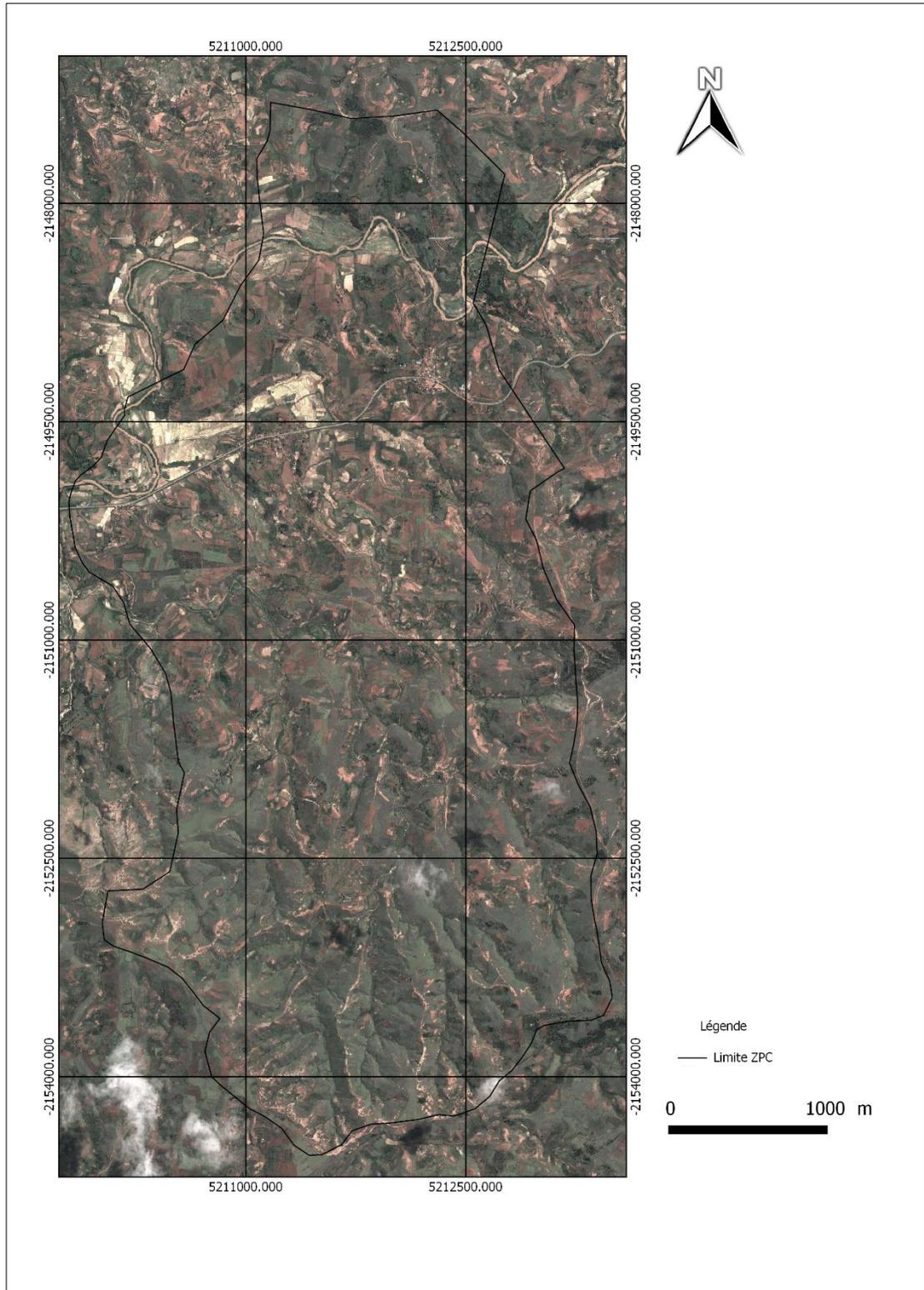


Figure 3: Un extrait de l'image utilisée lors de la photo-interprétation dans la ZPC Ampasamanantongotra (Source : Google Earth 2013).

Dans le but de faciliter l'identification de la nature des parcelles incertitude, on utilise des images à plusieurs dates et à différentes saisons. Le tableau III montre les caractéristiques de ces images.

Tableau III: Dates et saisonnalités des images utilisées depuis la plateforme Google Earth.

<i>ZPC</i>	<i>Date de prise</i>	<i>Saison</i>
Ampasamanantongotra	08/06/2013	Sèche
	29/09/2008	Sèche
Ankonabe	07/11/2013	Humide
	28/04/2013	Sèche
	16/08/2008	Sèche
Andranomody	28/04/2013	Sèche
	16/08/2008	Sèche
Imeritsiantosika	18/06/2015	Sèche
	15/04/2015	Sèche
	07/11/2013	Humide
	07/12/2012	Humide
	21/07/2009	Sèche

Outre les images satellites, on a utilisé également des données terrain acquises pendant la campagne de 2013 conduite par l'équipe de la LRI. Ces données consistent à faciliter l'identification des parcelles non connus ou de vérifier une déduction des éléments non visible lors de la photo-interprétation.

On a utilisé les cartographies de l'occupation et l'usage des sols de 2014 établie par l'ONG Etc Terra (2015) (Figure 4). Les typologies adoptées pour l'occupation du sol à l'échelle de la ZPC dans la méthode de classification orientée objet se trouvent en annexe 5.

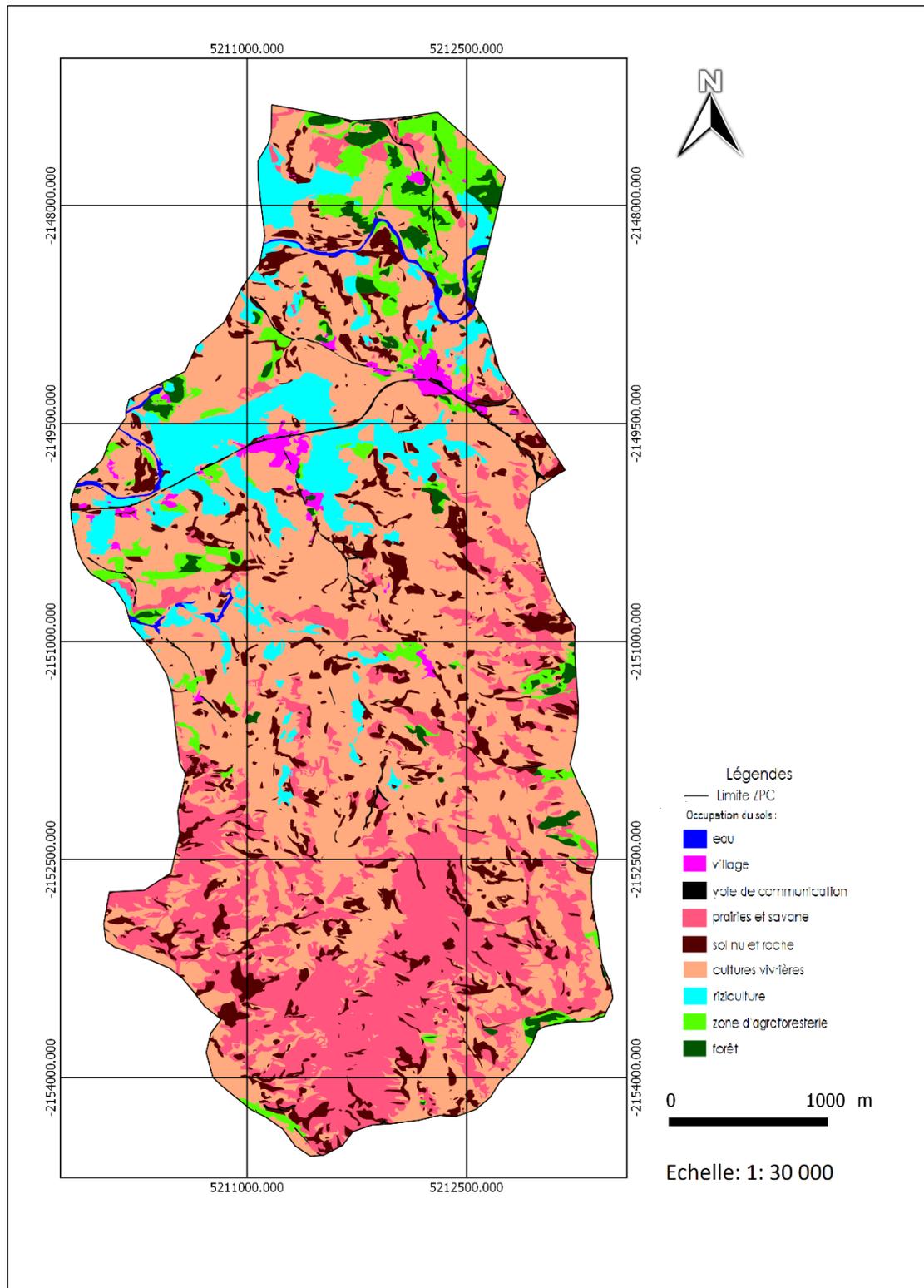


Figure 4: Cartographie de l'occupation des sols à l'échelle ZPC faite par Etc Terra (2015). Les autres cartographies sont en annexe 4.

2 Méthodologie

2.1 Choix de la méthode

Des études de cartographie ont été menées par l'équipe d'Etc Terra sur la zone d'étude, qui utilisent la méthode de classification orientée objet. Toutefois, quelques confusions ont été constatées dans les résultats de la cartographie. A cause de cela, la méthode de photo-interprétation a été adoptée afin d'obtenir les meilleurs résultats possible. De plus, des études antérieures ont démontré l'efficacité de la photo-interprétation pour l'étude de la végétation et des espèces forestières (Provencher, 2006). Dans notre cas, la majorité de la zone est occupée par la végétation.

2.2 Démarche de la photo-interprétation

La photo-interprétation consiste à analyser l'image visuellement. En fonction de son expérience, l'opérateur reconnaît dans l'image les formes et les couleurs (les descripteurs) qui correspondent à son thème d'étude (chaîne de traitement œil-cerveau) (Tormos, 2010). Il délimite alors manuellement les objets détectés et attribue à chacun une classe. Son processus mental se décompose en une série d'opérations plus ou moins conscientes, distinctes mais reliées (Gosselin, 2005). Le processus d'interprétation comporte les étapes suivantes tirées de Farshad (2006) :

- i) Détection : Distingue un objet ou un élément parmi ceux qui l'entourent. En plus de voir l'objet, il faut aussi évaluer son importance par rapport à d'autres.

Cette première étape dépend beaucoup de l'échelle et de la qualité de la photo.

- ii) Identification : Consiste à identifier un ou plusieurs objets clairement visibles en raison de leur ressemblance avec des choses connues.

Cette étape dépend du modèle conceptuel que possède le photo-interprète.

Durant cette étape on attribue une étiquette aux objets reconnus.

- iii) Analyse : Groupement en zones d'objets ou d'éléments de même nature. C'est aussi la délimitation des différentes zones. Même si l'identité de la zone n'est pas établie, elle est délimitée.
- iv) Déduction : L'information obtenue à cette étape n'est pas directement observable sur la photo et repose sur des hypothèses. Ce sont les connaissances du photo-interprète et les informations provenant d'autres sources qui interviennent.
- v) Classification : Description précise et systématique des surfaces délimitées par l'analyse. On peut exclure les éléments mineurs mais il est nécessaire d'apporter une grande précision aux éléments jugés d'importance majeure.
- vi) Validation : Consiste à effectuer un contrôle sur le terrain. Il s'agit ici de vérifier l'identification de certains éléments non-connus, ou encore de vérifier une déduction reposant majoritairement sur des éléments non-visibles. Après avoir effectué la validation, il sera important de revoir la classification pour vérifier son exactitude.

2.2.1 *Les tâches en analyse d'images*

En photo-interprétation, les processus de détection et d'identification sont difficiles à départager et à décrire, car chaque individu perçoit différemment le terrain à interpréter selon son expérience et de sa connaissance intime de la zone d'étude. Pour ce travail, l'identification est basée sur des indices comme la taille et la situation. Ensuite, on attribue pour chaque objet un identifiant, une étiquette. On les regroupe après dans des classes.

On mesure les objets sur une base spatiale ou spectrale. Les mesures peuvent aller de la simple estimation visuelle de la taille, de la forme ou de la couleur

d'un objet aux calculs précis de ses dimensions spatiales ou encore de sa teinte / couleur. Ces mesures sont importantes lors du processus d'identification et peuvent être critiques lors du processus de résolution d'un problème. Lors de la réalisation de la photo-interprétation, on identifie un objet à partir de l'examen de d'autres objets ou phénomènes, cette approche constitue l'une des premières formes du processus de résolution d'un problème. Mais la plupart des problèmes d'analyse requièrent des connaissances autres que celles directement obtenues à partir de l'analyse de l'image.

2.2.2 Procédures d'analyse manuelle

Les procédures d'analyse manuelle impliquent certains processus. Or, quand ces processus sont complétés, il en résulte un étiquetage des objets ou des phénomènes qui apportent d'intérêt pour la réalisation de la photo-interprétation. Ces processus peuvent impliquer des processus décisionnels simples ou complexes.

Un processus de décision simple fait d'abord appel à la reconnaissance d'une teinte, d'un ensemble de patrons de pixel,... Et il fait ensuite directement appel à un modèle perceptuel.

Le processus de décision complexe doit faire appel à une série de raisonnements successifs et à des hypothèses pour résoudre le problème d'identification. D'après Gosselin (2005), il existe trois approches pour résoudre un tel problème:

i) La mise à l'épreuve d'une hypothèse :

L'hypothèse est une réponse potentielle à une question ou une solution à un problème. Elle est une "supposition éclairée", certaines suppositions sont correctes, d'autres pas. L'hypothèse sera mise à l'épreuve en déterminant si une observation (interprétation) confirme ou infirme cette dernière, ou encore sur une base probabiliste en établissant la fréquence des observations qui la

confirme ou l'infirmes. Lorsque la solution à un problème d'interprétation s'avère satisfaisante, l'hypothèse est vérifiée et cette nouvelle connaissance acquise s'ajoute au modèle perceptuel.

ii) La ligne de raisonnement :

Elle implique une série de raisonnements logiques menant à une conclusion, c'est-à-dire à une identification. La ligne de raisonnement fait essentiellement appel à une série de raisonnements dichotomiques du type " si... alors...". La clé d'identification dichotomique représente l'extension directe de la ligne de raisonnement. Par exemple : « si » il y a des groupements d'arbre « alors » c'est une forêt.

iii) La convergence des évidences :

L'analyse manuelle des images constitue principalement une approche déductive, l'identification des objets connus menant à l'identification des objets qui ne le sont pas. Même si tous les objets et processus d'un paysage sont inter reliés, il faut commencer l'analyse quelque part, généralement par les objets qu'on connaît les mieux. Les données auxiliaires permettent également d'accumuler un certain nombre d'évidences. Le principe de la convergence des évidences mène à la conclusion que toutes les interprétations sont fausses ou peu probables sauf une. La plus grande difficulté dans le processus d'interprétation consiste à juger les degrés de probabilité (que telle teinte soit attribuable à tel phénomène, que tel type d'arbre se retrouve sur tel terrain, etc...).

La figure 5 montre une modèle conceptuelle utilisé lors de l'analyse d'image dans le cadre de cette étude.

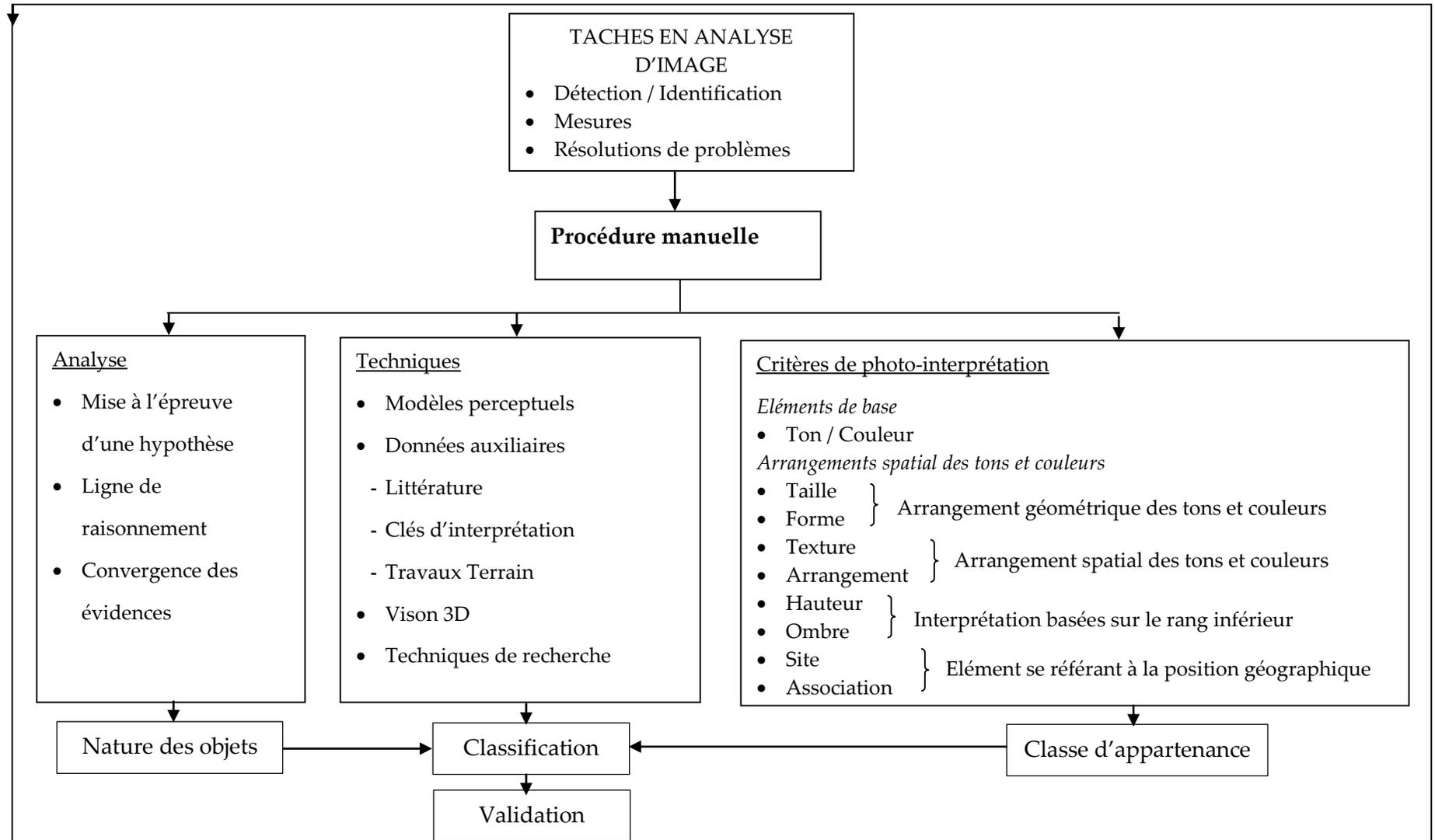


Figure 5: Modèle conceptuel de l'analyse d'image. [Source : Estes, et al., 1983]

2.3 Critères de la photo-interprétation

La photo-interprétation ne se limite donc pas aux premières étapes (détection, identification) que certains auteurs qualifient d'analyse empirique ou encore de raisonnement inductif (Bérard, 1977). La photo-interprétation fait aussi appel au raisonnement déductif qui lui-même fait appel à des outils d'investigation que sont les critères de photo-interprétation. Le nombre de critères varie d'un auteur à l'autre mais certains sont fondamentaux tels que la teinte (ou la couleur), la forme, la taille, la texture, l'ombre, le patron spatial et l'association des formes. À ces critères on peut ajouter l'effet 3D ou l'effet stéréoscopique (Gagnon, 1974) et la position (Spurr, 1960, Jensen, 2000). Carré (1971) classe les critères de photo-interprétation en deux types:

- Les critères directs, utilisant des caractères propres à l'objet lui-même : Taille, forme, teinte, ombre;
- Les critères indirects, faisant appel à l'environnement de l'objet pour en tirer des conclusions logiques: Patron, site, association des formes.

2.4 Vérification de la photo-interprétation

D'après Lemieux, et *al* (2015) dans la « Norme de la photo-interprétation », le travail des vérificateurs est de guider le photo-interprète dans leur photo-interprétation. Ils s'assurent que ces derniers ont bien compris la complexité du territoire, qu'ils ont bien choisi les paramètres de critères de la photo-interprétation. De plus, ils s'assurent de l'uniformité de la photo-interprétation dans l'ensemble de la zone. Les vérificateurs procèdent par échantillonnage dans différents secteurs de la zone et par changement d'échelles de perception. Ils commencent la vérification à très petite échelle (échelle du paysage) puis agrandissent l'échelle jusqu'à l'échelle du peuplement pour obtenir plus de détails. Cela leur permet de cibler tous les paramètres de critères de photo-interprétation. Ensuite, les vérificateurs valident les contours des parcelles en s'appuyant avec les données de vérité terrain et les photos à l'écran 3D. Enfin,

le photo-interprète finisse par la correction de la photo-interprétation. La vérification prend fin lorsque le vérificateur juge que toutes les parcelles respectent la définition des classes d'appartenance et les limites des parcelles soient bien délimitées.

2.5 Fusion de la méthode de la photo-interprétation et de la classification semi-automatique

Afin d'obtenir les autres occupations des sols comme « savane et prairie », « sol nu et roche », et « eaux », on injecte dans les résultats de la photo-interprétation les données d'occupation des sols fournies par Etc Terra (2015), faites avec la méthode de classification orientée objet. La figure 6 montre le processus de cette fusion.

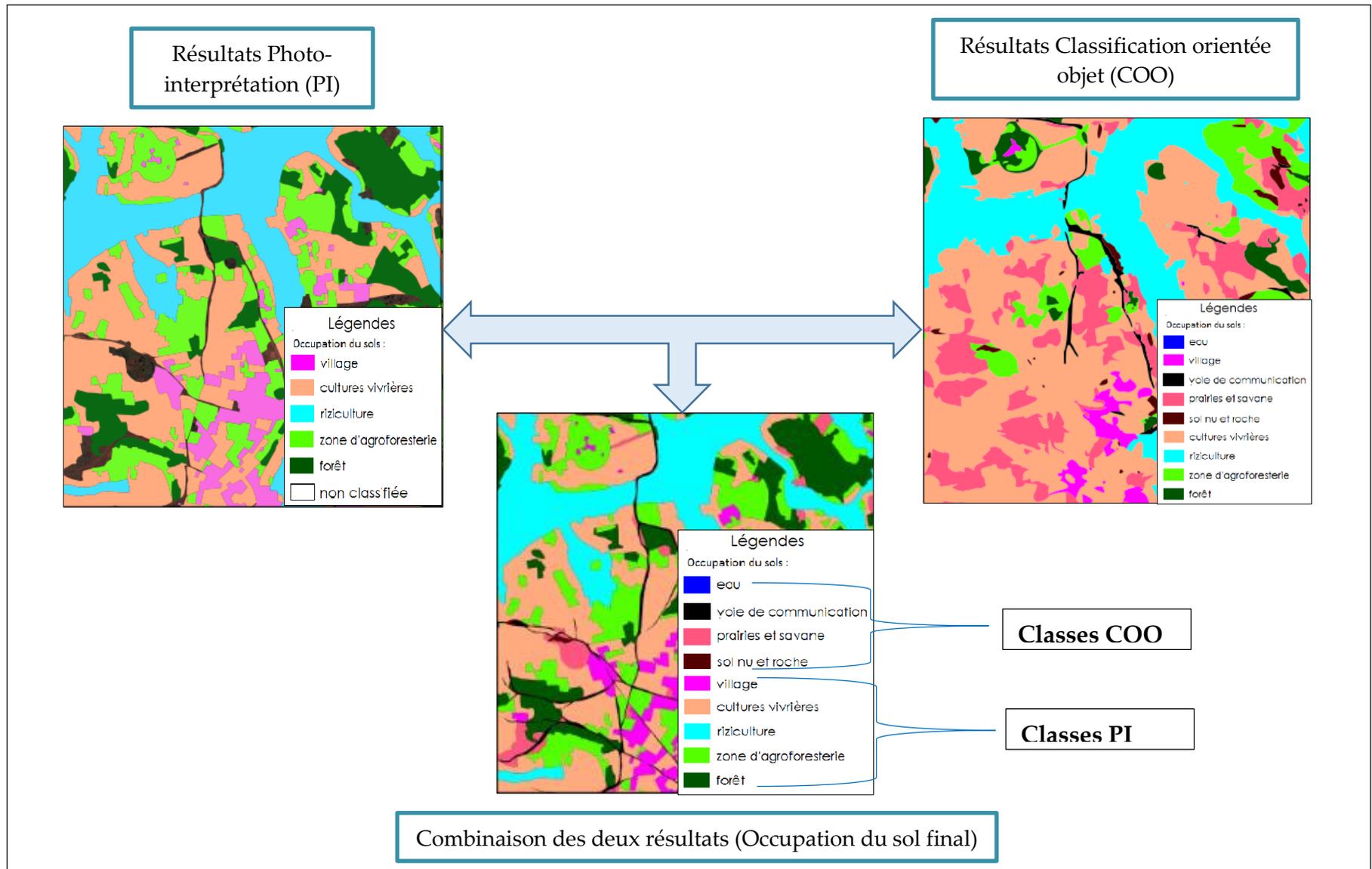


Figure 6: Exemple de processus de la fusion de la photo-interprétation et des résultats de la classification orientée objet.

PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

1 Echelle

L'échelle de travail à laquelle s'effectuera la délimitation doit être la plus petite possible afin de réduire les temps de délimitation, mais suffisamment précise pour permettre de minimiser les erreurs de délimitation des entités. Afin de mieux observer les objets, plusieurs essais ont été réalisés, seul trois échelles ont été retenues : 1/1 200 ; 1/2 400 ; 1/4 800. Avec ces échelles, les limites des parcelles sont bien visibles. Mais il est possible dans une ZPC pour des parcelles d'utiliser deux ou trois échelles en même temps, car la taille de la parcelle peut être variable. L'échelle de l'ajustage des contours des parcelles pour chaque classe est fixée à 1/1 200. L'utilisation de l'échelle dans la photo-interprétation par ZPC est représentée dans le tableau IV.

Tableau IV : Echelle de numérisation dans la photo-interprétation dans les 4 ZPC

Mode d'usage	ZPC	ZPC	ZPC	ZPC
	Ampasamanantongotra	Ankonabe	Andranomody	Imeritsiantosika
Zone d'agroforesterie	1/1200 ; 1/2400	1/1200	1/1200 ; 1/2400	1/1200 ; 1/2400
Forêt	1/1200 ; 1/2400	1/1200	1/1200	1/1200 ; 1/2400 ; 1/4800
Cultures vivrières	1/1200 ; 1/2400 ; 1/4800	1/2400 ; 1/4800	1/4800	1/1200 ; 1/2400 ; 1/4800
Riziculture	1/2400 ; 1/4800	1/2400 ; 1/4800	1/2400 ; 1/4800	1/2400 ; 1/4800
Village	1/1200 ; 1/2400	1/1200 , 1/2400	1/1200 ; 1/2400	1/1200 ; 1/2400

Un échantillon d'image aux différentes échelles est présenté à la figure 7.

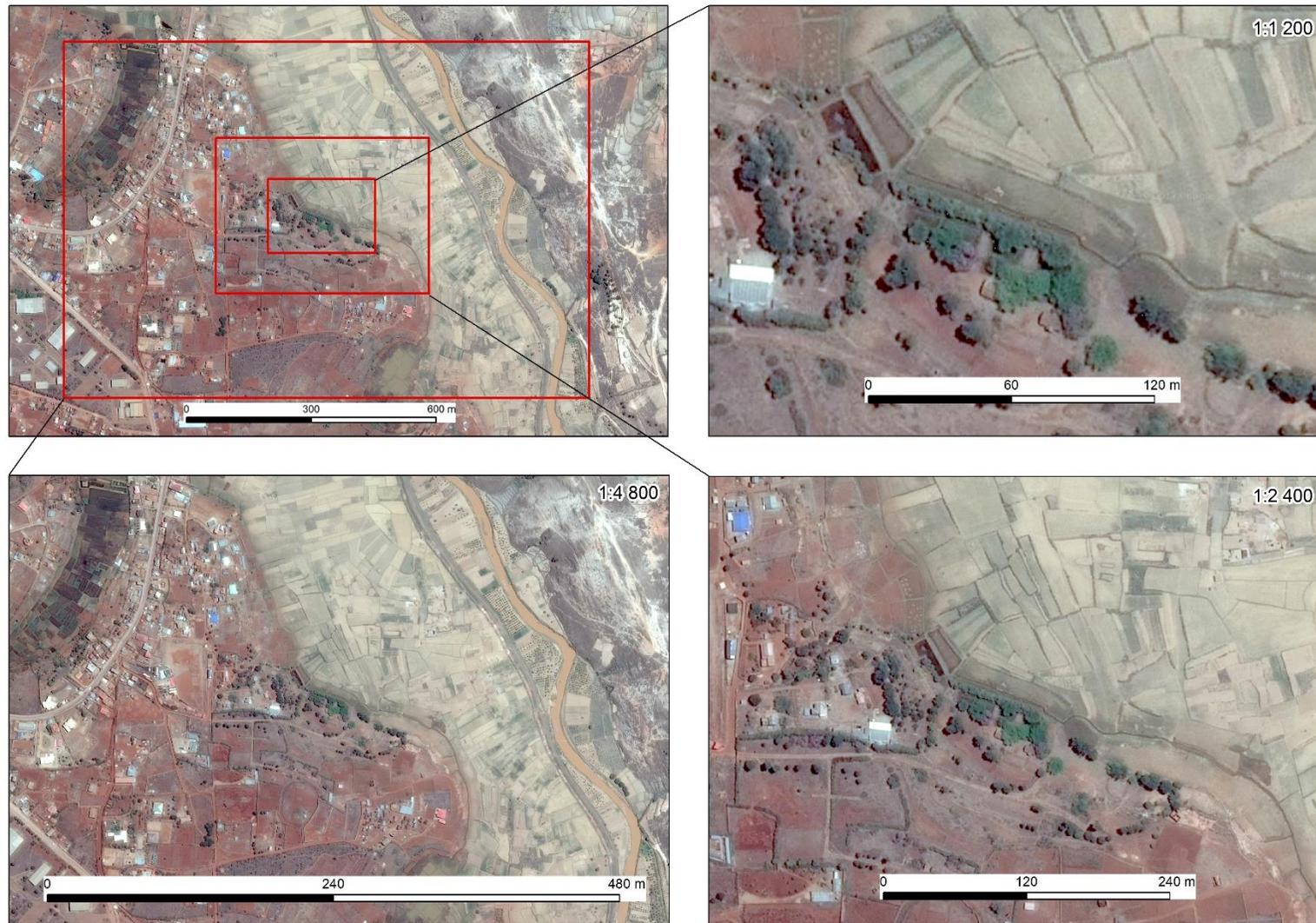


Figure 7 : Différentes échelles de numérisation pour la photo-interprétation (Extrait d'image dans la ZPC Imeritsiantosika).

2 Typologie

Après l'identification et l'analyse des différentes zones, on a une description précise de la nature des parcelles :

- Les parcelles de culture vivrière : correspondant aux parcelles où sont cultivées les produits destinés à l'autoconsommation et d'autosubsistance de l'exploitation agricole tels que le riz pluvial, le manioc, le maïs, les haricots, la patate douce.... Les produits sont récoltés annuellement et les cultures sont souvent intercalées de jachère à durée variable suivant la fertilité des sols. Dans ce cas, on a utilisé des images à des dates antérieures pour faciliter la détection et l'identification des limites de parcelle.
- Les parcelles d'agroforesterie : correspondant aux parcelles dont la plantation d'arbre est associée à des cultures annuelles. Ce sont des parcelles d'intégration de l'arbre dans le paysage agricole.
- Les parcelles de forêt : correspondant aux parcelles où sont plantés un groupement d'au moins une dizaine d'arbres de même espèce ou d'espèces différentes (espèces forestières ou arboriculture fruitière). Aucune forme de culture n'est observée à l'intérieur de ces parcelles. Il s'agit de plantation d'arbre à l'échelle paysanne.
- Les parcelles de riziculture : correspondant aux parcelles de rizière à un ou plusieurs cycles et suivi ou non de culture de contre saison. Les parcelles en riziculture irriguée sont localisées en général sur les bas-fonds mais peuvent être aussi situées sur les versants des collines.
- Les savanes : correspondant aux zones non cultivées, caractérisées par une formation végétale dominée par des plantes herbacées.

3 Critères de la photo-interprétation

Les résultats des critères d'interprétation sont présentés dans le tableau V.

Tableau V: Différentes critères de la photo-interprétation

Cible	Ton/ Couleur	Forme	Taille	Texture	Ombre	Sites/ Association
Zone d'agroforesterie	-	Rectangulaire, régulière	Petite	Pointée et désorganisé	-	-
Forêt	Sombre	Irrégulière, géométrique irrégulière	Irrégulière	Rugueuse, grenue et organisé	Projeté par les arbres	Présence des arbres
Cultures vivrières	-	Rectangulaire régulière	Irrégulière	Lisse et organisé	-	-
Riziculture	-	Rectangulaire irrégulière et circulaire sur les versants des collines	Grande et petite sur les versants des collines	Lisse et organisé	-	-
Village	Brillant	Rectangulaire très régulière	Petite	Rugueuse	Projeté par les bâtiments	Bâtiment

4 Usage et occupation des sols pour chaque ZPC

4.1 Résultats de la cartographie de la photo-interprétation

Les résultats de la numérisation dans la photo-interprétation ont été focalisés sur la détection des quatre principaux types de systèmes agro-écologiques mis en place sur la zone d'intervention du projet MAHAVOTRA notamment le système forestier, la zone d'agroforesterie, la culture vivrière et la riziculture. Les figures 8, 9, 10 et 11 montrent les résultats de cartographie de ces classes pour les quatre ZPC.

- ZPC Ampasamanantongotra

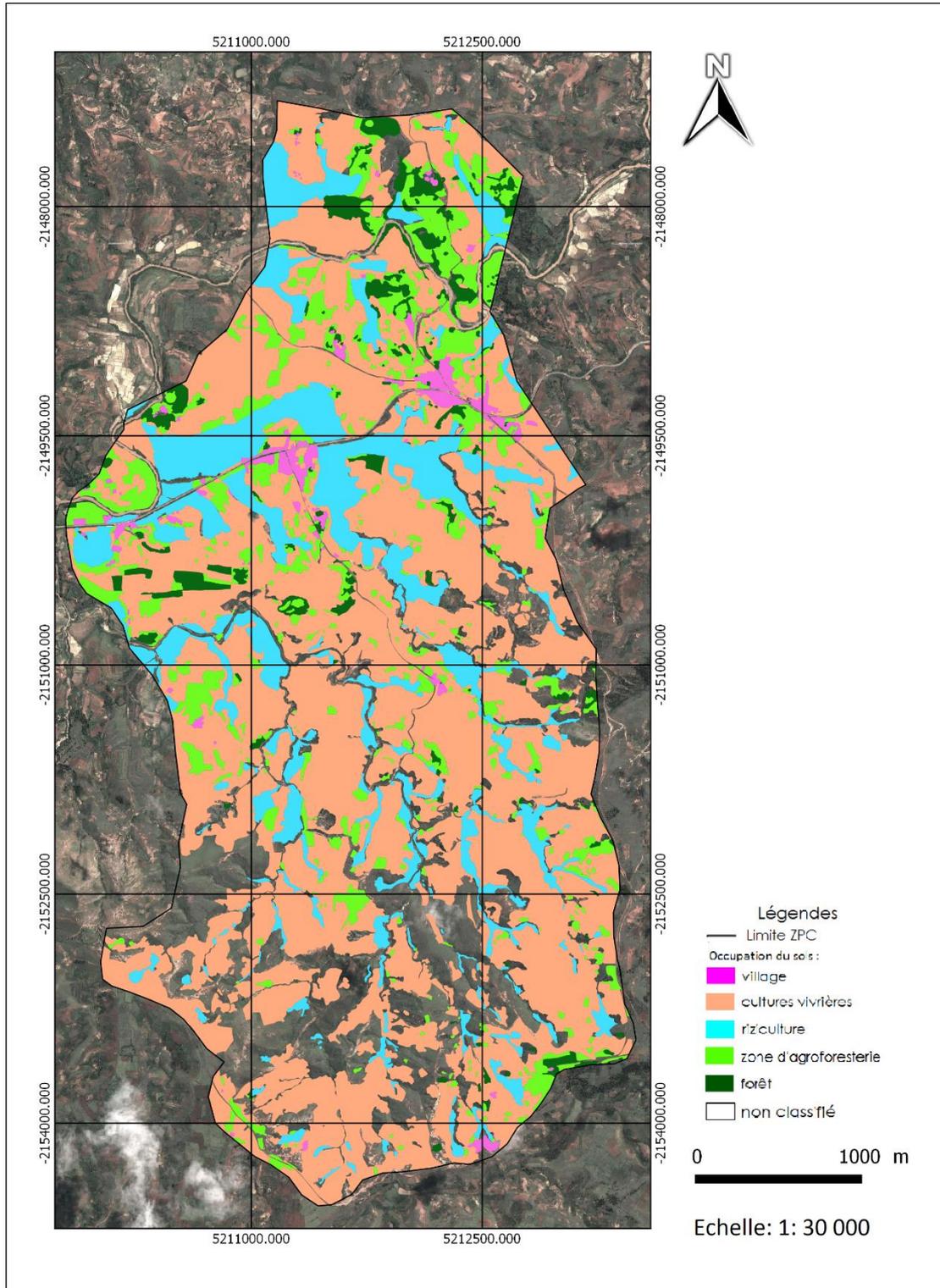


Figure 8: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Ampasamanantongotra.

- ZPC Ankonabe :

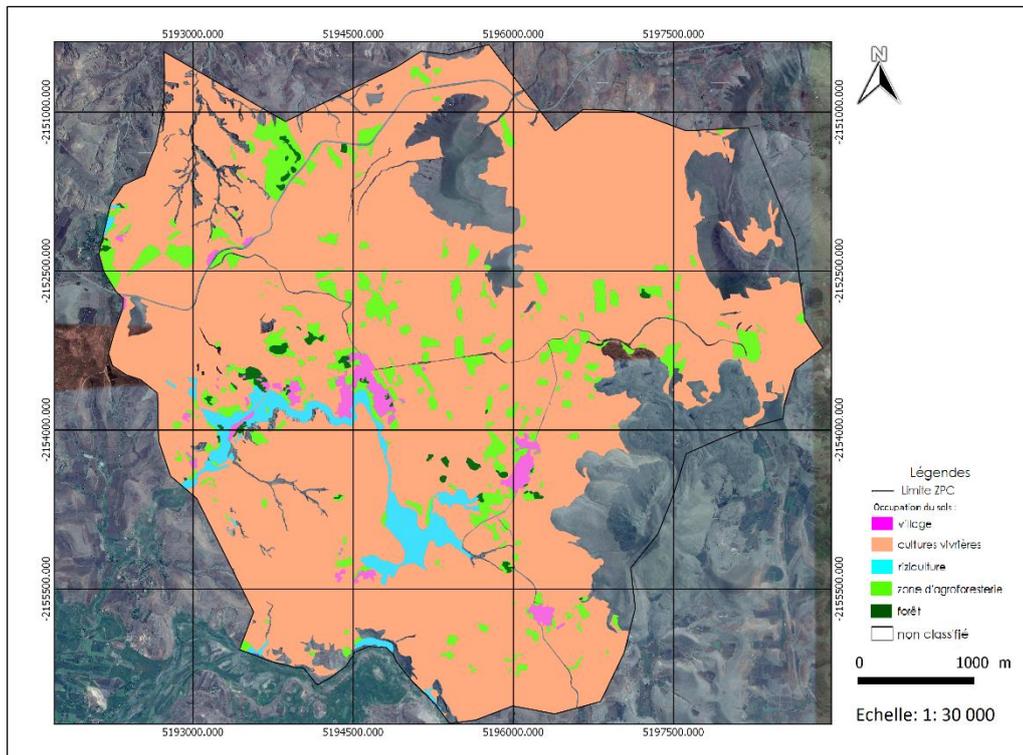


Figure 9: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Ankonabe.

- ZPC Andranomody

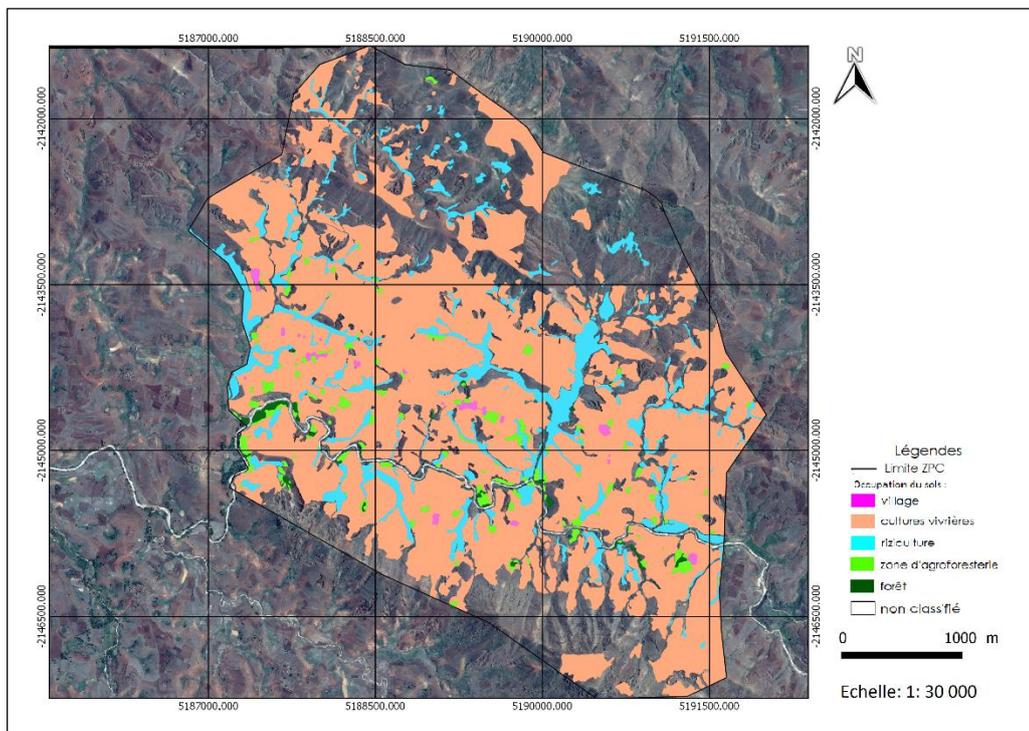


Figure 10: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Andranomody.

- ZPC Imeritsiantosika

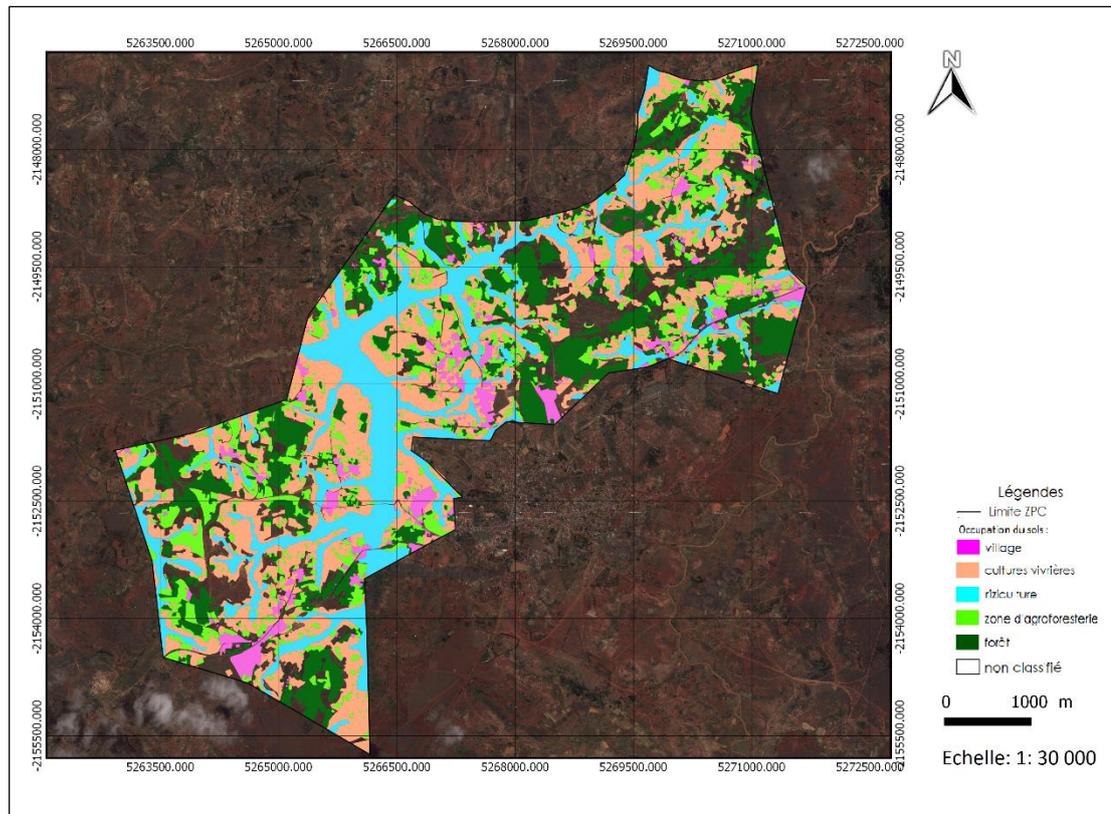


Figure 11: Résultats de la cartographie par photo-interprétation dans la ZPC Imeritsiantosika.

4.2 Cartographie de l'occupation des sols

Après la fusion des résultats de la photo-interprétation et les résultats de la classification orientée objet, on obtient la cartographie de l'occupation des sols pour chaque ZPC. Les résultats de cartographie de ces ZPC sont illustrés dans la figure 12.

- ZPC Ampasamanantongotra

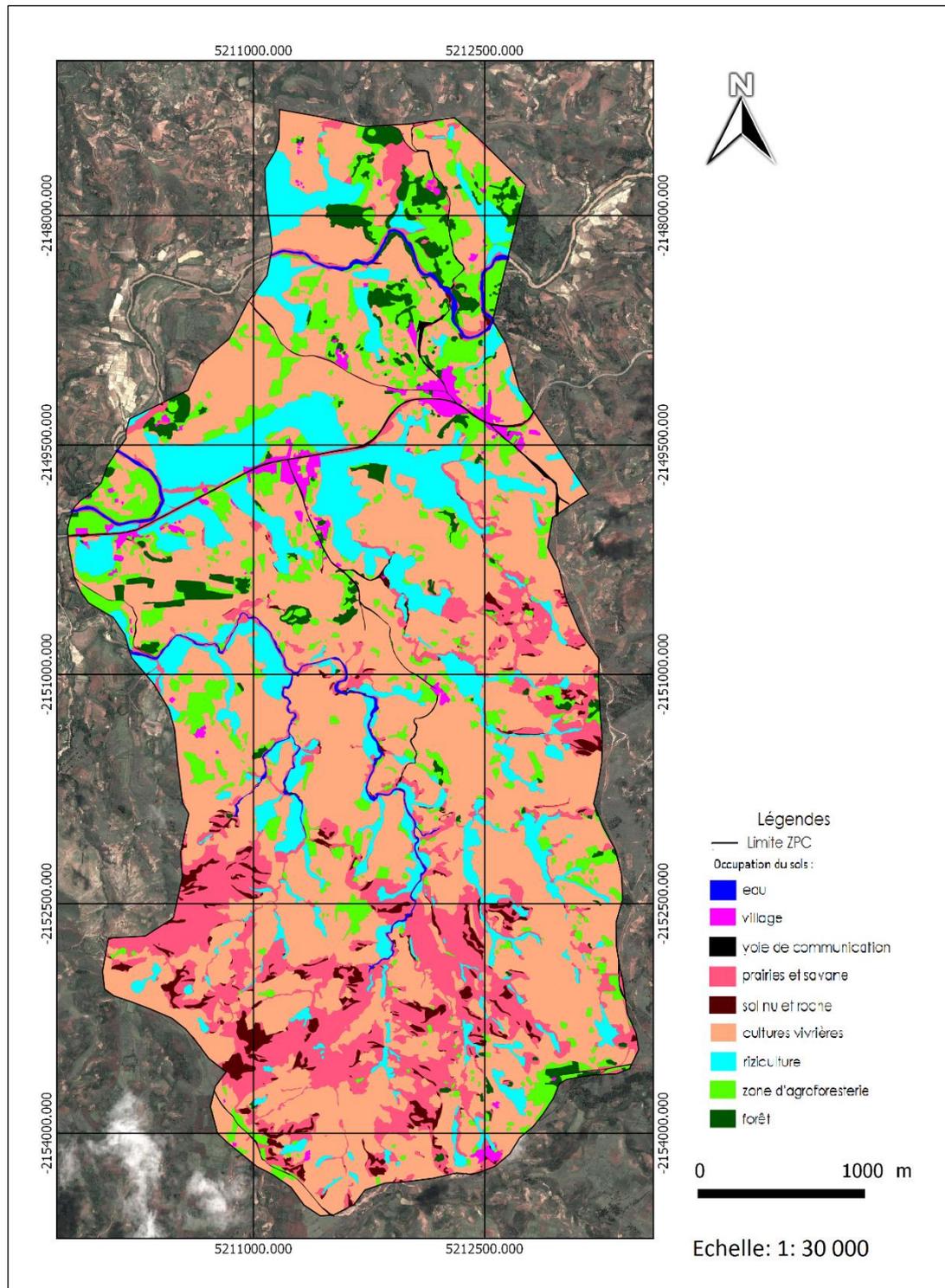


Figure 12: Occupation des sols dans la ZPC Ampasamanantongotra.

La ZPC Ampasamanantongotra est dominée par les cultures vivrières à plus de la moitié du territoire (53,4%). Les terres non utilisées (savane et prairie) sont dominantes (14,5%) dans la partie Sud de la zone à cause de son relief

assez accidenté. La riziculture se concentre sur les bas-fonds de la partie Nord autour de la rivière et des ruisseaux. Mais les autres rizières forment des petites parcelles sur les versants des collines dans la partie Sud de la zone. La classe riziculture dans cette ZPC représente 13,6% de la superficie totale. Ce qui est assez élevé. La forte proportion de sol nu et roche laisse penser à une forte dégradation des terres dans cette ZPC. Par ailleurs, la proportion de forêt et de zone d'agroforesterie est assez élevée (9,2 et 3,1% respectivement). La figure 13 récapitule la proportion des surfaces occupées par chaque typologie dans la ZPC Ampasamanantongotra.

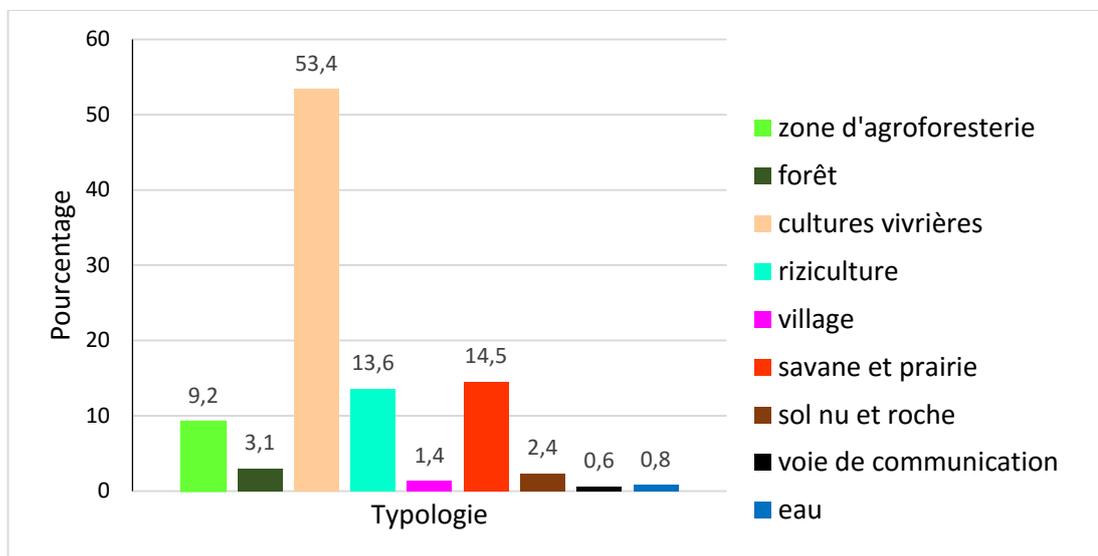


Figure 13: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Ampasamanantongotra.

- ZPC Ankonabe

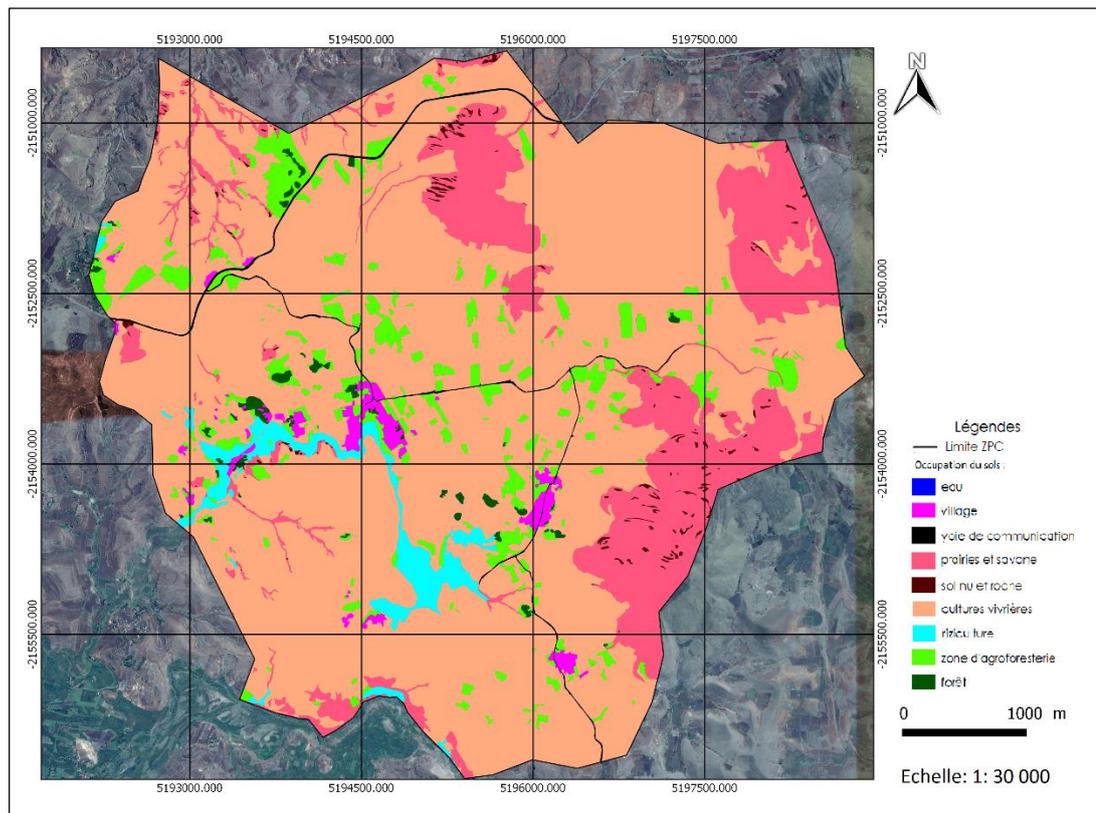


Figure 14: Occupation des sols dans la ZPC Ankonabe.

La ZPC Ankonabe est la plus grande des ZPC, sa superficie est 2608 ha. La totalité de la superficie de cette ZPC est dominée par la culture vivrière, 72,9% de la zone soit 1900 ha, et par la savane et la prairie (15,9% soit 413 ha). Le fait que cette zone soit dominée par la culture vivrière est dû au type des sols dans la partie Nord qui est un sol favorable pour la culture sur « tanety » (PRDR., 2008). En outre, la partie Nord-Est est occupée par la savane et la prairie car le relief est caractérisé par des montagnes. Il existe peu de forêt (0,6% soit 15.3 ha) et seulement quelques parcelles de zone d'agroforesterie (6,1% de la superficie équivalent à 160 ha). Il y a peu de riziculture (2.3% de la superficie équivalent à 60 ha). Les rizières sont irriguées par la rivière Lily. Et les sols nus et rocheux occupent une superficie de 0.4% soit 12 ha. La figure 15 récapitule la proportion des surfaces occupées par chaque typologie dans cette ZPC.

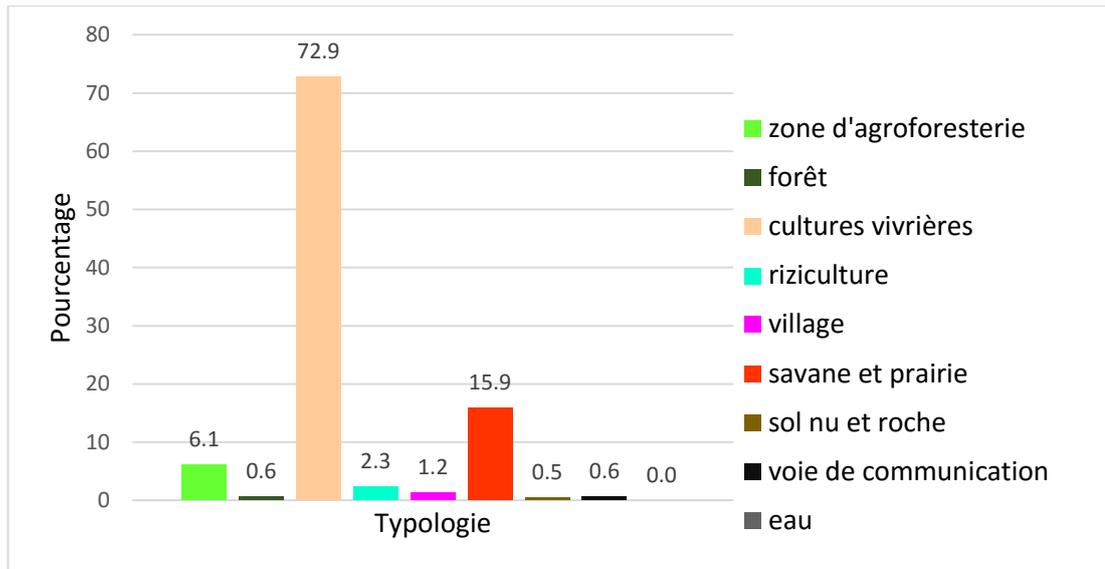


Figure 15: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Ankonabe.

- ZPC Andranomody

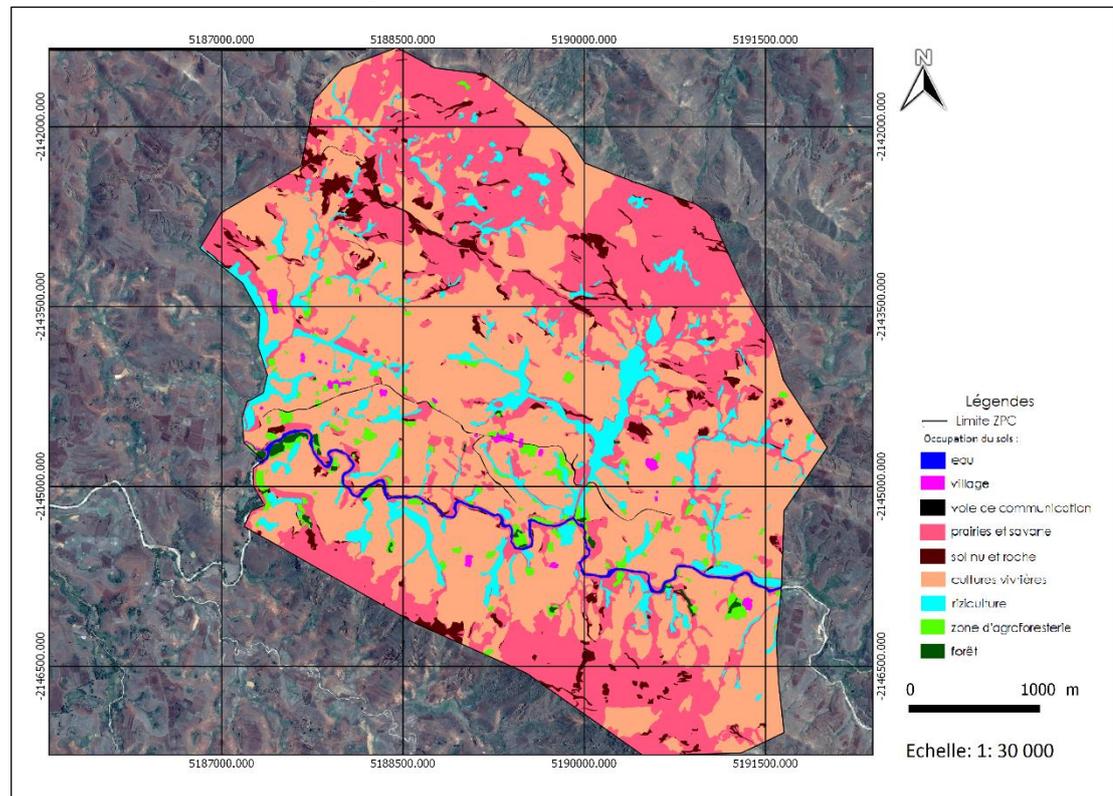


Figure 16: Occupation des sols dans la ZPC Andranomody.

La ZPC Andranomody est caractérisée par un faible pourcentage de superficie alloué au village (0,3%). Ce qui implique une faible démographie. Les savanes et les prairies dominant toute la zone (33,3% soit.575 ha) vu son relief peu accidenté (PRDR., 2006) et le type de sol peu fertile. Mais, les cultures vivrières

PARTIE III: RESULTATS ET INTERPRETATION

sont bien représentées avec une superficie de 904 ha soit 52,3% de la superficie totale. Il existe très peu de forêt (0,3%) et de zone d'agroforesterie (1,8%). La riziculture occupe une superficie de 129 ha soit 7,5%. Il est à remarquer qu'elle se répartie autour de la rivière Mazy et au Nord de la ZPC.

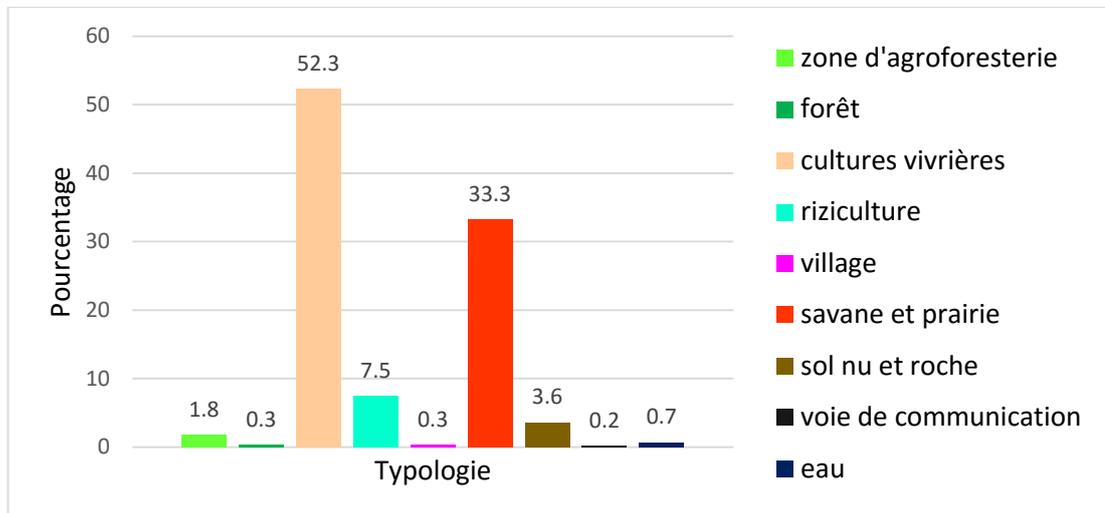


Figure 17: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Andranomody.

- ZPC Imeritsiantosika

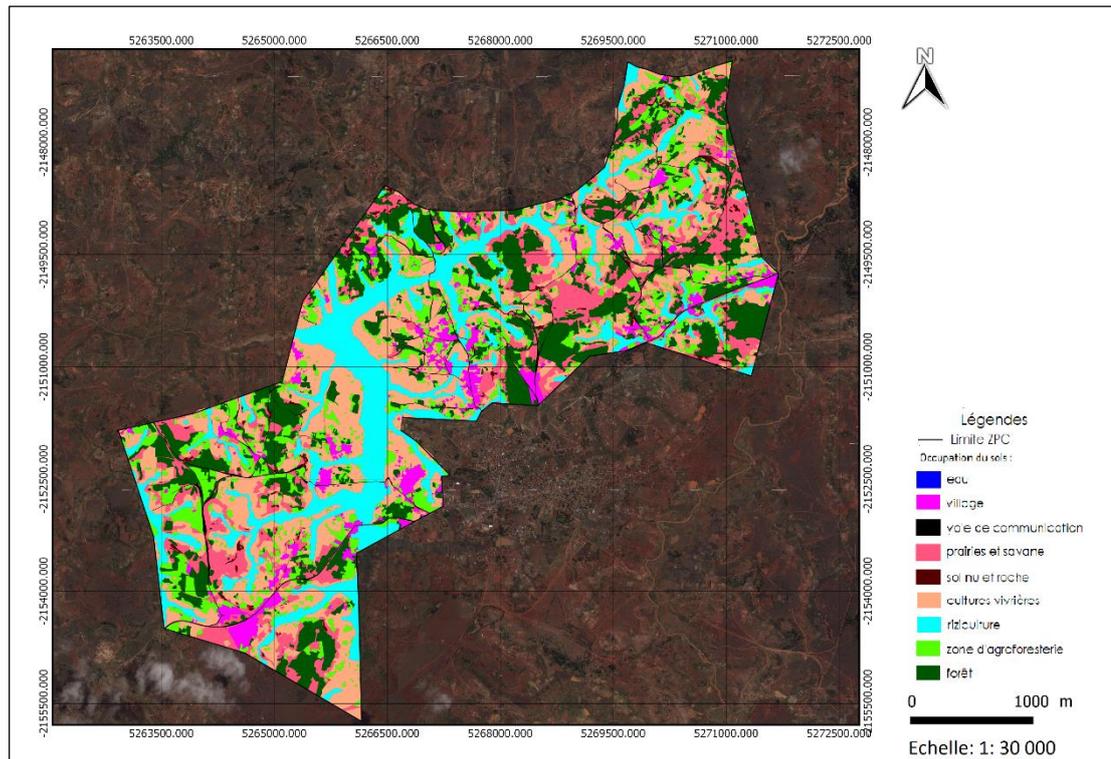


Figure 18: Occupation des sols dans la ZPC Imeritsiantosika.

La ZPC Imeritsiantosika montre des modes d'usage des terres très diversifiés, avec une légère domination des cultures vivrières (29,0%). Cette ZPC montre une forte proportion en système agro-forestier (13,2%) et forestier (18,9%). La riziculture est aussi peu dominante (17,5%). La superficie assez élevée occupée par les villages (4,6% soit 119 ha) et la voie de communication (1,8% soit 46 ha) souligne l'importance démographique. La superficie assez élevée de la savane et de prairie (14,6%) montre qu'il y a encore des espaces à exploiter.

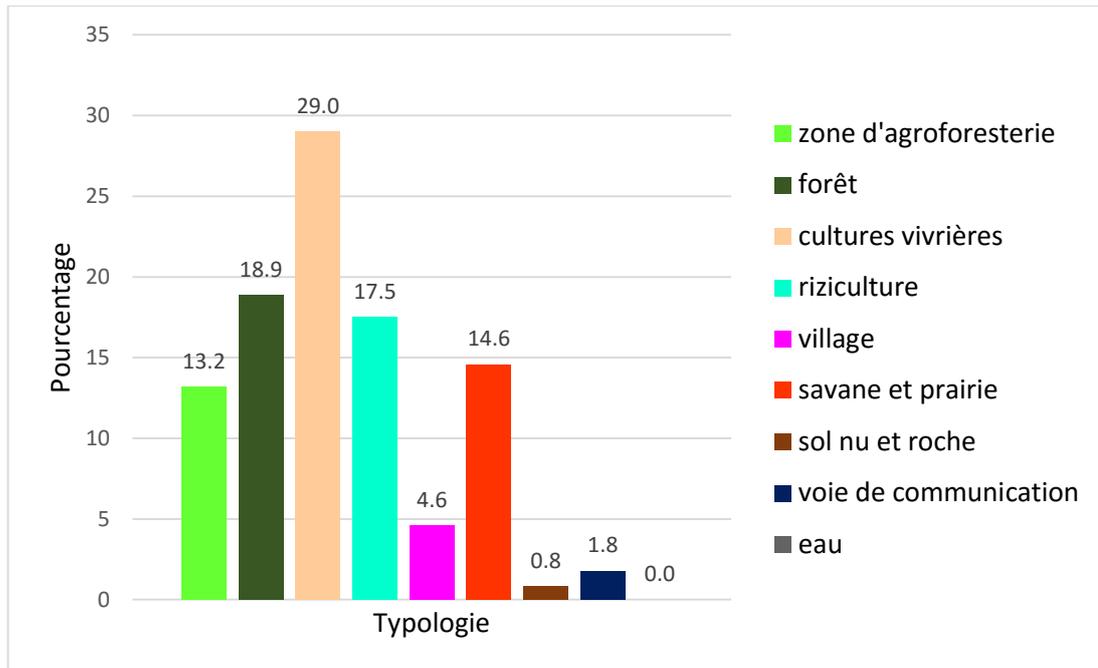


Figure 19: Superficie occupée par chaque typologie dans la ZPC Imeritsiantosika.

En résumé, c'est la ZPC Imeritsiantosika qui montre la plus grande diversité d'usage et la plus grande proportion de systèmes agroforestier (13,2%) et forestier (18,9%). Par contre, les cultures vivrières sont bien représentées dans tous les ZPC, mais elles sont largement majoritaires dans la ZPC Ankonabe.

En moyenne, 76,7% de chaque ZPC sont occupées par des systèmes agroforestiers (zone d'agroforesterie, forêt, riziculture et cultures vivrières), dont 8,1% par la zone d'agroforesterie, 6,3% par la forêt, 10,2% par la riziculture et 52,1% par les cultures vivrières. Il est à remarquer que seulement 6,5% de la zone est couverte par de la forêt. Donc, cela nécessite un programme de conservation et restauration de la forêt pour ces quatre ZPC formé par 7 Fokontany.

Le tableau X suivant montre le résumé des statistiques de la cartographie de l'occupation du sol pour chaque ZPC.

PARTIE III: RESULTATS ET INTERPRETATION

Tableau VI: Résultat statistique de la cartographie d'occupation du sol pour les ZPC Imeritsiantosika, Andranomody, Ankonabe et Ampasamanantongotra.

Surface Typologie	ZPC Imeritsiantosika		ZPC Andranomody		ZPC Ankonabe		ZPC Ampasamanantongotra	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Cultures vivrières	746	29.0	904	52.3	1900	72.9	828	53.4
Riziculture	451	17.5	129	7.5	60	2.3	211	13.6
Zone d'agroforesterie	339	13.2	32	1.8	160	6.1	160	9.2
Forêt	486	18.9	6	0.3	15	0.6	47	3.1
Village	119	4.6	6	0.3	32	1.2	21	1.4
Savane et prairie	375	14.6	575	33.3	413	15.9	226	14.5
Sol nu et roche	21	0.8	63	3.6	12	0.5	37	2.8
Voie de communication	46	1.8	3	0.2	15	0.6	10	0.6
Eau	0	0.0	12	0.7	0	0.0	13	0.8
Total	2572	100.0	1730	100.0	2608	100.0	1551	100

PARTIE IV : DISCUSSIONS

1 Quantification des résultats de la méthode de photo-interprétation et de la méthode de classification orientée objet

Une comparaison de superficies de classes obtenues par l'approche « photo-interprétation » avec celles « classification orientée objet » effectuée par Etc Terra (2015) pour chaque ZPC a été faite. Les résultats de cette comparaison sont présentés dans le tableau XI.

- ZPC Ampasamanantongotra

Tableau VII : Comparaison des superficies des classes obtenues par l'approche « photo-interprétation » avec celles de la classification orientée objet effectuée par Etc Terra (2015).

Photo-interprétation (PI)			Classification orientée objet (COO)		
Classe	Superficie		Classe	Superficie	
	ha	%		ha	%
Cultures vivrières	828	53.4	Cultures vivrières	770	49.7
Riziculture	211	13.6	Riziculture	126	8.1
Zone d'agroforesterie	160	9.2	Zone d'agroforesteries	79	5.1
Forêt	47	3.1	Forêts	35	2.3
Village	21	1.4	Village	18	1.2
Non classifié	285	18.4	Eau	9	0.6
			Voie de communication	11	0.7
			Prairies et savane	340	21.9
			Sol nu et roche	163	10.5
Total	1551	100		1551	100

NB : Les autres matrices de classification pour les autres ZPC sont en annexe 6.

Les indices « PI » et « COO » ont été attribués aux classes pour concrétiser les deux approches, soient « Photo-Interprétation » et « Classification Orientée Objet ». Il est à noter que la classification orientée-objet est plus détaillée et les autres classes qui ne correspondent pas à cette « classification orientée objet » sont classées comme « non classifiées », soient 9 et 6 classes respectivement. Certaines conclusions ont été retirées des résultats présentés dans le tableau XI :

- ZPC Ampasamanantongotra :

Le fait le plus remarquable c'est que la classe « zone d'agroforesterie – COO » (5.1 %) est plus petite que celle de la superficie de la classe « zone d'agroforesterie - PI » (9.2 %), soit deux fois plus petite. Pour la classe « forêt – COO » (2.3 %), sa superficie est assez semblable à sa classe correspondante « forêt – PI » (3.1 %).

Par contre, il y a une bonne concordance avec la superficie de la classe « cultures vivrières - PI » (51.4 %) avec sa classe correspondante « cultures vivrières – COO » (49.7 %).

La superficie de classe « village » estimée par la photo-interprétation, soit 1.4 %, a une correspondance (1.1%) que celle trouvée par la classification orientée objet.

Pour comparer la superficie des classes « eau – COO », « voie de communication – COO », « prairies et savane – COO » et « sol nu et roche – COO » qui a été regroupée. La superficie totale de ce regroupement fait 37.7 %. Il semble que la superficie totale de ce regroupement est significativement plus petite que celle de la classe « non classifié – PI » (18.4 %).

- ZPC Ankonabe :

On observe dans les matrices de classification de la ZPC Ankonabe que les classes « culture vivrière – PI » (72.9 %) et « rizicultures – PI » (2.3 %) concordent avec ses classes correspondantes dans la classification orientée objet, soient 68.9 % et 2.3 % . La classe « forêt –PI » (0.6 %) concorde aussi avec la classe « forêt – COO » (0.8 %).

Par contre, la superficie de la classe « village - COO » (0.5 %) est deux fois plus petite par rapport à celle de sa classe correspondante « village - PI » (1.2 %).

Le regroupement des classes « eau –COO »-« prairies et savane – COO»-« voie de communication - COO »-« sol nu et roche - COO » s'étend sur une superficie de 25.0 % qui est significativement plus grande que celle estimée pour la classe « non classifiée – PI » (16.9 %).

- ZPC Andranomody :

La superficie de la classe « culture vivrière » (52.3 %) estimée par la photo-interprétation est deux fois plus grande (33.5 %) que celle par la classification orientée objet. Il en est de même pour les classes « zone d'agroforesterie – PI » (1.8 %) et « village - PI » (0.4 %) avec ses classes correspondantes dans la classification orientée objet « zone d'agroforesterie » et « village », soient 0.7 % et 0.2 %. Par contre, la superficie de la classe « 'riziculture – PI » (7.5 %) est plus petite que la classe « riziculture – COO » (11.6 %).

La superficie de la classe « non classifiée – PI » (17.2 %) est deux fois plus petite que le regroupement des classes « eau –COO »-« prairies et savane – COO»-« voie de communication - COO » - « sol nu et roche – COO » La superficie totale de ces groupements est de 37.8 %.

- ZPC Imeritsiantosika

Il est très remarquable que la superficie des classes classifiées comme « culture vivrière » (29.0 %) et « riziculture » (17.5 %) par la photo-interprétation est en concordance avec ses classes correspondantes, soient 34.4 % et 19.1 %. Le regroupement des classes « eau -COO »-« prairies et savane - COO»-« voie de communication - COO »-« sol nu et roche - COO » a une superficie totale de 22.7 %, qui est aussi comparable avec la classe « non classifiée - PI » (17.2 %).

Néanmoins, la superficie de classe « forêt - PI » (18.9 %) est significativement plus grande que celle de la classe correspondante « forêt - COO » (3.0 %). Assurément, la superficie de la classe « zone d'agroforesterie - PI » (13.2 %) est plus petite que la superficie de la classe « zone d'agroforesterie - COO » (17.2 %). D'autre part, la superficie de la classe « village - PI » (4.6 %) a une ressemblance à sa classe correspondante « 'village -COO » (3.5 %).

Pour éclaircir les principaux conflits, une comparaison directe superficie par superficie entre les deux matrices de classification a été effectuée à l'aide du logiciel SIG. Des statistiques pour chaque combinaison entre les classes des deux approches ont été calculées (cf. annexe 7) et une matrice de coïncidence présentée dans le tableau XII suivante a été construite.

- ZPC Ampasamanantongotra

Tableau VIII: Matrice de coïncidence

PI \ C00	Zone d'agroforesterie (%)	Forêt (%)	Cultures vivrières (%)	Riziculture (%)	Village (%)	Eau (%)	Voie de communication (%)	Sol nu et roche (%)	Prairie et savane (%)	Total (%)
Zone d'agroforesterie (%)	2.1	0.7	5.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.6	0.8	9.8
Forêt (%)	1.2	1.1	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	3.1
Cultures vivrières (%)	1.3	0.2	32.3	0.7	0.4	0.0	0.2	6.6	11.8	53.4
Riziculture (%)	0.1	0.1	5.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.6	1.2	13.6
Village (%)	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.4
Non classifiée (%)	0.4	0.2	6.5	0.3	0.7	0.5	0.4	2.5	8.1	18.4
Total (%)	5.1	2.3	49.7	8.1	1.2	0.6	0.7	10.5	21.9	100.0

Ce tableau XII présente la répartition des classes de classification orientée objet de l'Etc Terra (2015) (en pourcentage de toutes les superficies occupées par la classe correspondante) dans les classes de cette étude et vice-versa.

N.B : Les autres matrices de coïncidence pour les autres ZPC sont en annexe 6.

Prenons l'interprétation de la matrice de coïncidence pour le cas de la classe « zone d'agroforesterie » dans ZPC Ampasamanantongotra, selon cette matrice, seule 2.1 % de classe « zone d'agroforesterie – PI » se concorde avec sa correspondante la classe « zone d'agroforesterie – COO ». La majorité de la classe « zone d'agroforesterie – PI » se trouve en générale dans la classe « culture vivrière – COO » (5%). Les autres se répartissent dans les classes « foresterie – COO », « riziculture – COO », « sol nu et roche – COO » et « prairies et savane – COO », soient inférieures à 0.8%. Par ailleurs, la classe « zone d'agroforesterie – COO » se trouve dans la classe « forêt – PI » (1.2%) et la classe « culture vivrière – PI » (1.3%).

En résumé, on remarque pour toutes les ZPC que la comparaison directe des deux matrices de classification révèle de nombreuses confusions. Ces confusions pourraient être dues à la différence entre les images satellitaires utilisées lors de la classification à l'exemple de la taille de pixel. De plus, Smith, *et al.*, (2003) ont montré que l'hétérogénéité de la structure paysagère d'un image est susceptible d'avoir un impact défavorable sur la qualité de la classification. Or la zone d'étude présente une forte hétérogénéité liée à la topographie et aux types d'usage des terres. Quant à la photo-interprétation, ce problème d'hétérogénéité est réduit grâce à l'identification des objets en 3D et à l'utilisation d'image à haute résolution car cela permet de mieux observer les objets.

2 Points forts de l'étude

L'avantage de la photo-interprétation dans ce travail est l'utilisation des images THRS de Google Earth à plusieurs dates et à différentes saisons. Ces images THRS de Google Earth ont la taille de pixel élevé (0.61 m de résolution) par rapport à l'imagerie satellitaire SPOT5 (taille de pixel : 2.5 m).

Le modèle perceptuel est défini par la connaissance du terrain, l'expérience du photo-interprète et l'information sur la zone de travail (Gosselin, 2005). Pourtant, la maîtrise de ce modèle par un photo-interprète facilitera l'identification et l'analyse des objets. Or, on a employé une expertise terrain spécialiste en agroécologie. Ainsi, nous avons obtenu un modèle bien affiné. Cela entraîne donc un meilleur résultat.

3 Limites de la méthodologie utilisée

Les différentes étapes dans cette étude ont répondu à la même exigence de qualité que Lemieux, *et al.* (2015) ont proposés. Pourtant, la photo-interprétation se réalise au moyen d'un système informatisé, elle requiert des produits numériques (photographies aériennes, vision stéréoscopie et données auxiliaires) (Gauthier, *et al.*, 2010). Malheureusement, on n'a pas eu l'occasion d'obtenir des photographies aériennes et d'observer les objets sur la zone d'étude à partir de la vision stéréoscopique. Or, ces données peuvent avoir des impacts sur la qualité des résultats (Bilodeau, *et al.*, 2008).

Par ailleurs, la photo-interprétation se fait à grande échelle. Ainsi, sa pratique sur une vaste zone demeure un travail long et fastidieux, elle nécessite donc beaucoup de temps. De ce fait, l'application de la photo-interprétation à l'échelle régionale semble très difficile.

Enfin, l'image téléchargée du site Google Earth n'a pas de bande IR or cette bande joue un rôle très important sur la détection de la végétation (DREAL, Octobre 2012). Et avec cette bande IR, le contraste et la netteté sont souvent meilleurs et l'interprétation est plus sûre (Immitzer, 2012). Or, la majorité de la zone d'étude est couverte de végétation.

CONCLUSION

L'objectif principal de cette étude repose sur la cartographie des quatre ZPC de la Région Itasy. Afin d'obtenir des résultats plus précis, la photo-interprétation est choisie pour mieux détecter les classes zone d'agroforesterie, forêt, cultures vivrières, riziculture et village. Le travail consiste à injecter les résultats de cartographie de la classification orientée objet d'Etc Terra (2015) dans notre propre cartographie dans le but d'obtenir la carte d'occupation du sol finale. La méthodologie utilisée s'avère être efficace et permet de dresser une cartographie de l'occupation du sol plus précise.

La réalisation d'un produit de qualité dérive de l'expérience et des compétences du photo-interprète. Pareillement, les outils en développement (image à Très Haute Résolution Spatiale, logiciel SIG et télédétection,...) vont permettre au photo-interprète d'extraire, de valider et de traiter de plus d'information. Ainsi, une meilleure connaissance du territoire est aussi nécessaire dans une photo-interprétation

Pourtant, l'application de cette méthode à l'échelle régionale serait nécessaire afin d'approfondir cette étude pour vérifier la reproductibilité de la méthodologie à l'échelle régionale. Ainsi, pour résoudre ce problème, on recommande la fusion des données de l'image THRS du Google Earth et de l'image SPOT 5 afin de faciliter l'application de la méthodologie à l'échelle régionale.

En perspective, il serait utile de réaliser des mises à jour régulières de ces occupations du sol pour en détecter les changements. Ceci permet, entres-autres, de connaître la dynamique des changements d'usage et la modélisation des scénarios de changement d'usage des terres dans le futur. De plus, il serait

intéressant aussi de réaliser la cartographie de tous les fokontany dans la Région Itasy pour l'élargissement du projet MAHAVOTRA.

Bibliographie et webographie

- ADEM., 2014. Carbone organique des sols. *Rapport d'activité*. p.20
- Baffet, C., 2006. La déforestation à Madagascar. http://www.LA_DEFORESTATION_A_MADAGASCAR_pour_les_enfants.html. Consulté en Novembre 2015.
- Beauchamp J., 2006 : Typologie des sols. http://www.ecosociosystemes.fr/typologie_sols.html. Consulté en Octobre 2015
- Bilodeau C., Marianne C., Julien A., 2008. Comparaison de deux méthodes de cartographie de la végétation du schorre de la baie du Mont-Saint-Michel : photo-interprétation raisonnée et classification automatique par espèce. *European Journal of Applied Remote Sensing*, vol : 44 (3-4), pp.12-27
- Buringh, P., 1960. The applications of Aerial Photographs in Soil Surveys. *Manual of Photographic Interpretation*. p. 633-666.
- Carré J., 1971. Lecture et exploitation des photographies aériennes: Tome 2, exploitation des photographies. Éditions Eyrolles, Paris, France. p 214.
- DERAD., 2005. Analyse de la dégradation du bassin versant et proposition d'alternatives pour limiter l'érosion dans la grappe lac Itasy. *Rapport d'activité*. 100 p
- DMEESS., 2007. Campagne agricole 2004-2005. *Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche. Antananarivo, Madagascar*.
- DREAL., 2012. Apports de la télédétection pour la connaissance des enjeux environnementaux. <http://www.Nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Apports-de-la-teledetection-pour-la-connaissance-des-enjeux-environnementaux>. Consulté en Novembre 2015
- Émilie D., 2005. Google Earth. <http://mappemonde.mgm.fr/num7/internet/index.html>. Consulté en Novembre 2015
- Estes, J.E., Hajic, E.J., Tinney, L.R., 1983. Fundamentals of image analysis: Analysis of visible and thermal infrared data. *Manual of Remote Sensing*, volume 1, second Edition. Robert N. Colwell Ed. chef. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia, USA.
- Etc Terra., 2015. Identification des systèmes agro-écologiques par télédétection dans la région Itasy. *Rapport d'activité*. 40 p.

- Farshad, A., 2006. Image (aerial photo)-Interpretation for soil survey. 86 p
- Gagnon, H., 1974. La photo aérienne, son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Les Éditions HRW ltée, Montréal, Canada. 278 p.
- Gauthier, J., Grenier R., Bellemar-Racine, E., 2010. La planification des interventions en milieu naturel à l'aide des outils de la photo-interprétation. *Rapport d'activité*. 81 p.
- GOODPLANET., AGRISUD., 2011. Projet forêt et zone d'agroforesterie paysannes à Madagascar. *Fiche de projet MAHAVOTRA*. 16 p.
- Gosselin, G., 2005. La photographie aérienne et la photo-interprétation. *Rapport de recherche No R927. Université de Montréal, Département de Géographie*. 106 p.
- Immitzer, M., Atzberger, C., Koukal, T., 2012, « Tree species classification with random forest using very high spatial resolution 8-band Worldview-2 satellite data », *Remote Sensing, vol. 4*, p : 2661-2693.
- Jensen, J.R., 2000. Remote Sensing of the Environment - An Earth Resource Perspective, Prentice Hall, Inc : Upper Saddle. River, N.J., 592 p.
- Lal, R., 2004, «Agricultural activities and the global carbon cycle », *Nutr.Cycling Agroecosyst*, 70: p. 103–116.
- Lemieux, L., Lebœuf, L., Berger, J.P., 2015. Norme de photo-interprétation. *Ministère des forêts et des parcs. Quebec*. 151 p.
- ONE., 2007. Tableau de bord environnemental, Région Itasy. *Ministère de l'Environnement des Forêts et du Tourisme, Antananarivo*. 172 p.
- ONE., 2008. Rapport de synthèse sur l'état de l'environnement, Région Itasy. *Ministère de l'Environnement des Forêts et du Tourisme, Antananarivo*. 31 p.
- Provencher L., Dubois, J.-M.M., 2006. La photo-interprétation au Québec : historique et perspective. *Téledétection*, 2006, vol. 6, n° 1, p. 57-70
- Provencher, L. et Dubois, J.-M.M. 2007. *Précis de télédétection; vol. 4 - Méthodes de photo-interprétation*. Presses de l'Université du Québec/Agence universitaire de la Francophonie, Québec. p: 468.
- Puissant A., 2007. Photo-interprétation et télédétection. *Université Caen*. 29 p.

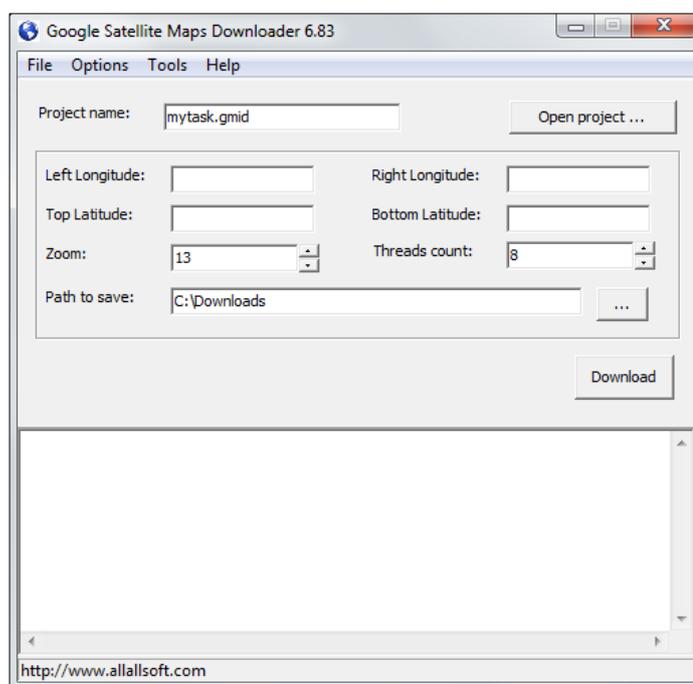
- Raharimalala, V., 2007. Situation des principaux indicateurs environnementaux de Madagascar. *Rapport sur l'état de l'environnement de Madagascar*. 289 p
- Razakamanarivo Ramarson, H., 2009. Potentialités de stockage du carbone dans le système plante-sol des plantations d'eucalyptus des hautes terres malgaches. *Thèse en science du sol, Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques, Université Montpellier 2*. 169 p
- 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.
- Spurr, S.H., 1960. Photogrammetry and Photo-Interpretation. The Ronald Press Compagny, New-York, USA. 473 p.
- Tormos, T., 2010. Analyse à l'échelle régionale de l'impact de l'occupation du sol dans les corridors rivulaires sur l'état écologique des cours d'eau. *Thèse agroparistech, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Spécialité : Eaux Continentales et Société*. 129 p.

Annexes

Annexe 1 : Les partenaires impliqués dans le projet MAHAVOTRA :



Annexe 2 : Interface du logiciel Google Satellite Maps Downloader.



Les paramètres « Left Longitude » et « Top Latitude » correspondent aux coordonnées du point supérieur gauche de la zone à étudier. Par contre « Right Longitude » et « Bottom Latitude » sont les coordonnées du point inférieur droit. Ces logiciels permettent de télécharger des petites images de la zone de travail depuis Google Map. Par la suite, l'outil « Combine satellite images » de ce même logiciel peut obtenir une mosaïque couvrant la zone de travail, à 1 m de résolution (20736 lignes x 11520 colonnes), dans le système de coordonnées WGS 84.

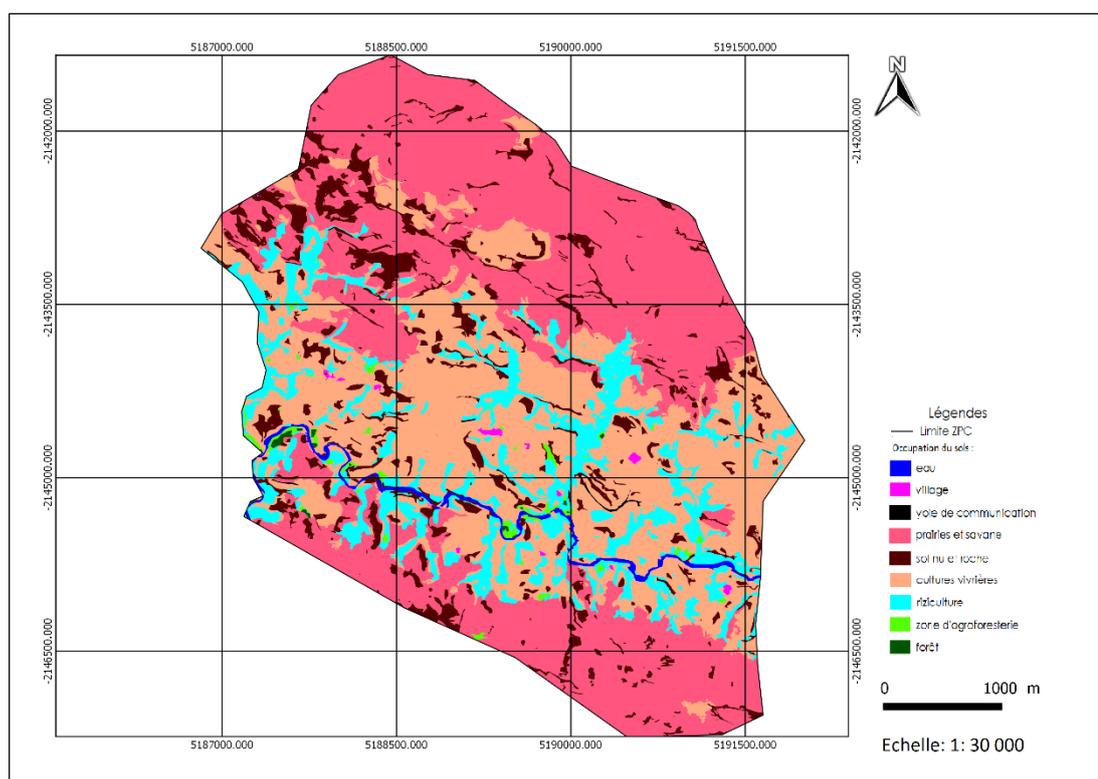
Annexe 3 : Caractéristiques des capteurs QuickBird.

Le tableau suivant présente les caractéristiques spectrales et la résolution des images satellites QuickBird-2.

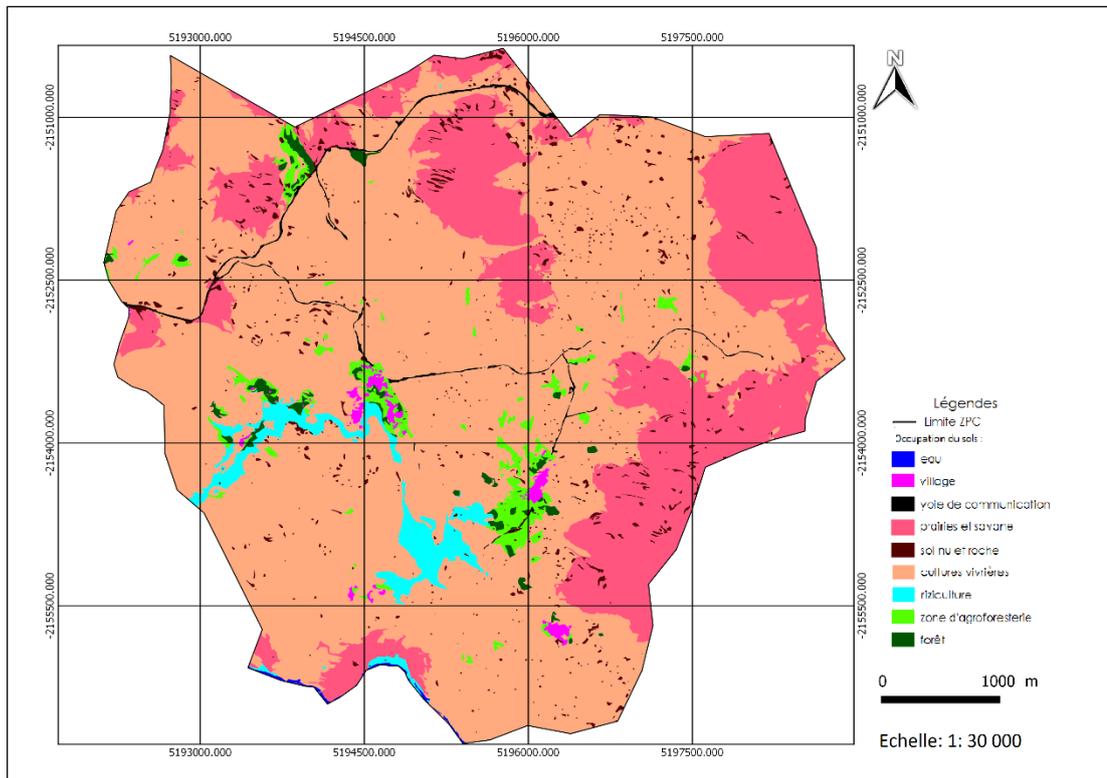
<i>Satellite</i>	<i>Mode</i>	<i>Bande</i>	<i>Spectrale</i>	<i>Résolution</i>
QUICKBIRD	Multispectral	B1	0,450 - 0,520 μm (bleu)	2,44 x 2,44 m
		B2	0,520 - 0,600 μm (vert)	2,44 x 2,44 m
		B3	0,630 - 0,690 μm (rouge)	2,44 x 2,44 m
		B4	0,760 - 0,900 μm (proche IR)	2,44 x 2,44 m
	Panchromatique	PAN	0,445 - 0,900 μm	0,61 m x 0,61m

Annexe 4 : Cartographie de l'occupation des sols à l'échelle du Fokontany (Etc Terra., 2015).

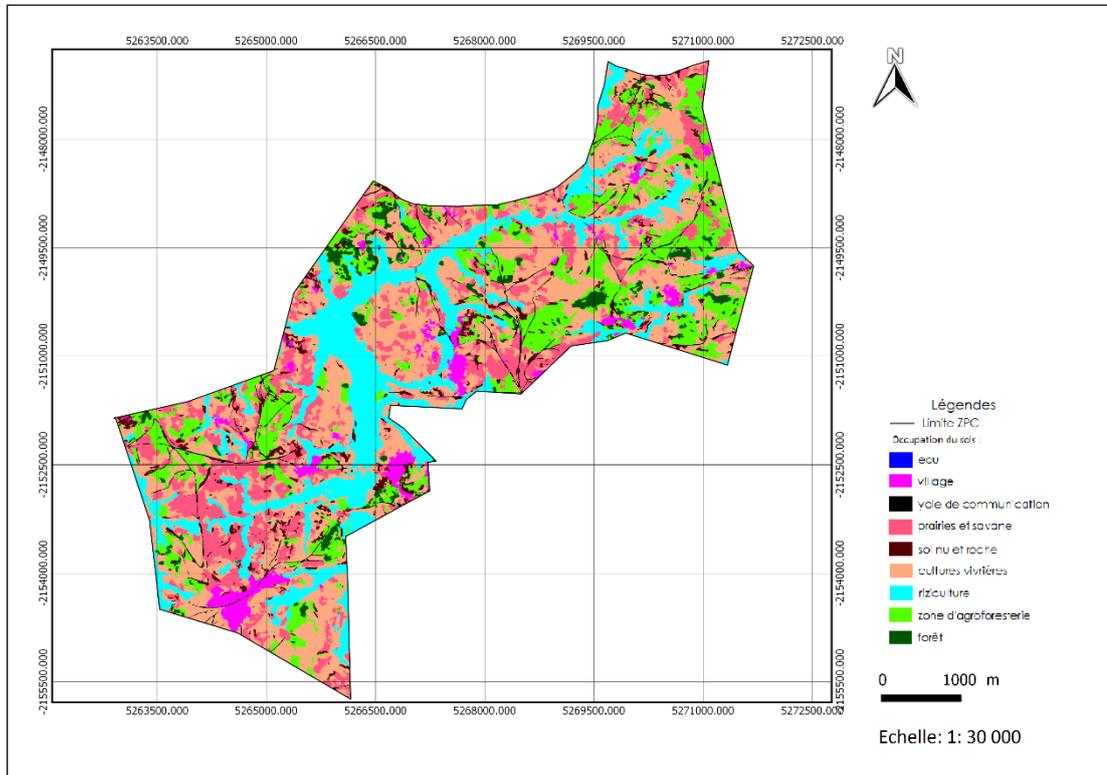
- ZPC Andranomody



• ZPC Ankonabe



• ZPC Imeritsiantosika



Annexe 5 : Typologies adoptés pour l'occupation des sols de la classification orientée objet (Etc Terra., 2015).

Typologie	Description	Illustration
Forêt	Forêts exotiques des hauts plateaux issues des plantations et des mises en valeurs des sols dégradés, à vocation énergétique (production de bois de chauffe) et de construction. Peuplement particulièrement dense et présentant parfois des gros arbres d'eucalyptus et de pin.	
Zone d'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 préservant des couloirs de culture. Ces arbres fruitiers profitent également de la fertilisation apportée aux cultures sous-jacentes, d'une humidité constante grâce à l'irrigation, du désherbage régulier des planches et du binage du sol (entretien).	
Prairies et savane	Principalement des zones non cultivées et des zones non fertiles sont difficiles à travailler en raison de la topographie ou d'un sol très dégradé...	
Culture irriguée	Système de riziculture sur bas fond incluant les systèmes traditionnels et intensifs	
Culture non irriguée	Cultures annuelles, parfois une association de culture vivrière et maraichère pure	
Zone en eau	Cours d'eau et plan d'eau (rivière et lac)	

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

Annexe 6 : Matrice de classification et matrice de coïncidence de la comparaison des superficies des classes obtenues par l'approche « photo-interprétation » avec celles de l'approche « orientée objet » effectuée par Etc Terra (2015).

➤ Matrice de classification :

- ZPC Ankonabe

Photo-interprétation			Classification orientée objet		
Classe	Superficie		Classe	Superficie	
	ha	%		ha	%
Cultures vivrières	1900	72.9	Cultures vivrières	1797	68.9
Riziculture	60	2.3	Riziculture	61	2.3
Zone d'agroforesterie	160	6.1	Zone d'agroforesterie	60	2.3
Forêt	15	0.6	Forêt	22	0.8
Village	32	1.2	Village	13	0.5
Non classifié	440	16.9	Eau	3	0.1
			Voie de communication	15	0.6
			Prairies et savane	47	1.8
			Sol nu et roche	590	22.6
Total	2608	100		2608	100

- ZPC Andranomody

Photo-interprétation			Classification orientée objet		
Classe	Superficie		Classe	Superficie	
	ha	%		ha	%
Cultures vivrières	904	52.3	Cultures vivrières	580	33.5
Riziculture	129	7.5	Riziculture	201	11.6
Zone d'agroforesterie	32	1.8	Zone d'agroforesterie	11	0.7
Forêt	6	0.3	Foresterie	2	0.1
Village	6	0.3	Village	3	0.2
Non classifié	653	37.8	Eau	16	0.9
			Voie de communication	1	0.1
			Prairies et savane	165	9.5
			Sol nu et roche	750	43.4
Total	1730	100		1730	100

- ZPC Imeritsiantosika

Photo-interprétation			Classification orientée objet		
Classe	Superficie		Classe	Superficie	
	ha	%		ha	%
Cultures vivrières	746	29.0	Cultures vivrières	885	34.4
Riziculture	451	17.5	Riziculture	492	19.1
Zone d'agroforesterie	339	13.2	Zone d'agroforesterie	443	17.2
Forêt	486	18.9	Forêt	78	3.0
Village	119	4.6	Village	90	3.5
Non classifié	442	17.2	eau	0	0.0
			Voie de communication	52	2.0
			Prairies et savane	429	16.7
			Sol nu et roche	102	4.0
Total	2572	100		2572	100

➤ *Matrice de coïncidence :*

• ZPC Ankonabe

Classification orientée objet	Zone d'agroforesterie (%)	Forêt (%)	Cultures vivrières (%)	Riziculture (%)	Village (%)	Eau (%)	Voie de communication (%)	Sol nu et roche (%)e	Prairie et savane (%)	Total (%)
Photo-interprétation										
Zone d'agroforesterie (%)	1.1	0.3	4.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	6.1
Forêt (%)	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
Cultures vivrières	0.7	0.1	62.0	0.4	0.0	0.0	0.2	1.2	8.2	72.9
Riziculture (%)	0.0	0.0	0.4	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
Village (%)	0.3	0.1	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
Non classifié (%)	0.0	0.0	1.8	0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	14.1	16.9
Total (%)	2.3	0.8	68.9	2.3	0.5	0.1	0.6	1.8	22.6	100.0

• ZPC Andranomody

Classification orientée objet	Zone d'agroforesterie (%)	Forêt (%)	Cultures vivrières (%)	Riziculture (%)	Village (%)	Eau (%)	Voie de communication (%)	Sol nu et roche (%)	Prairie et savane (%)	Total (%)
Photo-interprétation										
Zone d'agroforesterie (%)	0.2	0.0	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.8
Forêt (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Cultures vivrières (%)	0.1	0.0	26.4	4.4	0.0	0.0	0.1	5.5	15.9	52.4
Riziculture (%)	0.1	0.0	1.1	4.7	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	7.3
Village (%)	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Non classifié (%)	0.2	0.0	5.0	1.8	0.0	0.8	0.0	3.7	26.3	37.8
Total (%)	0.7	0.1	33.5	11.6	0.2	0.9	0.1	9.5	43.4	100.0

- ZPC Imeritsiantosika

Classification orientée objet Photo-interprétation	Zone d'agroforesterie (%)	Forêt (%)	Cultures vivrières (%)	Riziculture (%)	Village (%)	Eau (%)	Voie de communication (%)	Prairie et savane (%)	Sol nu et roche (%)	Total (%)
Zone d'agroforesterie (%)	2.7	0.4	5.3	1.2	0.3	0.0	0.2	2.5	0.7	13.3
Forêt (%)	9.8	2.5	3.6	0.3	0.1	0.0	0.4	1.9	0.5	19.1
Cultures vivrières (%)	1.0	0.0	14.4	5.1	0.4	0.0	0.2	6.5	1.5	29.0
Riziculture (%)	0.3	0.1	3.9	11.6	0.1	0.0	0.0	1.2	0.2	17.5
Village (%)	0.2	0.0	1.1	0.2	2.2	0.0	0.1	0.5	0.3	4.7
Non classifié (%)	3.2	0.0	6.1	0.7	0.5	0.0	1.1	4.0	0.8	16.4
Total (%)	17.2	3.0	34.4	19.1	3.5	0.0	2.0	16.7	4.0	100.0

Annexe 7 : Calcul statistique de la matrice de coïncidence.

- Matrice de classification

M1			M2		
classe	ha	%	classe	ha	%
cl1	x1	s 1	cl1	x1	s 1
cl2	x2	s 2	cl2	x2	s 2
...
cli	xi	s i	clj	xj	s j
T	som (x1: xi)	som (s1 : si)	...	som (x1: xj)	som (s1 : sj)

Avec $\text{som}(x1 : xi) = \text{som}(x1 : xj)$ et $\text{som}(s1 : si) = \text{som}(s1 : sj)$
 tel que $si = xi \cdot 100 / \text{som}(x1 : xi)$ et $sj = \text{som}(x1 : xj)$

- Matrice de coïncidence [en pourcentage (%)]

M1 \ M2	cl1	cl2	...	clj	t2
cl1	v11	v12	...	v1j	som (v11: v1j)
cl2	v21				...
...	...				
cli	vi1	vij	som (vi1: vij)
t1	som (v11: vi1)		...	som (v1j: vij)	t

cli : les classes dans la méthode M1

clj : les classes dans la méthode M2

t1 : totale des superficies dans la classe cli de la méthode M1

t2 : totale des superficies dans la classe clj de la méthode M2

$vij = (xij \cdot 100) / T$ [%] avec $xij = \text{superficie} \{cli \cap cl(1 : j)\}$ [ha] et $T = \text{som}(x1 : xi) = \text{som}(x1 : xj)$ [ha]

Relation entre les matrices de classification et matrice de coïncidence :

$t = \text{som}[\text{som}(v11 : vi1) : \text{som}(v1j : vij)] = \text{som}[\text{som}(v11 : v1j) : \text{som}(vi1 : vij)]$

avec $si = \text{som}(vi1 : vij)$ et $sj = \text{som}(v1j : vij)$

Donc : $t = \text{som}(s1 : si) = \text{som}(s1 : sj)$ avec $(i, j) \in \text{IN} * \text{IN}$

Titre : Cartographie de l'occupation des sols dans la Région Itasy : photo-interprétation.

Résumé:

Le projet MAHAVOTRA, projet d'agro écologie et foresterie paysanne est un projet pilote d'évaluation de l'impact carbone sur des pratiques agro écologiques dans la Région Itasy. La présente étude rentre dans le cadre de l'activité 3 du projet qui vise la cartographie de l'occupation des terres et l'élaboration d'une carte pour permettre la modélisation du taux de stock de carbone du sol dans huit communes de la Région Itasy. Dans cette optique, l'étude se focalise sur la cartographie des quatre ZPC (Zone Potentielle à Cartographier) dans quatre Commune de la Région. De ce fait, la méthode de la photo-interprétation a été adoptée pour obtenir les différentes classes (« zone d'agroforesterie », « forêt », « culture vivrière », « riziculture » et « village ») et les résultats de classification orientée objet effectués par Etc Terra (2015) ont été injectés dans nos propres cartographies dans le but d'obtenir la carte d'occupation du sol finale. Il ressort de cette étude qu'en moyenne, 76,5% de chaque ZPC est occupée par des systèmes agro-forestiers (« zone d'agroforesterie », « forêt »), 8.2% et 6.5% respectivement, et par des systèmes de cultures (10% par la riziculture et 52% par les cultures vivrières). Ces valeurs montrent que la majorité de ces zones sont occupées par divers types de cultures. La comparaison entre les résultats des deux approches montre que les deux résultats sont très différents l'un de l'autre vu la superficie occupée par les classes. Or, la méthode de la photo-interprétation semble prometteuse bien qu'il sera nécessaire d'approfondir cette étude pour vérifier la reproductibilité de cette méthode de photo-interprétation à l'échelle régionale.

Mots clés : Région Itasy, Zone potentielle à Cartographier, photo-interprétation, classification orientée objet

Title: Mapping of land use in the Region Itasy: photo- interpretation.

Abstract:

The MAHAVOTRA, agroecology and farm forestry project, is a pilot assessment project of carbon impact on agroecological practices in the Itasy region. This study is the 3rd activity of the whole project which is aimed at land use mapping and at the establishment of a map for soil carbon stocks modeling rate in eight locality of the Itasy region. In that sense, the study is focused four area in four communes of the region using photo-interpretation method in order to get the different classes ("agroforestry", "forestry", "food crops", "paddy field" and "village"). The object oriented classification results from Etc Terra (2015) were integrated into the photo-interpretation results to obtain the final land cover map. According to this study, 76.5% of each potential area to be mapped are occupied by agroforestry systems ("agroforestry", "forestry", "paddy field" and "food crops"), where 8.2% is agroforestry, 6.5% is forestry, 10% by paddy field and 52% for food crops. Most of these areas are occupied by different types of cultivation. The comparison of the results of two methods shows that they are different from one another as reflected by the areas occupied by each classes. However, the photo-interpretation method seems to be promising despite the necessity of deeper study to verify the reproducibility of this method of photo-interpretation at region scale.

Keywords: Region Itasy, photo-interpretation, object-oriented classification

Encadreur: Professeur titulaire RAKOTONDRAOMPIANA Solofo

Impétrant : ANDRIANIRINA Topaniaina

Lot : II F 34 IAG Andraisoro TanaV

E-mail : andrianirinatopa@gmail.com

Tel : +261 33 72 972 98 / +261 34 09 460 82

Nombre des pages : 50

Nombre des tableaux : 12

Nombre des figures : 19

Nombre des annexes : 7

